

水素基本戦略

平成 29 年 12 月 26 日

再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議

目次

はじめに	1
1. 総論	3
1. 1. 水素基本戦略の位置づけ	3
1. 2. 水素基本戦略の対象期間	4
2. 我が国のエネルギー需給を巡る構造的課題	5
2. 1. エネルギーセキュリティ／自給率	5
2. 2. CO2 排出制約	5
3. 水素の意義と重要性	7
3. 1. 調達・供給面での意義：供給源・調達先の多様化による調達・供給リスクの根本的な低減	7
(a) 海外 CCS の活用を通じた化石燃料の CO2 フリー化が可能	7
(b) 安価な海外再生可能エネルギー源の活用が可能	8
(c) 国内再生可能エネルギー導入拡大への貢献	8
3. 2. 利用面での意義：電力、運輸、熱・産業プロセスのあらゆる分野の低炭素化	9
(a) 水素による電力システムの低炭素化ポテンシャル	9
(b) 水素によるモビリティの低炭素化ポテンシャル	10
(c) 水素による産業プロセス・熱利用の低炭素化ポテンシャル	10
(d) 燃料電池技術の活用を通じた低炭素化ポテンシャル	11
3. 3. 3E+S の観点からの意義	11
(a) 安全性 (Safety)	11
(b) エネルギー安全保障 (Energy Security)	12
(c) 経済効率性 (Economic Efficiency)	12
(d) 環境適合 (Environment)	13
3. 4. 国際的な意義：世界に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	13
3. 5. 産業振興・競争力強化の意義	13
3. 6. 諸外国における水素の取組	14

4. 水素社会実現に向けた基本戦略	17
4. 1. 低コストな水素利用の実現：海外未利用エネルギー／再生可能エネルギーの活用	17
4. 2. 国際的な水素サプライチェーンの開発	17
(a) 液化水素サプライチェーンの開発	18
(b) 有機ハイドライドサプライチェーンの開発	19
(c) エネルギーキャリアとしてのアンモニアの活用に向けた技術開発	19
(d) CO ₂ フリー水素を用いたメタネーションの検討	20
(e) パイプラインによる国内輸送	20
4. 3. 国内再生可能エネルギーの導入拡大と地方創生	21
(a) 国内再生可能エネルギー由来水素の利用拡大に向けた方策	21
(b) 地域資源の活用及び地方創生	22
4. 4. 電力分野での利用	23
4. 5. モビリティでの利用	24
(a) FCV・水素ステーションの両輪での推進	24
(b) 再生可能エネルギー由来水素ステーション	25
(c) 燃料電池バス（FCバス）の普及拡大	26
(d) 燃料電池フォークリフト（FCフォークリフト）の普及拡大	26
(e) 燃料電池トラック（FCトラック）の開発・商用化	27
(f) 燃料電池船（FC船）の開発・導入	28
(g) その他のアプリケーションの展開	28
4. 6. 産業プロセス・熱利用での水素活用の可能性	28
4. 7. 燃料電池技術活用	29
4. 8. 革新的技術開発	30
4. 9. 国際展開（標準化等）	31
(a) 戦略的な国際展開モデルの構築	31
(b) 国際的な枠組みの活用	31
(c) 国際標準化	31
4. 10. 国民の理解促進、地域連携	32

はじめに

石油、石炭、天然ガスといった化石燃料は、我が国の近代化、更には戦後の高度成長を支え、巨大経済圏を形成し、先進国としての地位を築いてきた。一方で、元来化石燃料を始めとした天然資源に恵まれない我が国は、1970年代の二度の石油危機以来、国民生活と産業活動の血脈であるエネルギーを海外に依存する構造的脆弱性を抱え続けている。加えて、昨年11月のパリ協定の発効を受け、深刻化する地球温暖化問題に対し、我が国としての責任を一層果たしていくことが求められている。一方、我が国の温室効果ガス排出量は、東日本大震災後の原子力発電所の停止等の影響により、大幅に増加した。一次エネルギーのほぼ全てを海外の化石燃料に依存する我が国においては、エネルギー安全保障の確保と温室効果ガスの排出削減の課題を同時並行で解決していくことが必要である。

このため、我が国は、省エネルギーの促進や再生可能エネルギーの導入拡大、天然ガスや原子力の利用、国内での二酸化炭素回収・貯留（CCS）の実施検討など、あらゆる手段を講じてきているが、すべてを解決する単一的な解はなく、これらを総動員し、いわゆるエネルギー政策における“3E+S”の実現に取り組んでいくことが求められる。特に、温暖化が将来世代にもたらす負の影響のリスクは大きく、2050年、そして今世紀後半を見据えれば、従来の取組の延長では足りず、地球温暖化対策計画（2016年5月13日閣議決定）において、「抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決を最大限追求する」としているように、既存のエネルギー供給構造を変革し、新たなエネルギーシステムへの移行を図っていかなければならない。

水素は、炭素分を含まず、二酸化炭素（CO₂）を排出しないという環境特性はもちろんのこと、エネルギーキャリアとして再生可能エネルギー等を貯め、運び、利用することができる特性（貯蔵性、可搬性、柔軟性）を有する。水素技術を用いることで、例えば、島国であるがゆえにこれまで利用することができなかった海外の豊富な再生可能エネルギー資源や未利用エネルギー資源、CCS適地等を活用することが可能となる。まさに、エネルギー資源の乏しい我が国にとって、水素はエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札となりうる。

狭い国土に過密な人口を抱え、天与の資源にも乏しい我が国が今日の経済的発展を遂げることができたのは、「東洋の奇跡」と言われる。その大きな原動力は、国民の勤勉性、高い教育水準に裏打ちされた科学技術力であり、我が国はこれまでも技術力を武器に困難を克服してきた。水素社会実現への道

のりは決して平たんではないが、我が国こそが世界に率先してこのイノベーションに挑戦するにふさわしく、水素利用において世界をリードしていくべきである。

水素社会の実現に向けて、国民の理解の深化が不可欠である。2020年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会は、我が国の先進的な取組を多くの国民や訪日する外国人に発信する絶好の機会である。既に東京都では燃料電池バスが走り、選手村での水素利活用に向けた計画も着々と進んでいる。福島県において再生可能エネルギーから水素を製造し、これを県内のみならず、2020年には東京でも利用する実証プロジェクトも、来春から本格的に動き出す。オリンピック・パラリンピック競技大会をレバレッジに、我が国が世界をリードする水素・燃料電池技術に係るイノベーションを更に加速し、成長戦略にもつなげていく。

本戦略は、2050年を視野に入れ、水素社会実現に向けて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・ビジョンであるとともに、その実現に向けた行動計画を取りまとめたものである。一人でも多くの国民の目に触れ、水素政策についての理解が深まることを望む。

1. 総論

1. 1. 水素基本戦略の位置づけ

2014年4月に策定された第4次エネルギー基本計画では、「水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期に差し掛かっている」等の記載が盛り込まれた。更に、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」がとりまとめられた。

ロードマップでは、技術的課題の克服と経済性の確保に要する期間の長短に着目し、以下の3つのフェーズに分け、ステップ・バイ・ステップで水素社会の実現を目指すとしている。

① フェーズ1：水素利用の飛躍的拡大（現在～）

足元で実現しつつある、定置用燃料電池やFCVの利用を大きく広げ、我が国が世界に先行する水素・燃料電池分野の世界市場を獲得する。

② フェーズ2：水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立（2020年代後半に実現）

水素需要を更に拡大しつつ、水素源を未利用エネルギーに広げ、従来の「電気・熱」に「水素」を加えた新たな二次エネルギー構造を確立する。

③ フェーズ3：トータルでのCO₂フリー水素供給システムの確立（2040年頃に実現）

水素製造にCCSを組み合わせ、又は再生可能エネルギー由来水素を活用し、トータルでのCO₂フリー水素供給システムを確立する。

ロードマップについては、その後の取組の進展を踏まえて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、再生可能エネルギーの導入拡大及び水素社会の実現に向けた取組について議論が行われた。同会議においては、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、同方針は「未来投資戦略2017」（2017年6月9日閣議決定）においても明記された。

これらの経緯を踏まえ、今般、水素基本戦略を策定する。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。基本戦略に基づき、エネルギー安全保障の確保と温室効果ガスの排出削減の課題を同時並行で解決するとともに、水素利用において世界をリードしていくため、国を挙げて水素利用に取り組み、世界に先駆けて水素社会を実現する¹。

1. 2. 水素基本戦略の対象期間

2016年11月のパリ協定の発効を受け、主要国で2050年に向けた野心的な構想・ビジョンが公表され始めている。こうした状況に鑑み、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。

本戦略は、2020年度を区切りとして進捗状況などをフォローアップすることとし、必要に応じて見直しを行うこととする。

¹ ロードマップについては、基本戦略の策定後、適宜改訂するものとする。

2. 我が国のエネルギー需給を巡る構造的課題

2. 1. エネルギーセキュリティ／自給率

我が国は化石燃料に乏しく、一次エネルギー供給の約 94%を海外の化石燃料に依存している²ことから、エネルギーセキュリティ上の構造的な脆弱性³を有する。特に自動車は燃料の 98%が石油系であり、うち約 87%を中東地域に依存している。

エネルギー自給率は、原子力発電所の稼働停止の影響もあり、東日本大震災以降は 6～7%で低迷している。これは OECD34 か国中 2 番目に低い水準であり、同じく先進国最低水準にある食糧自給率（カロリーベース 38%）と比較しても極めて低い。

再生可能エネルギー電気の固定価格買取制度（FIT 制度）の導入以降、太陽光を中心に再生可能エネルギーの普及は急速に進んだが、従来からある水力発電を含めても発電電力量に占める割合は 15.0%（2016 年度、推計値）に留まっている。

2. 2. CO2 排出制約

温室効果ガスの排出削減については、2016 年に国連に提出した「自国が決定する貢献（NDC）」に基づき、国内の排出削減・吸収量の確保により、2030 年度において、2013 年度比 26%減（2005 年度比 25.4%減）を目標としている。

その実現に必要な CO2 排出削減量は全体で 3.1 億 t であり、うち CO2 排出量の 4 割を占める電力部門では、1.9 億 t の削減が必要（必要削減量全体の 60%超）である。

地球温暖化対策計画においては、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としている⁴。その実現には、革

² 石油 39.5%、石炭 27.3%、天然ガス 23.3%（2015 年）。

³ 東日本大震災と福島第一原子力発電所事故の後、より一層の省エネ努力等にもかかわらず、一次エネルギー、電源構成ともに化石燃料（火力発電）の比率が上昇。

⁴ 我が国の長期的な方向性については、地球温暖化対策計画で、「我が国は、パリ協定を踏まえ、全ての主要国が参加する公平かつ実効性ある国際枠組みの下、主要排出国がその能力に応じた排出削減に取り組むよう国際社会を主導し、地球温暖化対策と経済成長を両立させながら、長期的目標として 2050 年

新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決を最大限に追求すると
している。

までに 80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。」とされている。

3. 水素の意義と重要性

水素は、我が国の一次エネルギー供給構造を多様化させ、大幅な低炭素化を実現するポテンシャルを有する手段である。

我が国における水素利用は緒に就いたところであり、現在は、主として産業用途として工場等で副産物として生み出される水素（副生水素）や、天然ガス・LPG等の改質により製造される水素がエネルギー用途にも利用されている状況にある。これらは元を辿れば海外から輸入される化石燃料に由来するものである。また、燃料電池の利用も光熱費の削減の点で一定の評価を受けているが、現状では高効率なエネルギー利用という観点でしか評価されていない。したがって、以下に示す水素利用の真価が広く国民に理解され、またそれが十分に発揮されるには至っていない。

3. 1. 調達・供給面での意義：供給源・調達先の多様化による調達・供給リスクの根本的な低減

現実的な土地利用の可能性を踏まえた再生可能エネルギー発電の適地や、採算の取れる採掘が可能な化石燃料等の埋蔵量、二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon dioxide Capture and Storage）が可能な適地は、地球規模で特定地域に偏在している。

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ため、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特定のエネルギー源に依存しない多様な構造に変革させ、エネルギー調達・供給リスクの根本的な低減に貢献する。

(a) 海外 CCS の活用を通じた化石燃料の CO2 フリー化が可能

- 海外に豊富に存在する褐炭に代表される低コストな未利用化石資源については、水素化と CCS を組み合わせることで、CO2 フリーのエネルギーとして活用することが可能となる。
- 鍵となる CCS の実施に当たっては、CO2 を捕捉する地質構造（適切な貯留層及びキャップロックがあり、断層が無いこと）を備えた適当なサイトが必要となる。現在、年間 40 万 t 以上の CO2 貯留ポテンシャル

を有する大規模CCSプロジェクトは計画中のものも含め40近く存在するが、これらの多くは地質の安定した北米、北欧、東アジア、豪州に集中している。

- こうした海外の未利用エネルギー源と CCS 適地、水素関連技術を組み合わせることで、CO₂ フリーのエネルギーの調達が可能となる。

(b) 安価な海外再生可能エネルギー源の活用が可能

- 再生可能エネルギーの発電コストは、特に海外において急激に低下しており、発電コストだけで言えば kWh 当たり数円程度と、既存の火力等の電源よりも安い水準となっているものもある⁵。
- 今後更に低コスト化が進めば、相対的に発電コストの安い国・地域において再生可能エネルギーから水素を製造し、我が国に輸送して利用することも十分に経済性を持つことが考えられる。

また、純国産エネルギー源である再生可能エネルギーは、その導入を通じてエネルギー自給率の向上につながる一方で、特に自然変動電源は供給量のコントロールができないため、供給過少時の他の電源からのバックアップや、供給過剰時の出力制御等が必要となる。このため、今後再生可能エネルギーの更なる導入拡大には電力貯蔵技術が一つの鍵となるが、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い。

(c) 国内再生可能エネルギー導入拡大への貢献

- 太陽光や風力といった変動性の再生可能エネルギー電源の導入が世界的に進んだ結果、総供給が総需要を上回る供給過剰や、正味の需要（総需要から自然変動電源からの発電量を差し引いたもの）が急激に変動する、いわゆる「ダックカーブ」の出現、短周期の需給バランス調整など、あらゆる国・地域において、再生可能エネルギーの既存の電力システムへの統合が急務となっている。

⁵ 例えば、米国で 2019 年に稼働する太陽光の最小コストは 5.8 円/kWh、風力は 3.8 円/kWh（LCOE ベース、110 円/\$）（DOE, 2017）

- 電力系統の安定化には、再生可能エネルギーへの出力制御等が必要となるが、再生可能エネルギーを無駄にせずその有効利用を図るためには、出力制御を回避するための電力貯蔵設備が重要となる。足元では蓄電池が大きな役割を果たすと考えられるが、再生可能エネルギーの導入拡大、更には出力制御量の増加に伴い、より大規模かつ長期間の貯蔵を可能とする、水素を用いたエネルギー貯蔵・利用 (Power-to-gas) が必要となると考えられる。
- また、上述の海外における再生可能エネルギーの低廉化が国内でも進めば、再生可能エネルギーを電力としてのみならず、水素に転換することで燃料として利用する形態も現実的になると考えられる。

3. 2. 利用面での意義：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 CCS 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 CO₂ フリーのエネルギー源となり得る。また、天然ガスのように燃料として取り扱うことができ、水素から高効率に電気・熱を取り出す燃料電池技術とも組み合わせることで、電力、運輸のみならず、産業プロセスや熱利用等、様々な領域で究極的な低炭素化が可能である。

(a) 水素による電力システムの低炭素化ポテンシャル

- 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、今後は更に再生可能エネルギーを主要電源の一つとした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、①大量の供給過剰の発生 (kWh) への対処、②調整電源による変動吸収 (ΔkW)、③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が必要である。
- このため、供給力と調整力を備える天然ガス火力等は、再生可能エネルギー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電源の低炭素

化の有力な方策となる。

- 更に、大量の再生可能エネルギー供給過剰を（出力制御せず）活用するためには、長期間の電力貯蔵が重要となるが、水素は季節をまたぐような大規模・長期間のエネルギー貯蔵にも有効である。
- このように、水素は再生可能エネルギーとともに、電力システムのゼロエミッション化を支える重要な役割を果たすことが期待される。

(b) 水素によるモビリティの低炭素化ポテンシャル

- 運輸部門の CO2 排出量は、我が国全体の 2 割弱であり、うち自動車（乗用車・貨物車）が 85% を占める。このため、小型の乗用車から大型のトラックやバスに至るまで、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等の蓄電池に比べ単位重量／単位体積当たりのエネルギー密度が大きい。このため、ZEV（Zero Emission Vehicle）においては、より大型・長距離輸送向けのモビリティ領域において燃料電池自動車（FCV）に比較優位性がある。燃料電池の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。
- リチウムイオン電池を用いた電気自動車（BEV: Battery Electric Vehicle）は、航続距離や充電時間において FCV に劣るが、比較的製造が容易であり、北米や中国市場での規制の導入・強化に伴い急速に普及が進むと見られている。一方で、BEV の普及により自動車の低炭素化を実現するためには電源構成の低炭素化がセットであり、また、あらゆる車両を電化することは難しいと考えられる。
- 自動車に加え、フォークリフトなどの産業用車両や船舶等を含め、モビリティ全体の低炭素化を進めるためには、“電源のゼロエミッション化+BEV” と “CO2 フリー水素+FCV” の双方が必要である。

(c) 水素による産業プロセス・熱利用の低炭素化ポテンシャル

- 電力・運輸部門以外でのエネルギー消費に伴う CO2 排出量は全体の 44%（5.4 億 t）に上る。特に産業分野では重油や石炭を中心とした原燃料利用が大きく、多量の CO2 を排出している。

- 一般に、直接加熱等の産業プロセスは電化が困難であり、電化が困難な産業プロセスの低炭素化は容易ではない。まずは、燃料電池コージェネレーション等熱電併給による省エネ・CO₂削減が現実的なアプローチとして有力と考えられるが、更に大幅な低炭素化を実現するためには、将来的にCO₂フリーの燃料／原料としてのポテンシャルを有する水素の活用が必要となる。

(d) 燃料電池技術の活用を通じた低炭素化ポテンシャル

- 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需要家への設置により発電時の熱の有効利用が可能といった特長を持つ。
- 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以上の発電効率を発揮する一方で、大規模な投資を必要としないため、今後の大規模電源の投資環境によっては分散型電源として急速に普及する可能性がある。

3. 3. 3E+S の観点からの意義

第4次エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギー安全保障（Energy Security）、経済効率性の向上（Economic Efficiency）、環境適合（Environment）の3つを基本的視点としている。これらは同時達成が困難な3つの要素として、“Energy Trilemma”とも表現され、解決の鍵は低炭素技術にほかならない。

水素社会の実現は目的ではなく、手段である。水素社会を実現することで、3E+Sを達成する。以下において、3E+Sの観点から水素利用の意義を再確認する。

(a) 安全性（Safety）

- 水素は地球上で最も軽い可燃性ガスであり、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。空気中で最も拡散しやすい物質であるため、その性質を踏まえ適切な管理下において着火や爆発する可

能性は極めて低い。

- 一方、密閉された空間において大量の水素と酸素が混在する状況では爆発の危険性が大きくなる。このため、①水素を漏らさない、②漏れた際には即時に検知し、水素供給を止める、③漏れても溜まらないようにする、といった安全対策が取られている。

(b) エネルギー安全保障 (Energy Security)

- 水素は、再生可能エネルギーを含めた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ため、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特定のエネルギーに依存しない多様な構造に変革させ、エネルギー調達・供給リスクの根本的な低減に貢献する。【再掲】
- 純国産エネルギー源である再生可能エネルギーは、その導入を通じてエネルギー自給率の向上につながる一方で、特に自然変動電源は供給量のコントロールができないため、供給過少時の他の電源からのバックアップや、供給過剰時の出力制御が必要となる。このため、今後再生可能エネルギーの更なる導入拡大には電力貯蔵技術が鍵となるが、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い。【再掲】

(c) 経済効率性 (Economic Efficiency)

- 石炭や石油等の化石燃料は体積エネルギー密度が高く、取り扱いが容易であり、経済性に優れるが、資源の枯渇や地球温暖化という観点から持続可能性に課題があり、将来世代に非常に大きな社会的費用を残すおそれがある。
- 水素利用による現世代のコストは従来の化石燃料利用よりも割高となるのは否めないが、中長期的にはコスト低減ポテンシャルは大きく、エネルギー利用に係る将来世代のコストを下げるための有力なオプションの一つである。

(d) 環境適合 (Environment)

- 水素は利用時に CO₂ を排出しない。製造段階で CCS 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 CO₂ フリーのエネルギー源となり得る。【再掲】
- 水素は天然ガスのように燃料として取り扱うことができ、水素から高効率に電気・熱を取り出す燃料電池技術とも組み合わせることで、電力、運輸のみならず、産業プロセスや熱利用等、様々な領域で究極的な低炭素化が可能である。【再掲】

3. 4. 国際的な意義：世界に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

水素利用の国際展開は、国内のエネルギー政策上の意義を深化させるだけでなく、海外での CO₂ 排出削減にも貢献する。

- パリ協定を背景として、各国が低炭素化に向けた取組を進めていく中、日本が世界をリードしている FCV や水素ステーション、定置用燃料電池等の水素関連技術を海外に展開していくことは、海外における CO₂ 排出削減に貢献するとともに、国内における水素利用も促し、我が国の産業競争力の強化につながるという好循環を生み出すと期待される。
- また、化石燃料改質による水素製造と CCS を組み合わせることで、CO₂ フリーのエネルギーを生み出すことが可能であることから、こうした関連技術の国際展開は資源国におけるエネルギー利用の低炭素化につながる。また、水素キャリア技術を活用することで、再生可能エネルギー資源を含め、資源国にとっての新たな輸出財になり得る。
- 経済と社会の持続可能な発展を実現することは、国際社会が現在抱える大きな課題である。その解決に当たっては、水素利用は、温暖化対策と相まって非常に有益な手段となりうる。我が国が世界に先駆けてチャレンジングに取り組み、その成果を世界の国々とも共有していく。

3. 5. 産業振興・競争力強化の意義

- 国内外の民間企業トップによるイニシアティブである “Hydrogen

Council”（水素協議会）は、いわゆる 2℃シナリオの達成のためには、2050 年までにエネルギー起源 CO₂ の排出量の 60%削減が必要であるとの前提のもと、その実現に水素が活用されることにより 2.5 兆ドルの市場及び 3,000 万人の雇用が創出されると報告している。

- 我が国には、1970 年代から始まったサンシャイン計画やムーンライト計画に始まり、水素・燃料電池実証プロジェクト（JHFC プロジェクト: Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project）や定置用燃料電池大規模実証事業など、現在に至るまでの 40 年以上の水素・燃料電池関連技術に係る研究開発の歴史があり、産学に世界トップレベルの技術、知識、ノウハウの蓄積がある。2009 年に商用化されたエネファームや 2014 年の水素ステーション・FCV に代表されるように、我が国は世界に先駆けて水素・燃料電池技術を実用化してきた。
- 現在、水素・燃料電池関連技術は大きな広がりを見せており、上記の燃料電池コージェネレーションシステムや FCV、水素ステーションのみならず、水素発電用ガスタービンや水電解装置、水素輸送船舶、キャリア技術などにおいて、我が国の技術レベルは引き続き世界最高水準のレベルにある。
- 今後の水素利用のグローバルな普及を見据えれば、これらの技術を積極的に海外に展開することで、海外における低炭素化に貢献しつつ、産業政策的な観点からの貢献にもつなげていくことが可能である。

3. 6. 諸外国における水素の取組

水素は次世代のエネルギーとして国際的にも注目を集めており、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利用に向けた様々な取組が進められている。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、我が国が水素社会実現において世界をリードしていくことが求められる。

- 欧州では、FCH-JU⁶（欧州水素・燃料電池官民パートナーシップ）による約 140 台の燃料電池バス運行に関する実証研究や、グリッド安定化のための Power-to-gas 実証研究が進められている。また、水素の環境価

⁶ ベルギーを拠点とする欧州の官民パートナーシップ。欧州域内の水素・燃料電池関係の実証プロジェクトを実施。

値の認証・取引に係る制度的な検討も行われており、「プレミアム水素」と呼ばれる再生可能エネルギー由来の水素等の定義⁷に関する整理がなされ、プレミアム水素の認証制度構築⁸に係るロードマップも作成されている。こうしたプレミアム水素については、製鉄やリファイナリーといったプロセスで利用することが検討されており、産業分野における低炭素化の取組が進められている。さらに、域内の複数国では、ガソリン車やディーゼル車の販売を禁止し、BEV や FCV 等の次世代自動車の普及を促進する方針を表明するなど、自動車分野における低炭素化に向けた方針が示されつつある。

- ドイツでは、2030 年に再生可能エネルギーの導入比率を 50%以上とし、2050 年に温室効果ガスを 80~95%削減するとの目標達成に向け、再生可能エネルギーを自動車や発電等に利用する取組が進んでいる。水素ステーションについては、2015 年に欧州民間 6 社により設立された“H2 Mobility”⁹の枠組みを活用し、2023 年に 400 箇所の水素ステーションを整備することを目標としている。また、エネルギー政策や天然ガスグリッドの整備状況を背景に、Power-to-gas の実証が進み、建設中も含めこれまで約 30 箇所での実証事業が実施されている。
- フランスでは、自動車メーカーが、燃料電池でバッテリーに電力を供給することで航続距離を伸ばすタイプの車両を開発し、約 200 台が導入されている。水素ステーション整備については、2020 年代後半に規模を大型化するなど、現在の初期投資を最小化しつつ水素普及を目指すこととしている。

⁷ 環境価値の高い水素の認証を行うスキームを検討するにあたり、水素製造に係る CO₂ 排出量について、天然ガス改質に係る CO₂ 排出量 (91g-CO₂/MJ-H₂) と比較して、60%以上 CO₂ 排出量を低減した水素 (36.4g-CO₂/MJ-H₂) を「プレミアム水素 (Premium Hydrogen)」として定義し、その中でも、再生可能エネルギー由来の水素を「グリーン水素 (Green Hydrogen)」と定義している。この算定にあたっては、水素の輸送やそれぞれのプロセスにおいて使用される機器製造に係る CO₂ 排出量までは評価されていない。

⁸ プレミアム水素として認証されると、そのまま環境価値の高い水素として取引できる他、環境価値を証書の形で分離し、当該証書のみを取引することも可能となる。なお、認証を受けていない水素 (Grey Hydrogen) であっても、この証書を組み合わせることで、プレミアム水素と主張することが可能になる。

⁹ ドイツの FCV 黎明期における水素ステーションの整備・運営を行う、民間主導で設立された推進母体。2009 年から検討が始まり、2015 年に Air Liquide、Daimler、Linde、OMV、Shell、Total が設立。関係者によるリスクマネーの拠出、運営上必要な情報の共有等により、ドイツ国内の水素ステーションの整備を促進。

- 米国では、カリフォルニア州内で一定数以上の自動車を販売するメーカーに対し、その販売台数の一定比率を ZEV（BEV 及び FCV が該当）とすることを義務付ける規制¹⁰を導入しており、約 3,000 台（2017 年 10 月末現在）の FCV が普及している。また、全米で現在 51 箇所整備されている水素ステーションについては、カリフォルニア州では 2023 年までに約 100 箇所、ニューヨーク州を中心とする北東部では 2025 年までに約 110～120 箇所がそれぞれ整備される予定である。
- 中国では、2016 年 10 月に FCV の普及に向けたロードマップ¹¹が発表され、2030 年までに FCV を 100 万台、水素ステーションを 1,000 箇所整備する目標を掲げている。また、自動車メーカーに対し、2018 年以降の次世代自動車の販売比率を一定以上とすることを義務付ける方針を打ち出しており、国内自動車メーカーによる大学や研究機関等との共同での燃料電池車両の開発・実証事業の実施、海外企業による燃料電池スタック製造工場の建設といった取組が活発に行われている。
- 韓国では、現在 100 台程度の FCV が普及し、20 箇所程度の水素ステーションが整備されているが、2025 年に 10 万台の FCV を導入し、210 箇所の水素ステーションを整備する目標を掲げており、官民連携による目標達成に向けた取組が進んでいる。

¹⁰ 大気汚染防止、CO2 削減を目的に、ある割合以上の Zero Emission Vehicle（ZEV）、Transitional Zero Emission Vehicle（TZEV）を販売しなければならないとする規制。現在、カリフォルニア州を含め全米 10 州で制定され、米国自動車市場の 1/4 を占めている。

¹¹ 中国自動車技術会（Society of Automotive Engineers of China）は、2016 年 10 月に「省エネルギー・新エネルギー自動車技術ロードマップ」を発表。

4. 水素社会実現に向けた基本戦略

4. 1. 低コストな水素利用の実現：海外未利用エネルギー／再生可能エネルギーの活用

- 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。
- 水素コストの低減に向けた方策としては、海外の安価な未利用エネルギーと CCS を組み合わせる、又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」まで一貫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¹²の実現を目指す。その際には、FCV を中心としたモビリティにおける水素需要の拡大に加え、水素を大量消費する水素発電を導入することで、水素需要を飛躍的に増加させることが重要である。
- 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。

4. 2. 国際的な水素サプライチェーンの開発

国際的な水素サプライチェーンの実現には、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・貯蔵を可能とするエネルギーキャリア技術が必要となる。

現在、国内の水素供給には圧縮水素や液化水素の形態が採用されているが、国際的なサプライチェーンの構築には、国内における輸送技術・インフラが確立している液化水素に加え、有機ハイドライド法によるメチルシクロヘキ

¹² プラント引渡しコストベース。現在の水素ステーションにおける水素価格の 1/3 以下に相当。

サン（MCH）、更にはアンモニアやメタンといったエネルギーキャリアの活用可能性がある。いずれのキャリアについても一長一短があり、技術面や安全面、環境面等での課題解決に向けた取組に加え、水素輸入に対応した港湾機能の確保といったインフラ整備を進める必要がある。

なお、水素利用に至るまでのサプライチェーンの中で、これらの水素エネルギーキャリアが果たす役割・機能は様々である。例えば、液化水素やMCHは純粹に水素を運ぶための媒体である一方、アンモニアは水素キャリアであると同時に直接利用が可能である。また、再生可能エネルギー由来のメタン等については直接利用のみが想定される。キャリアの直接利用については、水素（H₂）の利用とは異なる点に留意が必要。

(a) 液化水素サプライチェーンの開発

- 液化水素は、①気体水素に比べて体積が約 1/800 となること、②気化することで、純度の高い水素の取り出しが容易であること、③LNG と同様のインフラ構成であり、技術的に連続的であること、④国内の輸送インフラが確立していること等の特長を持つ。
- 一方で、LNG より更に低温であるため、海上輸送、荷役・貯蔵に関する新規のインフラ整備が必要となり、技術開発を要する。
- このため、2020 年度までの日豪間の液化水素サプライチェーン構築実証を通じて基盤技術を確立し、商用化に向けた道筋を立てる。また、同実証においては、安価な未利用エネルギーである褐炭から CO₂ フリー水素を取り出すガス化技術、CO₂ 分離・回収技術の確立を図る。
- 世界初の試みである液化水素の海上輸送については、液化水素運搬船の開発実証を行い、日豪間の液化水素サプライチェーンの構築実証に取り組む。液化水素運搬船に係る安全基準については、日豪共同で提案した暫定基準が 2016 年に国際海事機関（IMO）にて採択されたところであり、上記実証の結果を踏まえ、将来的に商用船の国際基準を策定し、液化水素の安定的な輸送の確立を図る。
- 2030 年頃の商用化に向けて、2020 年代半ばまでに商用化実証を行う。このため、2020 年初頭までに大容量の輸送・荷役・貯蔵技術の確立と受入関連施設の整備を進める。また、水素発電設備側においても、大容量の気化器、昇圧ポンプ、配管、継手などの付帯設備の開発・実証を進める。

(b) 有機ハイドライドサプライチェーンの開発

- MCH は、①体積が気体水素の約 1/500 となること、②常温常圧で液体であることから取り扱いが容易であり、長期貯蔵が可能であること、③タンカーやタンク等の既存の輸送・荷役インフラを活用可能であること等の特長を持つ。
- 一方で、水素化、脱水素化に係る設備が必要であり、技術開発を要する。また、脱水素にはエネルギーを要するため、例えば発電時の排熱を脱水素化プロセスに組み込むなどの工夫が必要である。
- 2020 年度までの日ブルネイ間の有機ハイドライドサプライチェーン構築実証を通じて基盤技術を確立し、商用化に向けた道筋を立てる。
- 2025 年以降、国内の水素需要に応じた規模での商用サプライチェーン構築に向け、実証終了後より、商用化の計画、建設開始を目指す。商用サプライチェーンの初期段階においては、供給する水素の価格低減のため、既存インフラを有効に活用しつつ、①水素化・脱水素化プラントや輸送用タンカーの大規模化、②コストダウンに資する技術開発の継続を進める。

(c) エネルギーキャリアとしてのアンモニアの活用に向けた技術開発

- アンモニア (NH₃) は、①他の水素キャリアと比較して体積水素密度が大きい (液化水素の 1.5 倍) ため、インフラ整備をより小規模で安価に形成できること、②天然ガスから製造されるため比較的安価であること、③既存の商業サプライチェーンを活用可能であること等の特長を持つ。また、アンモニアから水素を取り出す (脱水素) ことなく、発電等に直接利用することも可能であり、燃焼時には CO₂ を排出しない。
- 一方で、①天然ガス改質によるアンモニア製造段階での CO₂ フリー化や、②直接燃焼利用時の窒素酸化物 (NO_x) の低減、③可燃性劇物¹³に係る安全性確保に課題がある。
- このため、①CCS や再生可能エネルギー利用と組み合わせた製造段階

¹³ 致死量は吸入ヒト LCLo=1,500ppm (1.07g/m³)。

での CO2 フリー化、②直接燃焼利用時の NOx 低減、③可燃性劇物に係る安全性確保の課題解決に向けた技術開発・検討等を進め、2020 年代半ばまでの CO2 フリーアンモニアの導入・利用開始を目指す。

(d) CO2 フリー水素を用いたメタネーションの検討

- 水素は、CO2 と合成することでメタン化することが可能（メタネーション）であり、メタンをエネルギーキャリアとすることで、①国内における既存のエネルギー供給インフラ（都市ガス導管や LNG 火力発電所等）の活用や、②熱利用の低炭素化の観点から、エネルギーキャリアとして大きなポテンシャルを有する。
- 一方で、こうした CO2 フリー水素由来のメタンを活用するためには、大量かつ安価に CO2 フリー水素が調達可能であることを前提として、近隣に大規模な CO2 排出源が存在することや既存の LNG インフラが利用可能なことが条件となる。更にメタネーションに係る追加コストがかかるため、サプライチェーン全体でのコスト評価が必要である。
- 実用化に向けては、CO2 調達コストの低下、メタネーション設備の低コスト化、海外でメタネーションを行う場合の課題などについて論点整理を行い、その上で普及方策の検討を行う。

(e) パイプラインによる国内輸送

- 国内での水素の大量輸送手段として、将来的にコスト・環境性の両面からパイプラインが有力となる可能性がある¹⁴。実際に、国内においてパイプラインを活用し、製造した水素を近傍で利用する取組は複数存在する。
- 今後は、短期的にも、水素ステーション等の整備の進展に合わせたエコシステム形成が期待される。2030 年以降は、国際水素サプライチェーンの商用化に伴う臨海部でのローカル水素ネットワークの形成や、メタネーション技術等を用いた既設の都市ガスパイプラインの活用の可能性がある。

¹⁴ 既に欧米では数千 km の水素パイプラインが存在していることから、パイプラインの経済合理性、技術的なフェージビリティは証明されていると考えられる。

- 現状、住宅や商業施設等の一般需要家に対するパイプラインによる水素供給に当たっては、漏えい対策として供給するガスに付臭することが義務づけられている。付臭剤は燃料電池のセルスタックに悪影響を与えるおそれがあり、将来的な水素パイプラインの普及を見据えた際の検討課題の一つとなっている。このため、一般需要家に供給する水素の付臭措置について、埋設環境における漏えい検知の手段に係る技術的課題等を見極め、安全性の確保を前提とした規制の見直しを検討する。

4. 3. 国内再生可能エネルギーの導入拡大と地方創生

(a) 国内再生可能エネルギー由来水素の利用拡大に向けた方策

- IEA（International Energy Agency：国際エネルギー機関）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¹⁵。日本においても系統や調整力に係る問題は既に顕在化しているが、今後、再生可能エネルギー利用を拡大するためには、調整電源の確保のみならず、余剰電力を貯蔵する技術が必要となる。
- 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 技術が国内外で注目されている。
- 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/kWhを見通すことのできる技術の早期

¹⁵ IEA “World Energy Outlook 2016”（2016）によれば、いわゆる2℃シナリオの下で2040年の米国の風力・太陽光発電導入量は675GW以上に増加する見込みであり、既存の電力システムの運用に頼る場合は、年間120TWhの出力制御量が発生すると予測。

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。

(b) 地域資源の活用及び地方創生

- 低炭素な水素の供給源として、未利用となっている地域資源（再生可能エネルギー、廃プラスチック、下水汚泥、副生水素等）の活用が注目されている。
- 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。
- 一方、こうしたサプライチェーンの構築にあたってはコスト面が課題であり、①地元自治体や企業との連携等による地域の水素需要拡大及び需給の最適化（設備利用率向上に寄与）、②各種水素関連設備の低コスト化、③ランニングコストの低減（発電・原料調達コストの低減等）に取り組む必要がある。
- 地域でのサプライチェーン構築を進めるため、現在進められている種々の実証・検討（温室効果ガス削減効果の評価・コスト分析等）の結果を、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公表していく。また、水素を活用した自立分散型のエネルギー供給システムは、災害時の多様な活躍が期待されることから、国は、地方自治体等に対し積極的に情報提供や普及啓発を図っていく。さらに、これら実証事業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。

4. 4. 電力分野での利用

- 水素発電は、天然ガス火力発電等と同様に、電力量価値に加え、調整力や供給力（容量）の価値の提供も可能と考えられるため、中長期的には再生可能エネルギーの導入拡大に必要となる調整電源・バックアップ電源としての役割を果たしつつ、低炭素化を図るための有力な手段となり得る。また、水素を安定的かつ大量に消費する水素発電は、国際的なサプライチェーンの構築とセットで進めるべき最重要のアプリケーションである¹⁶。
- 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、NO_x 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、NO_x 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 1 GW 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）¹⁷。
- 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

¹⁶ 1960 年代に LNG のサプライチェーンを構築した際は、総括原価方式の下、天然ガスを長期・固定価格で買い取った上で発電や都市ガス用途で消費。

¹⁷ モビリティや産業プロセス・熱利用での利用量は考慮していない点に留意が必要。なお、LNG の年間輸入量は約 8,475 万 t（2016 年）。

であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法¹⁸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¹⁹における非化石電源として水素発電を位置づける²⁰といったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。

- なお、CO₂ フリー水素由来のメタンはもとより、アンモニアはキャリアの直接利用が可能である。アンモニアについては、2020 年頃までに石炭発電所でのアンモニア混焼発電の開始、2030 年頃までにガスタービン等への利用拡大を目指す。

4. 5. モビリティでの利用

(a) FCV・水素ステーションの両輪での推進

- モビリティにおける水素利用の中核は FCV・水素ステーションの普及である。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。
 - ✓ 規制改革については、規制改革実施計画（2017 年 6 月 9 日閣議決定）等に基づく足元の取組を加速するとともに、水素利用の実態を踏まえた規制体系の在り方について検討し、結論を得る。

¹⁸ エネルギーの使用の合理化等に関する法律（昭和 54 年法律第 49 号）。

¹⁹ エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（平成 21 年法律第 72 号）。

²⁰ 地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年法律第 117 号）における論点についても検討を進める。

- ✓ また、100箇所の水素ステーションが開所する2017年度末以降は、民間11社により設立予定の水素ステーション整備会社を中心に、多様なプレーヤーを巻き込み先行投資の負担を軽減しながら、需要シミュレーション等に基づき水素ステーションの最適な配置を効果的に進める。
- 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（稼働率向上）の観点からは、FCバスやFCフォークリフト等の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。このため、民間事業者・関係府省庁・関係自治体等が密接に連携し、水素ステーションインフラ整備や機器開発に係る規格の整理や互換性の確保等を進める。
- モビリティにおける水素利用の意義を高め、ユーザーにとっての利用インセンティブを付与するため、水素が持つ環境価値を顕在化し、評価・認定する仕組みの確立に向けた検討を進める。

(b) 再生可能エネルギー由来水素ステーション

- 再生可能エネルギー由来水素ステーションは、①水素製造時も含めトータルで低炭素、②再生可能エネルギーの地産地消、③地域における水素需要の喚起、④省スペースでの設置、⑤環境学習等の啓発への利活用、といった特長を持つ。特に、FCV等の黎明期においては地域における水素需要の喚起や社会における再生可能エネルギー由来水素の認知度・受容性の向上の観点から意義がある。
- 一方、再生可能エネルギー由来の水素ステーションは、現状では充填圧力が35MPaでありFCVへの満充填ができないこと、製造能力が限定的であり不特定多数のFCVに対する水素供給が難しいこと、コストの高さが課題である。
- これらの課題に対して、充填圧力が70MPaの再生可能エネルギー由来水素ステーションが2018年度に市場投入見込みであるが、今後は、水素供給能力の向上、低コスト化に向けた技術開発を進める。
- 水素ステーションの最適配置の観点からは、商用水素ステーション²¹の

²¹ 不特定多数のFCV等に対し水素を安定的に供給可能な能力をもつ（70MPa充填、50～900Nm³/h）供給設備を指す。再生可能エネルギー由来水素ステーションは、現状では水素製造・供給量

整備と連携し、再生可能エネルギー由来水素ステーションについては主に四大都市圏外の地域に 2020 年度までに 100 箇所程度の整備を目指し、水素需要の喚起や普及啓発、社会受容性の向上を図る。

- 今後は、地域の資源を活用した低炭素な水素サプライチェーンにおける活用方法の検討・実証も進める。

(c) 燃料電池バス（FCバス）の普及拡大

- 多くの国民が利用する公共交通機関である路線バス等が FC 化されることは、国民が水素に触れ、広く水素社会を体感、利用できる機会を生み出し、国民の理解を促進する観点からも意義が大きい。
- 公共車両の電動化においては、充電時間の短さや航続距離、路線の柔軟性が重要であり、その点で、FC バスは BEV バスやトラムに比べて優位性がある。更に、大容量の外部給電機能（避難所 4.5 日分）²²を有する FC バスは、災害時の活躍にも期待される。
- また、水素ステーションの稼働率向上、収益性増強の観点からも、安定的かつ大きな水素需要を見込める²³FC バスの普及は重要である。
- 2017 年から路線 FC 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。

(d) 燃料電池フォークリフト（FCフォークリフト）の普及拡大

- 燃料電池フォークリフトは、電動車（BEV）や従来のガソリン車に比べ、充填時間や CO2 排出量の点で優位性がある。一方、BEV フォークリフトとの比較では、イニシャルコストや燃料費の高さが課題である。

（35MPa 充填、0.7～5Nm³/h 程度）の制約から水素供給ネットワークの構成要素とはなっていない。

²² トヨタ自動車の FC バスは、9 kW/235kWh の外部電源供給システムを持ち、避難所 4.5 日分に相当。

²³ FC バス 1 台の年間水素消費量は FCV45 台分に相当。

- 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FC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。
- フォークリフト等の産業車両は、限られたエリア内でのみ稼働する性質を持つことから、水素供給インフラについては、①将来の目指すべき姿を明確化するとともに、②過渡期の在り方を官民で検討する。特に、過渡期においては水素ステーション等のインフラの有効活用という観点も重要である。

(e) 燃料電池トラック（FCトラック）の開発・商用化

- 貨物車両（営業用及び自家用）からのCO₂排出量は、運輸部門全体の36%を占め、輸送量当たりのCO₂排出量も大きい²⁴ため、低炭素化余地が大きい。
- トラックのゼロエミッション化に当たっては、パワートレイン（駆動用装置類）の重量を抑えつつ、航続距離を伸ばすことが求められる。このため、電気トラックではバッテリーを、FCトラックでは水素タンクを増やすこととなるが、ユニット質量におけるそれぞれが占める割合から、100km以上の領域においてはFCトラックに優位性がある。
- 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。

²⁴ 輸送量当たりのCO₂排出量（2015年度）は、自家用貨物車で1,209g-_{CO2}/t・km、営業用貨物車で227g-_{CO2}/t・kmであり、船舶（39g-_{CO2}/t・km）や鉄道（23g-_{CO2}/t・km）に比べ大きい。

(f) 燃料電池船（FC 船）の開発・導入

- 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。

(g) その他のアプリケーションの展開

- 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。
- これらのアプリケーションの実用化に向けては、市場規模や CO₂ 削減ポテンシャルを評価した上で、低コスト化等に向けた技術開発見直しを見極め、特に費用対効果の大きいものを優先して取組を進める。

4. 6. 産業プロセス・熱利用での水素活用の可能性

- 2030 年以降に大量に調達・利用する CO₂ フリー水素は、発電やモビリティのみならず、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、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と考えられる（化石燃料の CO₂ フリー水素による代替）。
- また、現在、製鉄や石油精製など、国内において工業用途で使用される水素は化石燃料から作られていることから、これを CO₂ フリー水素に代替することでも低炭素化が可能と考えられる（化石燃料由来水素の CO₂ フリー化）。
- 欧州においては、今後大量に導入する再生可能エネルギーを電力・モビリティ以外の分野で活用する「セクターカップリング」の観点から、

産業分野等での「グリーン水素²⁵」の活用が検討されている²⁶。更に、製鉄プロセスにおける CO2 排出量を大幅に低減するため、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²⁷。

- 現実的には、経済性のみの観点から水素が化石燃料を代替することは困難であることから、環境価値に係る今後の制度設計も注視しつつ、我が国においても、産業分野における CO2 フリー水素の活用可能性を検討する。

4. 7. 燃料電池技術活用

- 再生可能エネルギーの導入拡大等により、電力の CO2 排出係数については 2030 年までに 0.37kg_{CO2}/kWh に引き下げること为目标としている。発電時に生じる熱を有効に活用することのできるエネファームの CO2 排出係数は、熱利用による CO2 削減量を加味した場合、現状でも 0.3kg_{CO2}/kWh を下回る水準であり、家庭等における大幅な CO2 排出削減が期待できる。
- 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

²⁵ 脚注 7 参照。

²⁶ 特に、欧州では環境規制の下、グリーン水素の需要が成長するシナリオが検討され、2030 年にグリーン水素需要が全水素需要の 17%を占めるという試算も存在。主要なグリーン水素需要産業として、自動車、リファイナリ、Power-to-gas（ガス網注入）、化学を想定。

²⁷ CO2 フリーの製鉄プロセスの実現を目指す取組として、“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）が挙げられる。

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。

4. 8. 革新的技術開発

- パリ協定等を踏まえ、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、重点的・集中的に取り組むべき技術の一つとして水素等のエネルギーキャリアの製造、輸送・貯蔵、利用が掲げられている。
- 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
- 革新的技術に係る研究開発事業の推進に当たっては、関係府省庁が国際動向も踏まえながら、全体戦略について共通認識を持ち、個別の取組がシームレスに接続されることが重要である。

- このため、研究開発事業の実施に当たっては、本戦略やエネルギー基本計画で示された方針に基づき、基礎研究の有望シーズと産業界のニーズの双方を踏まえ、既存の枠組み²⁸も活用し、可能な限り具体的な目標を設定した上で、成果の橋渡しを行うなど、各府省庁が密に連携する。

4. 9. 国際展開（標準化等）

(a) 戦略的な国際展開モデルの構築

- 我が国が有する水素製造から輸送・貯蔵、利用に至るまでの水素サプライチェーン全体の技術をパッケージでグローバルに展開していく。
- このため、海外市場の動向や各国における規制、関連施策の動向、技術的課題等を把握し、パッケージ化する内容を見極め、水素の大規模利用、CO₂フリー水素利用のビジネスモデルを確立し、我が国が世界をリードしていく。

(b) 国際的な枠組みの活用

- 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。

(c) 国際標準化

- 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

²⁸ 現在、文部科学省と経済産業省の間で革新的な低炭素技術開発を行う「未来エネルギー・環境コラボチャレンジ（COMMIT2050）」を進めている。

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。

4. 10. 国民の理解促進、地域連携

- FCV やFC 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の水素利用が広がっている。こうした動きを今後更に加速していくためには、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も国民全体で認識を共有していくことが必要である。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。
- また、地域ごとにエネルギー利用の事情が異なり、また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。

²⁹ 水素の製造、貯蔵、輸送、測定及び利用に係るシステム・装置に関する標準化を目的とする委員会。