

水素社会実現に向けた我が国の取組

経済産業委員会調査室 谷合 まどか

2015年は『水素元年』と呼ばれることがある¹。これは前年の2014年に水素に関する様々な動きがあったことに起因する。2014年4月に閣議決定された『エネルギー基本計画』において、水素社会の実現に向けて取組を加速することとされ²、同計画に基づき、6月、経済産業省において『水素・燃料電池戦略ロードマップ』が取りまとめられた³。水素社会の実現が我が国の重要政策と位置付けられる中、10月に舛添東京都知事（当時）は2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて水素社会を実現することを表明し⁴、また、12月には世界初の量産型FCV⁵が発売に至るなど、自治体や企業の動きも活発化した。さらに、2015年12月のパリ協定⁶採択により、水素は利用時にCO₂を排出しないクリーンなエネルギーとして一層注目されるようになった。

本稿では、我が国における水素エネルギーの意義や課題について説明した上で、本年3月に改訂された『水素・燃料電池戦略ロードマップ』を踏まえ、水素の製造段階及び利用段階における技術開発や政策の動向について説明する。最後に、各府省が将来の水素社会実現に向けて取り組んでいる施策について概説する。

1. エネルギーとしての水素

（1）我が国における水素エネルギーの意義

現在、エネルギーとして注目されている水素⁷であるが、そもそも水素は多くの産業分野で利用されてきており、例えば、製鉄所ではステンレス鋼などの表面を磨くために、また、石油コンビナートでは原油から硫黄分を取り除き精製するために利用されてきた。身近なところでは、マーガリンや口紅などの油脂を固める添加剤としても水素が活用されている⁸。このような産業分野において化学反応をいかして利用されてきた水素であるが、1973年の

¹ 『朝日新聞』（平27.2.18）、『日本経済新聞』（平27.4.20）など

² 『エネルギー基本計画』において、「エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策」の一つとして、「“水素社会”の実現に向けた取組の加速」が挙げられ、「水素の本格的な利活用に向けては、現在の電力供給体制や石油製品供給体制に相当する、社会構造の変化を伴うような大規模な体制整備が必要であり、そのための取組を戦略的に進める」こととされている。

³ 2013年12月に立ち上げられた『水素・燃料電池戦略協議会』において検討が行われ、2014年6月23日、水素の利用面に加え、製造や輸送・貯蔵の各段階で、目指すべき目標とその実現のための産学官の取組について、時間軸を明示した形で取りまとめられた。

⁴ 第四回東京都議会定例会（2014年11月28日）での知事所信表明において発言した。なお、東京都は2015年2月に『水素社会の実現に向けた東京戦略会議（平成26年度）とりまとめ』をまとめている。

⁵ 燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）

⁶ 気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）において採択された、温室効果ガスの主要排出国を含む全ての国が参加する初めての合意。我が国はCOP21に先立ち、2030年度に2013年度比温室効果ガス26%減とすることを内容とする約束草案を国連に提出した。

⁷ 水素は原子番号1の元素（元素記号はH）であり、無色無臭で最も軽い気体である。地球上に存在する水素の多くが水や有機化合物として存在しているため、それらを何らかの方法により分解して得る必要がある。

⁸ 岩谷産業株式会社『水素エネルギーハンドブック（第4版改）』（平28.6）15頁

オイルショックやそれに続く環境意識の高まりなどを受けて、エネルギーとして注目されるようになった⁹。

我が国において水素がエネルギーとして注目される理由は、水素が持つ特徴にある（図表1）。水素は、水や地球上の未利用資源などの様々な化合物を分解することで製造でき、無限に存在すると言われていたことから、エネルギーの多くを海外から輸入している我が国にとって、エネルギー自給率¹⁰の向上やエネルギーの安定供給につながる可能性がある。政府においても、2016年4月に経済産業省が策定した『エネルギー革新戦略』¹¹では、海外に豊富に賦存する再生可能エネルギー（太陽光、風力等）や未利用資源（褐炭等）に着目し、「将来的に海外からの再エネ／未利用エネルギーを経済性のある形で水素として輸入することが出来れば、化石燃料に乏しく、エネルギー源のほとんどを輸入に依存する我が国のエネルギー調達の多様化につながり、エネルギー安全保障の向上に貢献できる」としている。

また、水素は発電に利用される際、空気中の酸素と反応し、CO₂等を排出せず水を精製するのみであるため、環境への影響がないクリーンなエネルギーとされる（ただし、後述するように、水素が製造される方法によっては、製造時にCO₂等の排出が伴う）。

さらに、水素は比較的大規模かつ長期に貯蔵できるため、太陽光や風力など自然の影響を受け発電量が変動する不安定な電源から作り出した電気を、水素に変換して貯蔵しておくことも可能である。

図表1 水素の特徴

無尽蔵	水などの化合物や未利用資源として地球上に無限に存在すると言われる。
クリーン	燃焼しても、空気中の酸素と反応し、水を精製するのみであり、CO ₂ 等の排出物を出さない。（ただし、水素の製造方法によっては、製造時にCO ₂ 等を伴う。）
貯蔵できる	大容量の電力を、水素に変換して貯蔵することができる。
安定供給	水や化石燃料、未利用資源等から様々な方法で製造することができるため、エネルギー自給率の向上につながる可能性がある。

（出所） 岩谷産業株式会社『水素エネルギーハンドブック（第4版改）』（平28.6）10頁を基に筆者作成

（2）水素エネルギー利用における課題

このように水素は、我が国のエネルギーに関する課題を解決する手段になり得る特徴を有する一方、水素社会の実現には、技術面、コスト面、インフラ面等で多くの課題が存在していることも事実である。具体的には、燃料電池の耐久性や信頼性等の技術面の課題、

⁹ 我が国の省エネルギー政策は、オイルショックを契機として始められ、1981年から省エネルギー関連技術開発に関する『ムーンライト計画』（1993年からは『ニューサンシャイン計画』）の下、燃料電池の開発が開始された。

¹⁰ 日本のエネルギー自給率は約6%（2014年、I E Aによる推計値）である。（I E A『ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2015 EDITION』II.94頁）

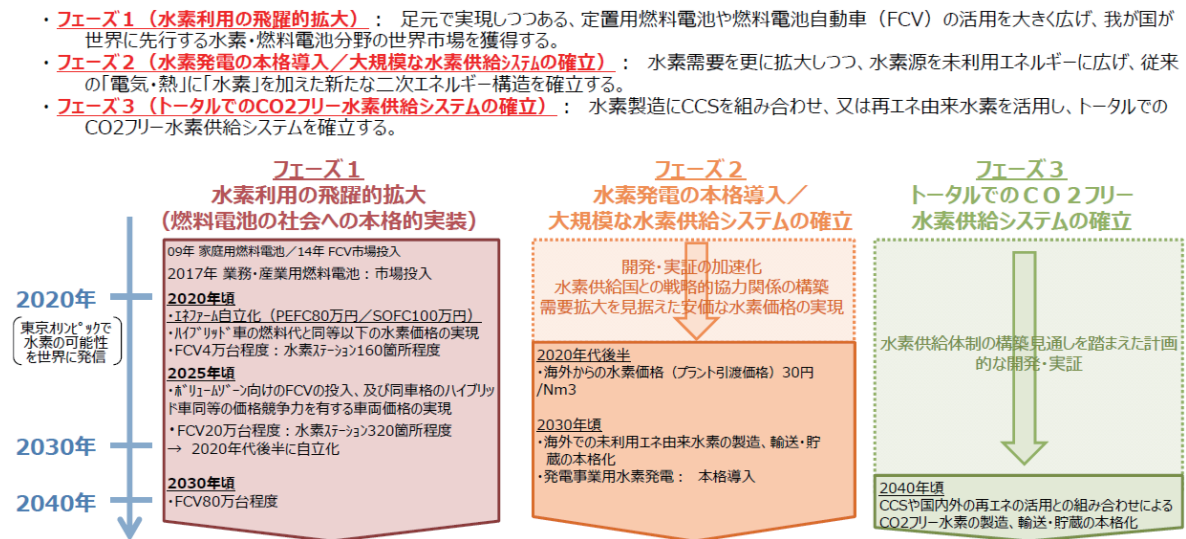
¹¹ 2015年7月に決定された『長期エネルギー需給見通し』（2030年度のエネルギー需給構造の見通しを示すもの）の実現に向け、経済成長とCO₂排出抑制の両立を狙いとし、省エネ、再エネを始めとする関連制度を一体的に整備する戦略として策定された。

現状における一般の許容額を超えるコストの高さ、水素を日常生活や産業活動でエネルギーとして利用するための規制の整備等の制度面の課題、水素ステーションの整備などのインフラ面の課題等が挙げられる。水素利用のコストが高く、インフラが整備されていない段階では、利用者にとって不便であり需要は増えず、一方で、需要が増えなければ、コストは下がらず、インフラを整備するメリットもない。また、需要が見込めなければ、技術開発や制度整備にコストをかけて取り組むことは難しく、一方で、技術開発が進まなければ、コストは下がらず、水素利用のための制度整備がされなければ社会導入が難しく需要は増えない。水素社会実現には、この水素供給側と水素需要側の双方の立場における課題を一体的に解決していく必要があるため、政府が水素導入・利用の道筋を計画し、産学官で積極的に長期継続的に取り組んでいくことが求められる。このために、主として技術的課題の克服と経済性の確保に要する期間の長さに着目し、水素社会実現に向けた方向性を示すために策定されたのが、『水素・燃料電池戦略ロードマップ』（2014年6月策定、2016年3月改訂）である。

（3）水素・燃料電池戦略ロードマップ

『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。）では、水素社会の実現に向けて、時間軸に沿った3つのフェーズで産学官の取組を進めることとされている（図表2）。

図表2 水素・燃料電池戦略ロードマップ概要



（出所） 資源エネルギー庁資料

フェーズ1では、水素利用を飛躍的に拡大させるため、現在実用化されている技術を定着させ、市場を拡大することを目標としており、2016年3月のロードマップ改訂においては、家庭用燃料電池（エネファーム）の将来的な価格目標の明確化、FCVの普及目標や水素ステーションの整備目標等が設定された。フェーズ2では、水素発電の本格的な導入と大規模な水素供給システムの確立のため、水素源を未利用資源にまで広げ、更なる水素

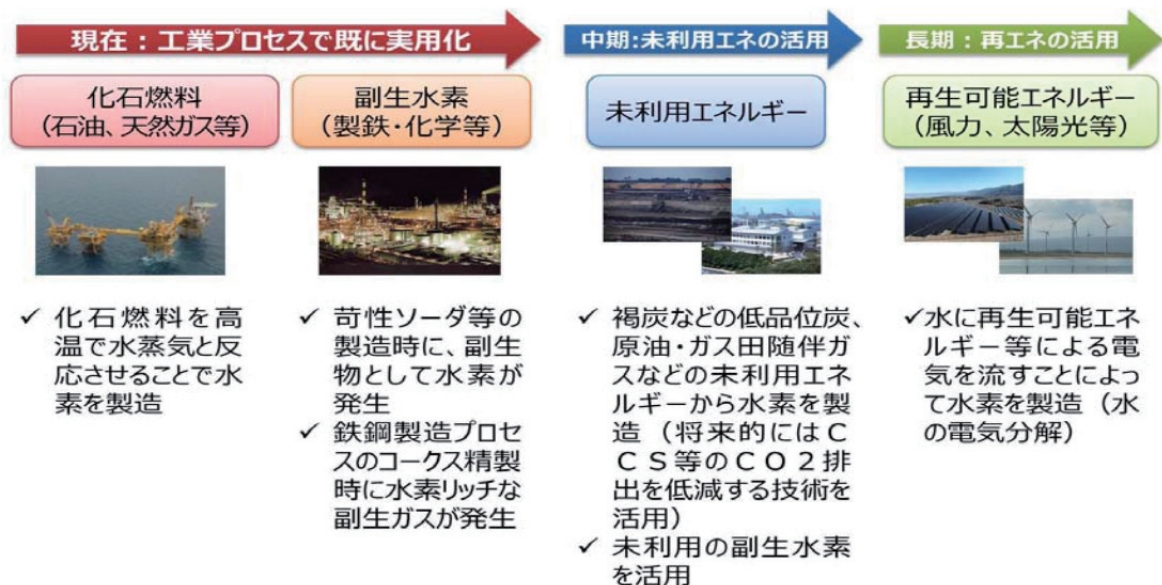
需要の拡大が目指されている。フェーズ3では、水素製造にCCS¹²を組み合わせたり、再生可能エネルギー由来の電気による水の電気分解で製造された水素を利用したりすることで、2040年頃、CO₂を排出しない水素供給システムを確立することを目標としている。

ロードマップで取り上げられている技術は、未利用資源や再生可能エネルギーを活用した水素の「製造」とエネファームやFCV、水素発電といった水素の「利用」の2つの側面に分類することができる。この水素の「製造」と「利用」の2つの観点から、現在の我が国の技術開発の動向と政府の取組について概観する。

2. 水素の製造

水素は、多様な原料から製造することができ、また、製造方法も多数存在するため、何からどのように製造するかということについて工夫の余地が多く、我が国のエネルギー供給に大きな役割を果たすと言える。ロードマップにおいては、水素の製造方法について、現在工業プロセスにおいて実用化されている化石燃料からの製造や副生水素の利用から、将来的には未利用エネルギー（褐炭等）を活用する方法、さらに長期的には再生可能エネルギーから製造された水素を利活用することが目指されている（図表3）。水素は利用の段階でCO₂を排出しないエネルギーとされるが、現在実用化されている製造方法では、化石燃料等から水素を製造するため、製造段階でCO₂を排出する。将来の温室効果ガス排出削減のためにも、長期的には製造段階でCO₂を排出しない、又は、水素製造にCCSを組み合わせることなどにより、トータルでCO₂フリーな水素製造供給システムの確立が目指される。ロードマップにおける段階的な水素製造方法について説明する。

図表3 ロードマップにおける水素製造



(出所) 資源エネルギー庁資料

¹² 二酸化炭素の回収、貯留 (Carbon dioxide Capture and Storage)

(1) 現在実用化されている製造方法

ア 化石燃料からの水素製造

化石燃料からの水素製造のプロセスは、水蒸気改質法、部分酸化法¹³、自己熱改質法¹⁴等があり、特に水蒸気改質法が世界的に広く実用化されている。水蒸気改質法は、天然ガス等の炭素資源を高温かつ触媒¹⁵存在下で水蒸気と反応させることで水素を得る¹⁶。この製造方法では、化石燃料を使用し、水蒸気との反応においてCO₂を排出するため、環境性は低い、実用化の歴史が古く¹⁷、大規模な供給が可能であるため、経済性や安定性に優れている。

イ 副生水素

石油精製、アンモニア合成、メタノール合成、苛性ソーダ製造、製鉄等の工場から副次的に発生し、そのうちの多くが工場内で燃料や原料として自家消費されている¹⁸。

(2) 未利用エネルギーの利用

ロードマップにおいて2030年頃には、褐炭などの未利用エネルギーから水素を製造することへの期待が寄せられている。世界には、未利用の褐炭等の低品位炭が存在し¹⁹、これらは自然発火しやすい性質を持つことから、輸送が困難とされ生産地での発電用途に限定されて利用されてきた。しかし、灰分、硫黄含有量が低い等良好な性状を有するものも多く、比較的浅部に賦存するため経済的に有利な条件で採掘できる可能性が高い²⁰。このことから、褐炭を生産地でガス化し水素に変換してから輸送することで、自然発火性により困難とされてきた輸送をクリアできる技術の開発が進められているところである。

経済産業省は、『未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築実証事業』²¹として平成28年度予算に28億円を計上し、未利用エネルギーを利用した、将来の安価で安定的な

¹³ 炭化水素の一部を酸素あるいは空気中で燃焼させ、その発熱により残りの炭化水素と水蒸気を改質反応させ、合成ガス（一酸化炭素と水素の混合ガス）を製造する方法。無触媒下、高温で反応させ、反応全体としては発熱となる。

¹⁴ 主反応が吸熱反応（熱供給を必要とする）である水蒸気改質反応と、発熱反応である部分酸化反応を同じ反応器内部で反応させ、熱的に自立させる方法。

¹⁵ 化学反応の際にそれ自身は変化せず、他の物質の反応速度に影響する働きをする物質。

¹⁶ 反応式は、 $C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + (n + m/2)H_2$ 、 $C_nH_m + 2nH_2O \rightarrow nCO_2 + (2n + m/2)H_2$ となる。発生したCO（一酸化炭素）は、さらに水蒸気と反応させCO₂に転化する。それから残存するCO₂等を除去し、水素の純度を高くする。（『石油便覧 第8節水素製造とガス化』（JXエネルギー）〈<http://www.no.e.jx-group.co.jp/binran/part04/chapter04/section08.html>〉（平28.8.24最終アクセス））

¹⁷ 英国ICI社が水蒸気改質技術を開発し、1963年に三菱化工機が同技術を導入した。（『電子デバイス産業新聞』（平27.11.5））

¹⁸ 『水素事業』（岩谷産業株式会社）〈<http://www.iwatani.co.jp/jpn/ir/pdf/h2.pdf>〉（平28.8.24最終アクセス）

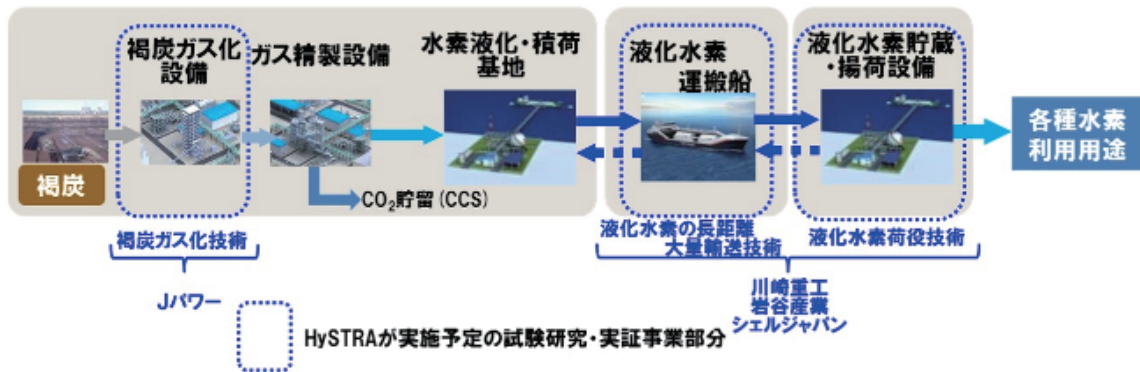
¹⁹ 世界の石炭可採埋蔵量の約55%が低品位炭（32%亜瀝青炭、23%褐炭）である。（2011年末データ、World Energy Council『World Energy Resources 2013 Survey』1.9頁）

²⁰ 一般財団法人石炭エネルギーセンター『コール・ノート2014年版』（平27.3）369頁

²¹ 平成27年度から32年度までの6年間の事業で、この事業を通じ将来的に未利用エネルギー等から製造された水素の調達コスト（国内輸送に係るコストを除く）が330円/kg（30円/Nm³程度、発電コストで17円/kwh程度）となることを目指している。

水素の調達に向けた実証事業を補助している。この実証事業の一つである『未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業』は、川崎重工株式会社、岩谷産業株式会社、シエルジャパン株式会社、電源開発株式会社の4社が共同し²²、豪州において褐炭²³ ²⁴から水素を製造し、それを液化²⁵して我が国へ輸送する取組の実証事業を行っている²⁶（図表4）。

図表4 未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業



（出所） 「技術研究組合 CO₂フリー水素サプライチェーン推進機構」を設立ー水素エネルギー社会の実現に向けて活動を本格化ー」（平 28. 4. 1 付け川崎重工プレスリリース）<https://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/20160401_1.html>（平 28. 8. 26 最終アクセス）

液化水素の運搬については、川崎重工株式会社が 2,500m³の液化水素を運べる運搬船を開発中で、運搬船に搭載する貨物格納設備の基本認証を 2014 年 2 月に日本海事協会から取得した。また、2015 年 9 月、運搬船の安全要件を日豪共同で国際海事機関（IMO）に提案し、継続的に検討を行ってきたところ、本年 9 月に提案どおり承認された。今後は承認された暫定勧告を基に、実証実験の具体的内容について、豪州政府との調整を進める²⁷。

将来的には、褐炭から水素を取り出す際に発生する CO₂ に関して CCS を組み合わせ、

²² 川崎重工株式会社、岩谷産業株式会社、電源開発株式会社の3者で事業を行っていたが、2016年2月にシエルジャパン株式会社が加わり、「技術研究組合CO₂フリー水素サプライチェーン推進機構（略称：HySTRA（ハイストラ）」を結成し、本事業の商用化に向けて活動を本格化させた。

²³ 褐炭資源の大部分が豪ブクトリア州のラトロブバレー地区に賦存し、埋蔵量は世界最大規模の 372 億トン（世界の褐炭可採埋蔵量の約 18.5%（2011 年末データ、World Energy Council『World Energy Resources 2013 Survey』1.9 頁）、可採年数は 500 年以上と言われている。（一般財団法人石炭エネルギーセンター『コール・ノート 2014 年版』（平 27. 3）47 頁）

²⁴ ラトロブバレー地区の褐炭の埋蔵量は日本の総発電量の 240 年分に相当する膨大な量があると見られている。（「広告企画 水素社会へのロードマップ トップ企業が語る 8 兆円産業のビジネスチャンス」『日経ビジネス』（平 27. 7. 13））

²⁵ 水素は-253℃で液化し、気体の体積の 1/800 になる。（岩谷産業株式会社『水素エネルギーハンドブック（第 4 版改）』（平 28. 6）16、18 頁）

²⁶ このほか『未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築実証事業』として採択されている事業には、『有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証』（千代田化工建設株式会社による事業）等がある。

²⁷ 「国際海事機関（IMO）第三回貨物運送小委員会の結果概要」（平 28. 9. 12 付け国土交通省プレスリリース）<<http://www.mlit.go.jp/common/001145340.pdf>>（平 28. 9. 13 最終アクセス）

CO₂フリー水素として大量に輸送することを計画している。豪州政府とビクトリア州が約 200 億円を投じて進めている「カーボンネット」というCCS事業²⁸と連携し、2020 年の豪州からのCO₂フリー水素輸入に向けて実証が進められている。

(3) CO₂フリー水素

ロードマップにおいては、地球温暖化への影響の観点から、2040 年頃には、製造時にCO₂を排出しないこと、又は、水素製造にCCSの技術を組み合わせることが目標とされている。水素は、水の電気分解²⁹によって製造する際にはCO₂を排出しないが、CO₂フリー水素であるかどうかは、電気分解に利用する電力が再生可能エネルギーから作られたかによる。太陽光や風力など自然の影響を受け発電量が変動する不安定な電源から作り出した電気を、水の電気分解により水素に変換し貯蔵する技術は、Power to Gas (P2G) と言われる。この技術は、出力変動の大きい再生可能エネルギーの導入拡大による既存の電力系統への負担増などの課題の解決策として、活用の可能性が検討されているところである³⁰。また、前述したように、海外の未利用エネルギー等を利用した場合は、その水素供給先で製造時に発生したCO₂をCCSによって回収・貯留することが目指されている。

3. 水素の利用

水素を燃料として利用する場合、現在実用化段階にある技術が、家庭用燃料電池（エネファーム）と燃料電池自動車（FCV）であり、ロードマップのフェーズ1において具体的な導入目標が示されている。中長期的に導入が目指されている水素利用の方法は水素発電であり、ロードマップでは2030年頃の本格導入が目標とされている。これらの水素利用技術について説明する。

(1) 家庭用燃料電池（エネファーム）

家庭用燃料電池（エネファーム³¹）は、2009 年度から一般市場への販売が開始された。エネファームは、電気を作る「燃料電池ユニット」と発電時に出る熱からお湯を作る「貯湯ユニット」からなる³²。燃料電池ユニットでは、まず、都市ガスやLPガス（メタン（CH₄））を水蒸気と反応させ（前述の水蒸気改質法）、水素を取り出す。取り出された水素

²⁸ 水素製造時に排出したCO₂をラトロブバレーから80km先の海岸沖にある枯れかけの海底ガス田に貯留する事業（『日経エコロジー』（平28.7）60、61頁）

²⁹ 水に電流を流すと、陽極側からは酸素、陰極側からは水素が発生する。

³⁰ 水素・燃料電池戦略協議会の下に『CO₂フリー水素ワーキンググループ』が設置され議論されている。2017年1月下旬に報告書を取りまとめる予定である。

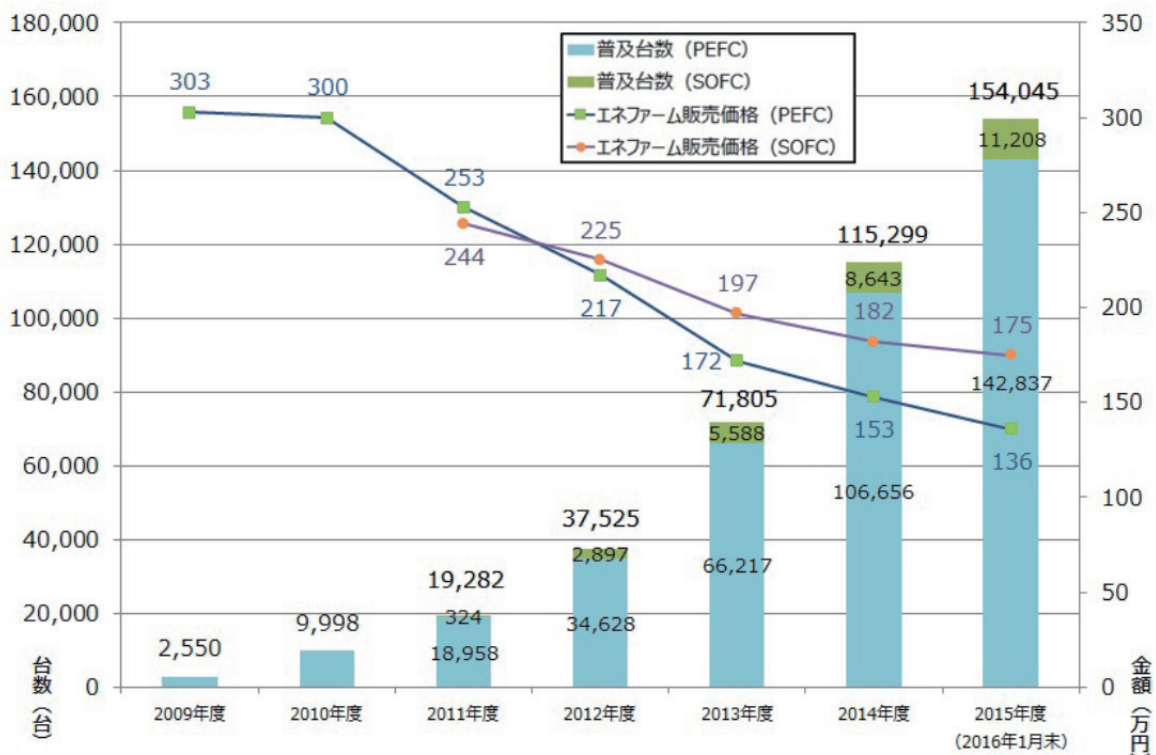
³¹ 2009年度からの一般市場への販売に向け周知を図るため、燃料電池実用化推進協議会において統一名称が検討され、エネファームと名付けられた。水素と酸素から電気と熱をつくることと、水と大地で農作物をつくることに似ているという理由から、エネファームは、「エネルギー」と「ファーム＝農場」の造語として名付けられた。（「家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの統一名称の使用について」（平20.6.25東京ガス株式会社プレスリリース）〈<http://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20080625-01.html>〉（平28.8.24最終アクセス））

³² 「詳しいしくみ」（東京ガス株式会社ホームページ）〈http://home.tokyo-gas.co.jp/enefarm_special/enefarm/structure_detail.html〉（平28.8.26最終アクセス）

と空気中の酸素を反応させて電気を作り出す（水の電気分解と反対の反応を起こす）。作られた電気はインバータ³³を通して家庭に送られ、同時に出了水は、再度水蒸気として水素を取り出すために再利用する。貯湯ユニットは、発電の際に発生する熱を回収し、貯湯タンクの水を温めお湯を作り、給湯に利用する。

エネファームには、PEFC³⁴型とSOFC³⁵型が存在する。PEFC型は、発電効率³⁶が40%弱と比較的低い一方、排熱回収効率が高い（貯湯タンクは150～200ℓ程度）。SOFC型は、発電効率が45%程度と比較的高い一方、排熱回収効率が低い（貯湯タンクは100ℓ弱）³⁷。2016年1月末における普及台数は、PEFC型及びSOFC型合わせて15万台を突破し、ユーザー負担額（設置工事費込み）も2009年の市場投入当初は300万円程度であったが、現在PEFC型で140万円程度と半減以下の水準まで到達している（図表5）。

図表5 エネファームの台数と推移



(出所) 資源エネルギー庁資料

経済産業省は、平成28年度予算では、『民生用燃料電池（エネファーム）導入支援補助金』として95億円を計上した。基本的には、国が機器購入費＋設置工事費についての基準価格と目標価格との差額の約1/3を補助する制度となっている（基準価格と目標価格は国

³³ 直流電気を家庭で利用できる交流電気に変換する機器。

³⁴ 固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell)

³⁵ 固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell)

³⁶ 利用するエネルギーに対してどのくらいの割合を電気エネルギーに変換できるかを表す指標。

³⁷ 「家庭用燃料電池について」(平26.2.3、資源エネルギー庁燃料電池推進室資料)

が設定)。平成 28 年度の P E F C 型の基準価格は 127 万円（裾切価格は 142 万円）で、基準価格以下であれば 15 万円の補助（基準価格を上回り裾切価格以下であれば 7 万円の補助）がされる。S O F C 型の基準価格は 157 万円（裾切価格は 169 万円）で、基準価格以下であれば 19 万円の補助（基準価格を上回り裾切価格以下であれば 9 万円の補助）がされる³⁸。それぞれ裾切価格を上回る場合は補助対象外となる。その他、自治体からの補助金が支給される場合がある³⁹。

ロードマップでは、2020 年に 140 万台、2030 年に 530 万台の導入を目標とし、ユーザー負担額については、2020 年に 7、8 年で投資回収可能な金額を、2030 年に 5 年で投資回収可能な金額を目指している。具体的には、P E F C 型は 80 万円（2019 年度）、S O F C 型は 100 万円（2021 年度）を目指し、2020 年頃の自立化を目標とする。燃料電池の高効率・低コスト化に関する技術開発に対しては、『燃料電池利用高度化技術開発実証事業』⁴⁰として、経済産業省が平成 28 年度予算において 37 億円を計上している。

（２）燃料電池自動車（F C V）

F C V は次世代自動車⁴¹と呼ばれるものの一つである。基本的な仕組みは、搭載されている F C スタック（燃料電池）において、水素と空気中の酸素を反応させて電気と水を発生させ、発生した電気をモーターに送り走行する。現在発売されている F C V はトヨタの「MIRAI」とホンダの「クラリティフューエルセル」である（図表 6）。

F C V は 2015 年末までに国内で約 400 台が販売されている⁴²。平成 28 年度予算においては、経済産業省は『クリーンエネルギー自動車導入促進対策事業費補助金』として 137 億円を計上しており、F C V に対しても、1 台 200 万円程度⁴³を補助してい

図表 6 F C V の比較

製品名	MIRAI	クラリティフューエルセル
メーカー	トヨタ自動車	ホンダ
価格	723万6000円	766万円
発売日	2014年12月15日	2016年3月10日
大きさ	全長4890×全幅1815×全高1535mm	全長4915×全幅1875×全高1480mm
乗車定員	4人	5人
最高出力	154馬力	177馬力
車両重量	1850kg	1890kg
航続距離	650km	750km
水素タンク容量	122.4L	141L

（出所）『日経産業新聞』（平 28. 8. 8）、埼玉県資料を基に筆者作成

³⁸ 「補助金額」（燃料電池普及促進協会）〈<http://www.fca-enefarm.org/subsidy28/outline/page05.html>〉（平 28. 8. 24 最終アクセス）。金額は全て消費税抜き。

³⁹ 平成 28 年度の自治体による助成金一覧は燃料電池普及促進協会ホームページにおいて確認できる。（「自治体助成金一覧」〈<http://www.fca-enefarm.org/subsidy28/municipality/index.html>〉（平 28. 8. 30 最終アクセス））

⁴⁰ 平成 27 年度から 31 年度までの 5 年間の事業である。

⁴¹ 次世代自動車には F C V の他に E V（電気自動車）、H V（ハイブリッド自動車）、P H V（プラグインハイブリッド自動車）等がある。

⁴² 『水素・燃料電池戦略ロードマップ』（水素・燃料電池戦略協議会）26 頁

⁴³ 「（別表 1）銘柄ごとの補助金交付額」（一般社団法人次世代自動車振興センター）〈http://www.cev-pc.or.jp/hojo/pdf/h28/H28_youryou_1.pdf〉（平 28. 8. 30 最終アクセス）

る。その他、他省所管（図表 7）や地方自治体の補助制度も存在する⁴⁴。

F C Vの普及には、水素ステーション等のインフラ整備を一体的に行う必要があるため、自治体の理解と取組が不可欠であるとされる⁴⁵。水素ステーションは 2015 年度時点で全国 80 か所に整備されており、ロードマップでは、2020 年頃には、F C V 4 万台程度、水素ステーション 160 か所程度、2025 年頃には、F C V 20 万台程度、水素ステーション 320 か所程度（2020 年代後半には自立化）⁴⁶、2030 年頃には F C V 80 万台程度を目標としている。

図表 7 各府省の補助制度（平成 28 年度）

燃料電池自動車関連補助制度

所管省庁	事業名	平成28年度予算額
経済産業省	クリーンエネルギー自動車導入促進対策事業費補助金	137億円(エネ特)
クリーンエネルギー自動車は、今後の成長が期待される分野であり、各国メーカーが参入を予定するなど国際競争が激化する中で、現段階では導入初期段階にあり、コストが高い等の課題を抱えているため、車両に対する負担軽減による初期需要の創出・量産効果による価格低減を促す。		
国土交通省	地域交通のグリーン化を通じた電気自動車の加速度的普及促進事業	4億1,700万円(一般)
電気自動車を活用し地域の実情を踏まえた多様な交通サービスの展開、燃料電池自動車を始めとする電気自動車の集中的導入等、他の地域や事業者による導入を誘発・促進するような地域・事業者間連携等による先駆的な取組を行う自動車運送事業者等に対し、電気自動車(バス、タクシー、トラック及び超小型モビリティ)や燃料電池自動車の導入を重点的に支援する。		
環境省	先進環境対応トラック・バス導入加速事業	10億円(エネ特)
トラック・バスの各クラスにおいて最も燃費性能の良い先進環境対応車(燃料電池自動車、電気自動車、大型天然ガス自動車、プラグインハイブリッド自動車、ハイブリッド自動車)の普及初期の導入加速を支援し、先進環境対応トラック・バスの普及を促進する。		

水素ステーション関連補助制度

所管省庁	事業名	平成28年度予算額
経済産業省	水素供給設備整備事業費補助金	62億円(エネ特)
燃料電池自動車に水素を供給する設備の整備を進めることにより、燃料電池自動車の普及による早期の自立的な市場を確立し、内外の経済的社会的環境に応じた安定的かつ適切なエネルギー需給構造の構築に資するとともに、関連産業の振興や雇用創出を図る。		
環境省	地域再エネ水素ステーション導入事業	65億円の内数(エネ特)
再エネ由来の水素ステーションを導入することで、低炭素な水素社会の実現と、燃料電池自動車の普及・促進を図る。		

（出所） 環境省「補助制度の概要（平成 28 年度）」<<https://www.env.go.jp/air/car/lev/sup.html>>（平 28. 9. 14 最終アクセス）、各種各目明細及び各種政府予算資料を基に筆者作成

また、水素ステーションの自立的な普及に向け、整備コストを低減させるためには、技術開発及び高圧ガス保安法等に基づく規制の見直しが必要となる。経済産業省は、平成 28 年度、『水素利用技術研究開発事業』⁴⁷に 41.5 億円の予算を計上し、自立化に向けて、規制の見直しや水素ステーション整備・運営コスト、水素価格及び F C V 価格の低減に資する研究開発等を支援している。さらに、平成 28 年度から新たに、F C V や水素ステーショ

⁴⁴ 東京都では、国の補助の 1/2<<https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/hydrogen/fcv.html>>、埼玉県は 100 台まで一律 100 万円補助<<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0503/fcv-hojyo.html>>等様々な自治体の補助が存在する（平 28. 9. 14 最終アクセス）。

⁴⁵ この趣旨から、2015 年 2 月に『燃料電池自動車等の普及促進に係る自治体連携会議』が経済産業省に設置され、議論が続けられている。

⁴⁶ 自立化以降は、水素需要の伸びに合わせ、適切に水素ステーションを整備していくこととしている。2030 年時点における必要な水素ステーションの数は、1 基 300Nm³/h の水素供給能力で換算するとおよそ 900 基とされる（実際には供給能力は 300Nm³/h に限られないことから、箇所数と基数は異なる）。

⁴⁷ 平成 25 年度から 29 年度までの 5 年間の事業であり、2020 年頃に水素ステーションの整備費が現在の半額以下となることを目指す。

ンの普及等のために必要な規制緩和や制度設計のために『新エネルギー等の保安規制高度化事業』に3.9億円が計上されている。FCVや水素ステーションの高圧ガスに係る技術基準の整備のための調査や、新たな保守・点検技術の実証事業の成果に基づいた合理的な保安規制の検討などを行い、平成30年度までに12項目の技術基準等の見直しを行う計画となっている。

(3) 水素発電

現在、石油やLNG、石炭等の化石燃料が火力発電の主な燃料であるが、その燃料に代わって水素を利用するものを水素発電という。水素発電では、ボイラー又はガスタービンで水素を燃焼させることによって発電を行う（前者は汽力発電⁴⁸、後者はガスタービン発電⁴⁹と呼ばれる）⁵⁰。化石燃料ではなく、水素を燃料として用いれば、燃焼時にCO₂を排出せず、クリーンな発電となる。

ロードマップにおいては、2030年頃の発電事業用水素発電の本格導入が目標とされている。『水素発電に関する検討会報告書』（2015.3.19）によると、技術面、運用面の課題として、高効率な燃焼方式を採用したガスタービンの開発や、これらの長期使用に対する信頼性、負荷変動や燃料組成変動への対応等の検証が必要とされている。検討会の委員長である橘川武郎（現・東京理科大学大学院イノベーション研究科教授）は、「政府が家庭用燃料電池530万台の普及を見込む2030年においても水素のウエートは、電源構成で約2%、1次エネルギー供給構成で1%にとどまる。電源構成やエネルギー構成の中で、水素が確固たる位置を占めるには、水素発電の普及が必要不可欠である」旨述べている⁵¹。

水素発電の導入には、安価で安定的な水素供給チェーンを確立することが必須の条件とされ、前述した未利用エネルギーからの水素製造や水素供給チェーンの確立が重要とされる。一方、大規模な水素サプライチェーンが構築されれば、水素コストは下がり、FCV等の他の水素利用分野の開発にも効果が期待される。

4. 各府省の水素社会への取組

水素社会実現に向けては、ロードマップに取り上げられている施策のほかにも、各府省が様々な角度から予算を計上している。ここでは、『科学技術イノベーション総合戦略』に基づき取り組まれている水素関連施策や、特徴的な取組である下水バイオガスから製造した水素をFCVに充填する事業について取り上げる。

(1) 『科学技術イノベーション総合戦略』に基づく施策

⁴⁸ 燃料を燃焼させた熱で水を沸騰させ、蒸気を発生させる。その蒸気でタービンを回し、タービンとつながった発電機で電気を作る仕組み。

⁴⁹ 蒸気ではなく、高温のガスを直接利用しタービンを回し、タービンとつながった発電機で電気を作る仕組み。

⁵⁰ 燃料電池による発電も水素発電の一種と言えるが、ロードマップにおいて、「燃料電池は、発電効率には優れるものの、規模拡大に伴うコストの低減が現時点では容易ではない」とされていることを踏まえ、『水素発電に関する検討会報告書』においては、ボイラー又はガスタービンで水素を燃焼させる発電に焦点が当てられている。

⁵¹ 『電気新聞』（平28.8.17）

総合科学技術・イノベーション会議⁵²は、毎年度『科学技術イノベーション総合戦略』を策定し、省庁横断的に重点的に取り組む課題を定めている。これに基づき、政府全体の科学技術関係予算の編成において、総合科学技術・イノベーション会議が関係府省の政策を主導し資源を配分するために「重点化対象施策」（科学技術重要施策アクションプラン対象施策）⁵³を課題ごとに特定している。

『科学技術イノベーション総合戦略 2015』⁵⁴では、水素等の二次エネルギーを化学物質へ転換して貯蔵・輸送するエネルギーキャリア利用技術が重点的に取り組むべき課題の一つとされ、この課題に関連する「平成 28 年度重点化対象施策」として①内閣府：S I P（エネルギーキャリア）、②文部科学省：エネルギーキャリア製造次世代基盤技術の開発、③経済産業省：革新的水素エネルギー貯蔵・輸送等技術開発、④国土交通省：水素社会実現に向けた安全対策、⑤環境省：低炭素な水素社会の実現の 5 つが特定されている。以下、それぞれの重点化対象施策について説明する。

ア 内閣府

内閣府が執行する「戦略的イノベーション創造プログラム(S I P:Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)」⁵⁵の平成 28 年度の対象課題の一つに、「エネルギーキャリア」があり、村木茂東京ガス株式会社常勤顧問を中心とし、平成 26 年度から 30 年度まで実施される予定で、平成 28 年度は、34.9 億円の予算が配分されている。本課題では、水素の製造、輸送・貯蔵にはコストがかかることに着目し、内閣府は各省庁が連携して行うべきところについて内閣府事業として取り組むこととされている。本課題の主な研究開発項目は、アンモニア(NH₃)等のエネルギーキャリアの開発及び実現可能性の見極め、水素及びアンモニア利用技術の低コスト、高効率化等の研究開発、水素輸送・利用に係る安全基準等の策定・規制緩和の働きかけに資する研究開発である。

配分された予算のうちアンモニアの製造・利用技術が 20 億円を占めている。-253℃で液化し輸送する必要がある水素は、大規模な設備や耐久性の高い専用タンクが必要である一方、アンモニアは常温でも液化し、貯蔵や輸送に既存のインフラが使える⁵⁶。このアンモニアを直接燃料電池に利用することや、アンモニアから水素を取り出して水素ステーションで利用することなどの実証試験を行う。

イ 文部科学省

文部科学省所管の国立研究開発法人理化学研究所は、『エネルギーキャリア製造次世代基盤技術の開発』を行っており⁵⁷、具体的には 2 つの研究テーマがある。

⁵² 内閣総理大臣、科学技術政策担当大臣のリーダーシップの下、各省より一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術・イノベーション政策の企画立案及び総合調整を行うことを目的とした「重要政策会議」の一つ。

⁵³ 例年、前年度の 9 月頃に「重点化対象施策」を特定する。

⁵⁴ 平成 27 年 6 月 19 日閣議決定。科学技術イノベーション総合戦略は、第 2 次安倍政権発足以来、成長戦略の一環として、毎年度策定されている。

⁵⁵ 総合科学技術・イノベーション会議が、社会的に不可欠で、日本経済や産業競争力にとって重要な課題、プログラムディレクター(PD)及び年度予算をトップダウンで選定し、基礎研究から出口(実用化・事業化)までを見据えた取組を推進する。平成 26 年に、S I P の執行を可能とするために所掌事務を追加した、改正内閣府設置法が施行された。

⁵⁶ 『日本経済新聞』(平 28.8.7)

⁵⁷ 平成 28 年度文部科学省予算 516 億円の内数が充てられている。

まず1つ目が、「中性の水を用いた水分解による水素創出」である。水素の創出は水の電気分解により行う場合、希少金属の使用や環境負荷が課題となる。そこで、雨水、海水、河川水等の中性の水を原料とし、希少金属を用いない触媒を使った水分解により、水素を創出する取組を実施している。

2つ目は、「省エネルギーな革新的アンモニア合成法の開発」である。現在確立されている水素をアンモニアに変換する方法（ハーバー・ボッシュ法）では、高温・高圧条件が必要で、化石資源を大量に使用することが課題となっている。これを克服するために、窒素から温和な条件で特殊な試薬を用いずにアンモニアを合成する金属錯体触媒を開発し、より省エネルギーかつ低環境負荷でアンモニアを製造する手法を構築している。引き続き実用化に向け、より反応効率の高い触媒の開発を目指している。

ウ 経済産業省

『革新的水素エネルギー貯蔵・輸送等技術開発』に平成28年度は15.5億円の予算を計上している。平成26年度から34年度までの9年間の事業で、高効率・低コストの水素製造技術の開発（水電解装置の大型化・高性能化等）、将来の水素供給システムの大規模化に向けた液化タンクの大容量化や水素関連技術の円滑な社会導入の検討を行っている。

エ 国土交通省

『水素社会実現に向けた安全対策』として、平成28年度予算で3,500万円を計上している。東京オリンピック・パラリンピックにおける海上交通手段として、燃料電池船に対する関心が高まっており、民間事業者の設計・開発の指針となる「安全ガイドライン」を策定することで、その取組を促進する。事業期間は平成27年度から29年度で、平成27年度は様々な基礎実験を実施しており、平成28年度は新たな基礎実験と船舶用の燃料電池推進システム全体の安全性について実船試験を通じて検証する。

オ 環境省

『CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業』（平成28年度予算65億円）と『再エネ等を活用した水素社会推進事業』（平成28年度予算65億円）の事業の一部が平成28年度重要対象施策となっている。燃料電池フォークリフト、燃料電池ゴミ収集車、再エネ由来の水素ステーション等の水素活用技術の開発・実証や、水素サプライチェーン構築のための実証を行っている。平成27年度に採択された水素サプライチェーンの実証事業は5件あり、トヨタ自動車株式会社が代表となり、神奈川県で風力発電等により製造した水素を簡易な移動式水素充填設備により輸送し、地域の倉庫や工場内の燃料電池フォークリフトで利用する事業等が行われている。

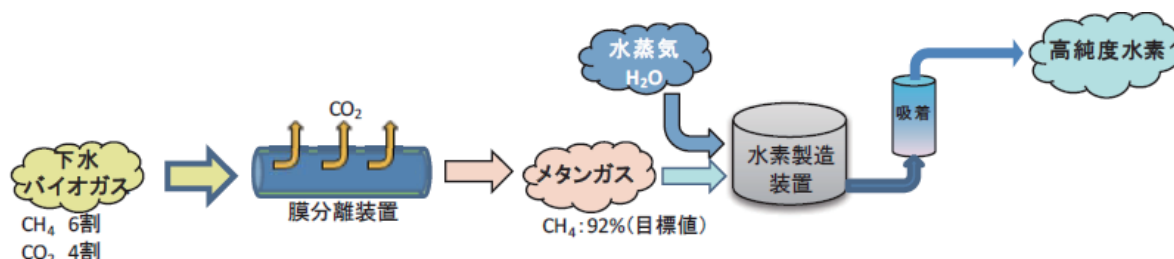
（2）下水バイオガス原料による水素創エネ技術の実証

国土交通省は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネス

の海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト⁵⁸）を実施している⁵⁹。平成 23 年度から毎年度実証対象テーマを絞って公募をしており、平成 26 年度には、「下水汚泥から水素を創出する創エネ技術」を実証対象テーマの一つとして公募を行った。この実証対象テーマに関して、「水素リーダー都市プロジェクト～下水バイオガス⁶⁰原料による水素創エネ技術の実証～」⁶¹が採択、実施され、本年 7 月に技術導入ガイドライン（案）⁶²が取りまとめられた。

同実証設備は、平成 27 年 4 月から福岡県の中部水処理センター（中央区荒津）において稼動を開始し、平成 28 年現在は、自主研究として引き続き実証を行っている。下水バイオガスから水素を取り出す手順は、まずメタン（ CH_4 ）6 割、 CO_2 4 割を含む下水バイオガスから、膜分離装置⁶³によって CO_2 を除去し、高濃度メタンガスを回収し、高濃度メタンガスから、水蒸気改質法により水素を製造する（図表 8）。下水バイオガスは 1 日に $20,000\text{Nm}^3$ 発生し、水素製造装置では、そのうちの $2,400\text{Nm}^3$ / 日を使用し、 $3,300\text{Nm}^3$ / 日の水素を生産できる。これは F C V 65 台を満タンにできる量である。

図表 8 下水バイオガスから水素を製造する仕組み



（出所）三菱化工機（株）・福岡市・九州大学・豊田通商（株）共同研究体「水素リーダー都市プロジェクト」パンフレット

製造された水素は、下水処理場に隣接するオンサイトステーション⁶⁴にて F C V に供給

⁵⁸ Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

⁵⁹ 事業の実施に当たっては、国土交通省（本省）にて有識者の審議を経て実証事業を採択し、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、民間企業が必要に応じて地方公共団体や大学等と連携しながら実証研究を実施している。

⁶⁰ 下水処理場には大量の汚泥（有機物）が集まる。汚泥のままに廃棄すると、重量・体積がかさむため、消化槽を使ってガスに分解する。消化槽内の酸生成菌やメタン生成菌が、有機物を単純な化合物であるメタンや CO_2 に変える。このような複数の化合物が混合したガスをバイオガスと呼ぶ。（「生活排水が自動車の燃料へ、細菌の作ったメタンから水素を抽出」（平 26. 4. 23 スマートジャパン）〈<http://www.itmedia.co.jp/smart-japan/articles/1404/23/news036.html>〉（平 28. 8. 30 最終アクセス））

⁶¹ 三菱化工機株式会社、福岡市、九州大学、豊田通商株式会社の共同研究体により実施。

⁶² 実証研究の成果を踏まえ、国土技術政策総合研究所において革新的技術の一般化を図り、普及展開に活用するため技術ごとに技術導入ガイドラインを策定する。

⁶³ 膜分離法は、膜を透過する速度の差を利用してガスを分離精製する方法。（新谷滋記『図解水素エネルギー最前線』（株式会社工業調査会、平成 15 年）176 頁）

⁶⁴ 水素ステーションに燃料を貯蔵しておき、ステーションで改質し水素を取り出しながら F C V に供給するシステム。

されており、平成 27 年 11 月から 1,100 円/kg で一般ユーザーに販売されている⁶⁵。製造工程で排出されたCO₂の一部は、無償で北九州の植物工場にある温室ハウスに提供している。いずれはオフサイトステーション⁶⁶へ水素を運搬して利用することも検討されている。

5. おわりに

水素社会を実現するためには、水素の需要側と供給側の課題を一体的に解決することが必須となる。現在のような、エネファームやFCVの導入初期段階においては、販売コストを下げ、水素ステーション等のインフラ整備をしていかなければ、新たな需要を喚起することができないが、一方で、需要が少ない中で、販売コストを下げるための技術開発やインフラ整備に自治体や民間企業がコストをかけることは難しい。さらに、水素社会実現のためには、長期継続的な取組が必要であり、将来の技術や需給の動向を見通すことが難しい面がある。そこで、政府はロードマップにおける目標の実現に向けて、水素社会の重要性について、国民の認知度を高めるとともに、水素技術導入にコストをかけようとする自治体や民間企業の不安感を取り除くことが求められる。

また、水素社会実現に向けた取組は、各省庁や自治体、企業等にまたがって行われており、全体像が見えにくい点があることから、政府は取組の進捗状況について、きめ細かな現状確認を行うこと、また、産学官連携を主導し、取組の優先順位や役割分担等を確認するポジションを担うことなど戦略的な取組を進めることが必要であると考えます。

2020年の東京オリンピックにおいて、水素の可能性を未来に発信することが現段階での国を挙げた大きな目標と言える。まずは、その節目までの水素社会実現に向けた取組を注視していきたい。

(たにあい まどか)

⁶⁵ 現在は毎週 1 日のみ営業を行っている。

⁶⁶ 他の場所で製造した水素をステーションまで運んできて水素タンクに貯蔵しておき、そこから直接FCVに充填するシステム。