

目 次

| | |
|---|-----------|
| はじめに | 1 |
| 第 1 章 水素とはなにか | 3 |
| 1-1 水素とは | 3 |
| 1-2 水素エネルギーを導入する意義 | 6 |
| 第 2 章 水素エネルギーに関連する日本の政策と取り組み | 11 |
| 2-1 水素エネルギーに関する日本の政策 | 11 |
| 2-2 我が国の水素エネルギーに関する取り組み | 17 |
| 第 3 章 水素エネルギーに関連する各国の取り組み | 55 |
| 3-1 主要国の取り組み | 55 |
| 3-2 国際協調の取り組み | 66 |
| 3-3 水素エネルギーに係る国際会議 | 71 |
| 第 4 章 水素エネルギーの市場の現状と展望 | 75 |
| 4-1 水素市場の展望 | 75 |
| 4-2 定置用燃料電池 | 76 |
| 4-3 燃料電池自動車 | 81 |
| 4-4 水素供給インフラ | 83 |
| 4-5 水素ステーション | 87 |
| 第 5 章 水素エネルギーの社会受容性 | 89 |
| 5-1 水素の性質 | 89 |
| 5-2 水素の安全利用のための規制 | 90 |
| 5-3 水素に関する安全対策の現状 | 93 |
| 5-4 水素の社会受容性 | 97 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第6章 水素エネルギー技術 | 101 |
| 6-1 水素エネルギー技術の全体像 | 101 |
| 6-2 水素製造技術 | 102 |
| 6-3 水素輸送・貯蔵技術 | 118 |
| 6-4 水素供給技術 | 138 |
| 6-5 水素利用技術 | 142 |
| | |
| 第7章 水素社会実現を目指して | 171 |
| 7-1 水素社会実現に向けた課題 | 171 |
| 7-2 課題克服に向けた取り組み | 174 |
| 7-3 まとめ | 178 |
| | |
| 用語集 | 181 |
| | |
| 参考資料 | 191 |

■本書に記載されている会社名、ブランド名、製品名等は、各社の商標あるいは登録商標です。なお、®、©、TM は割愛しています。

■本書の情報の使用から生じたいかなる損害についても、小社および本書の編者は責任を負わないものとしします。

水素社会実現を目指して

水素エネルギーの最大限の利活用を図る水素社会の実現は、気候変動などの地球環境への対応、エネルギー・セキュリティの確保、新たな市場の創出・産業競争力の強化に繋がるものであり、その意義は大きい。その中で、2000年代初頭には未来の技術であった燃料電池は、既に家庭用燃料電池システムとして製品化され、また2014年12月には燃料電池自動車の販売が開始され、我々の身近なものとなりつつある。

しかしながら、水素エネルギーを社会に定着させていくためには技術、コスト、制度、インフラなどで取り組むべき課題が多く存在している。本章では、現状の課題と今後の取り組みの方向性について述べる。

7-1 水素社会実現に向けた課題

水素社会実現に向けては、燃料電池の耐久性や信頼性などの技術面の課題、コスト面の課題、水素を日常生活や産業活動でエネルギー源として使用することを前提とした制度整備などの制度面の課題、水素ステーション整備といった水素供給体制などのインフラ面の課題といった、多くの課題が存在しており、これらの課題の一体的な解決に向けた取り組みが必要である。「水素・燃料電池戦略ロードマップ」ではフェーズ毎に次のとおり示している。

7-1-1 フェーズ1（水素利用の飛躍的拡大）〈2014～〉

(1) 定置用燃料電池

●課題1：家庭用燃料電池の経済性の向上

現在、設置工事費を含んだユーザー負担額は、概ね150万円程度と販売開始時期から半

減しているが、ユーザーの投資回収期間を短縮する観点から、イニシャルコストの一層の低減が必要である。その際、固体高分子形燃料電池や固体酸化物形燃料電池それぞれについてコスト低減効果が大きい分野に集中して取り組みを進めることが重要である。

●課題 2：家庭用燃料電池の対象ユーザーの拡大

現在、家庭用燃料電池の主なユーザーは、大都市を中心とする都市ガス使用地域における新築の戸建て住宅のユーザーであるが、戸建て住宅と集合住宅の比率は、住居形態として集合住宅が4割を占めていることも踏まえ、集合住宅への展開が重要となる。

●課題 3：家庭用燃料電池の海外展開

電力価格に比べてガス価格が比較的安く、熱需要が多い欧州などの地域においては家庭用燃料電池の潜在的なニーズは高いと考えられ、日本が技術的に大きく先行しているこの時期に、海外展開をさらに積極的に進めることは重要である。

●課題 4：業務・産業用燃料電池の経済性や耐久性などの向上

業務・産業用として期待される固体酸化物形燃料電池はイニシャルコストの問題が大きくユーザーへの訴求力が不十分であることから、一層の経済性の向上が必要である。加えて、耐久性のさらなる向上や、既存のコージェネレーションと同様に活用することができる環境の整備を行うことなども必要である。

(2) 燃料電池自動車（その他輸送用車両を含む）

●課題 1：燃料電池システムなどのさらなるコスト低減

燃料電池自動車の燃料電池システムは依然としてユーザーの許容額を超過すると考えられるため、燃料電池システムなどのさらなるコスト低減が必要となる。この際、燃料電池システムについて、初期段階では電解質膜のコストが、普及段階では触媒やセパレータのコストが、それぞれ大きな割合を占めると考えられ、これらの部材を中心に低コスト化を進めることが重要である（図7-1）。

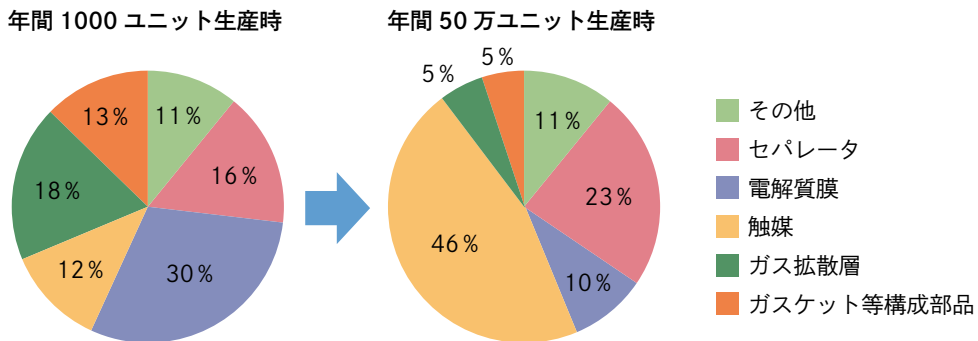


図 7-1 燃料電池システムのコスト構造

出典：資源エネルギー庁 燃料電池推進室「燃料電池自動車について」
 第3回水素・燃料電池戦略協議会（2014年3月4日）【参考資料 [3]】より NEDO 作成

●課題 2：燃料電池自動車の基本性能などの向上

安定的に特に大きな水素需要の期待されるバスやタクシーなどの業務車両へ適用分野を拡大するため、特に長い走行距離を保証する耐久性と経済性を実現する必要がある。また、普及本格期においては、比較的小型の普通乗用車などのマーケットニーズに合った車種へ適用分野を拡大することも重要である。

●課題 3：燃料電池自動車の海外展開

我が国が競争力を有する燃料電池自動車分野において将来の輸出拡大に繋げるため、安全性能などの基準や相互承認といった国際市場の創出に向けた議論に引き続き参加、主導していくことが重要である。

●課題 4：燃料電池自動車の認知度や理解度の向上

工業用途など限られた用途でしか用いられてこなかった水素が新たに日常の生活でも用いられることを踏まえ、市場投入直後に円滑に普及を拡大するためには、社会一般にとっての水素や燃料電池自動車に対する認知度や理解度を向上させることが必要である。

●課題 5：燃料電池の適用分野の拡大

燃料電池自動車に活用される燃料電池の用途はフォークリフトなどの産業用車両、船舶、燃料電池スクーター、燃料電池鉄道車両など、多様な輸送用途に広がる可能性があることから、実機による実証や燃料電池の耐久性向上に取り組む必要がある。

●課題 6：従来のガソリン車などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定

現状では燃料電池自動車向け水素のコストの約6割を水素ステーションの整備・運営費が占めており、それぞれ半額程度まで低減することが必要である。水素ステーションの稼働率によって水素コストは大きく変動することから、市場初期の稼働率が低い期間の水素ステーションの下支えを行うとともに、稼働率を早期に高めていくことが重要である。

●課題 7：水素ステーションの戦略的な整備

2013年度から商用水素ステーションの先行整備を進めているが、四大都市圏の間で整備箇所数に格差があり、また東京23区内などの燃料電池自動車の高い需要が見込まれる地域や、四大都市圏を結ぶ高速道路沿いにおいて、水素ステーションが求められているなかで、戦略的な整備が重要である。

■ 7-1-2 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〉

●課題 1：発電事業用水素発電の導入に関する具体的な検討

水素発電の導入に検討を行うにあたり、水素の供給サイドと発電事業者などの需要サイドが一体的に取り組んでいくことが必要である。

●課題 2：水素発電ガスタービンに関する制度的・技術的な環境整備

自家発電用水素発電の本格的な普及に向け、NOxの排出量を抑制しつつ、水素混合割合や発電効率をさらに向上させることなどが必要である。発電事業用水素発電については、

一定程度の水素混焼が可能であるが、実運転による検証や水素発電に関する技術基準などが必要である。

●課題3：海外からの水素供給に関する制度的・技術的な環境整備

技術的には実用段階にある有機ハイドライドについては、トルエンを循環的に使用するなどの制度的な対応を行うことが必要である。液化水素については、液化水素のローディングや運搬船などに関する技術的、制度的な課題への対応が必要である。いずれの方法についても、供給規模の拡大によって、設備機器の大型化や大量輸送などによるコストダウンが見込まれるが、市場が自立的に拡大していくまで多くの投資と時間を要することが予想されることから、この間の下支えが必要である。

■7-1-3 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〉

●課題1：水素供給国におけるCCS

海外の副生水素、原油随伴ガス、褐炭などの未利用エネルギーから製造された水素を国内に輸送する場合、地球規模での二酸化炭素排出量削減を目指すためには、水素供給国において排出される二酸化炭素を回収・貯留するCCSを行うことが必要である。

●課題2：再生可能エネルギー由来の水素製造などに関する技術開発・実証

水電解による水素製造について、大規模で安定かつ安価な水素製造技術、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーの出力変動への対応といった技術開発が必要である。また、再生可能エネルギー由来水素を有効活用するため、欧米各国でも取り組みが進められているPower to Gasに関する技術開発・実証が必要である。

●課題3：その他の中長期的な技術開発

CCSや再生可能エネルギー由来電気の活用に加え、現時点では基礎的な段階にあり、実現までは一定程度の時間を要すると考えられる技術についても、中長期的な視点から必要な取り組みを行っていくべきである。

7-2 課題克服に向けた取り組み

■7-2-1 技術課題の克服

(1) 技術課題の特定

水素社会を実現するための克服すべき技術課題は、基礎から実用化段階、水素エネルギーの製造、輸送・貯蔵、利用と幅広く多岐に渡っているが、これら課題を明らかにするとともに、達成すべき時期といった時間軸や産学官の役割分担を明確にして取り組む必要が

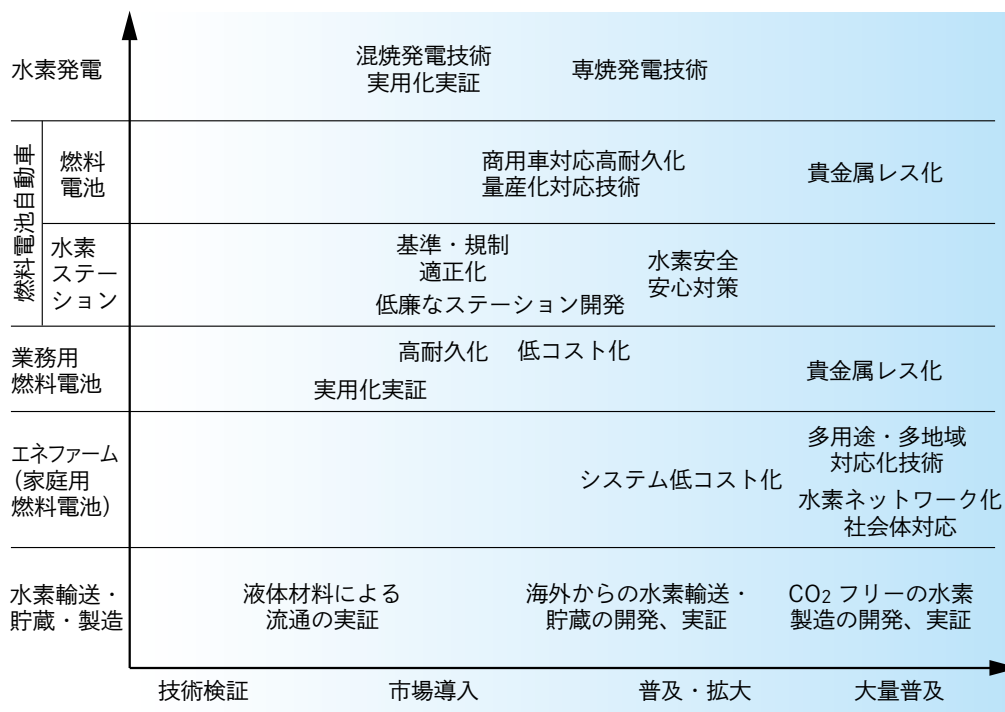


図 7-2 水素社会実現に向けた技術課題

ある。

技術領域と市場の状況によって求められる技術課題に着目して整理したものを図 7-2 に示す。NEDO では今後「燃料電池・水素技術ロードマップ」の改定に取り組み、より詳細な課題の特定を行う。

(2) 技術開発の方向性

① 燃料電池の技術開発

水素エネルギー利用の拡大に向けて、定置用燃料電池や燃料電池自動車の活用を大きく広げていくため、低コスト化、高耐久化といった課題の克服に向けた研究開発を引き続き推進していくことが重要である。家庭用燃料電池や燃料電池自動車に用いられる固体高分子形燃料電池 (PEFC) についてコスト低減と技術課題の相関をまとめたものを図 7-3 に示す。

固体高分子形燃料電池 (PEFC) の低コスト化・高耐久化・性能向上などに向け、触媒として使用されている白金の使用量低減やこれを代替する貴金属レス触媒、低コストかつ高耐久な電解質材料、燃料電池内での物質移動特性向上 (ガス・水分・プロトン・電子) のための技術開発や、これらの技術開発を支える、物質移動機構、電極反応機構、電極・

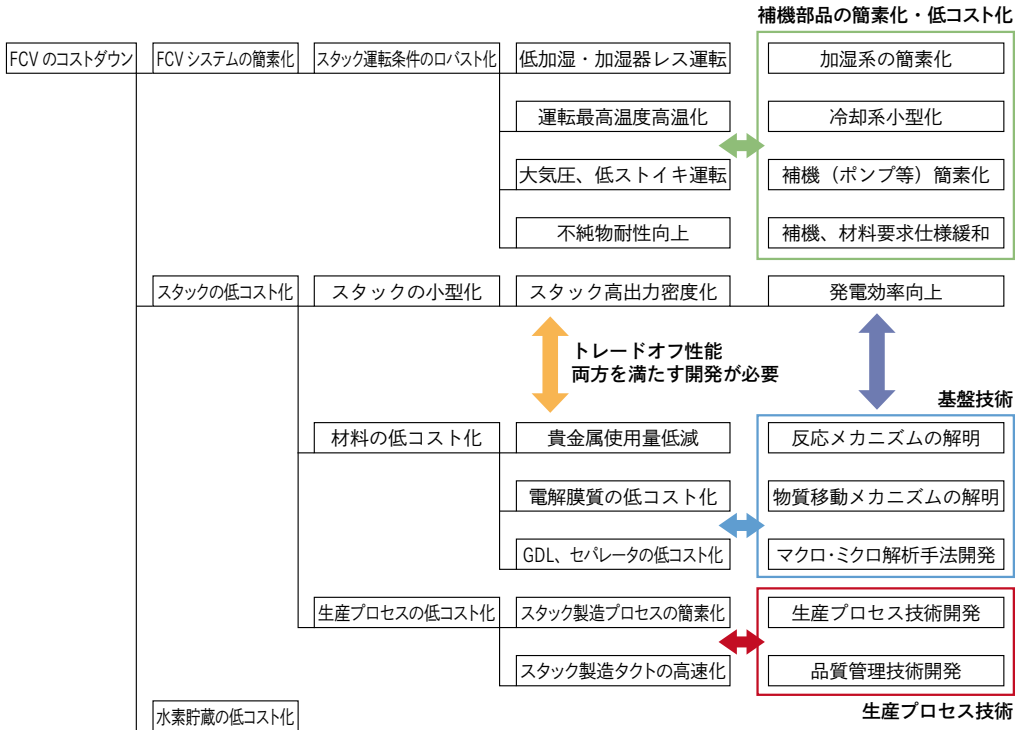


図 7-3 コスト低減と主な技術課題の相関

電解質膜劣化機構の解明を可能とする計測・解析技術の基盤的な技術開発が必要である。

一方、業務または産業用として期待される固体酸化物形燃料電池（SOFC）については、セルスタック・モジュールの高性能化（高出力密度化、部分負荷効率向上など）、耐久性・信頼性の向上、新規電解質材料の開発に取り組むと同時に、この技術開発を支える燃料電池の劣化機構の解析、耐久性迅速評価手法など基盤的な技術開発に取り組む必要がある。また、早期実用化に向けて、実環境化での電気・ガス制御の最適化手法の確立、信頼性の確保が必要である。

② 水素発電の導入と水素供給システムの確立

水素発電については、水素混焼発電では数十 MW 規模での実運転による検証、水素専焼発電では蒸気や水を噴射することなしに NO_x の排出量を抑制できるドライ型水素専焼発電ガスタービン用燃焼器の開発、水素ガスの特性を踏まえた安定的な燃焼方法、NO_x などの排出量の制御方法などに関する技術開発・実証が必要である。

サプライチェーンの構築について、初期市場創出の観点から一定量の水素需要が見込める地域（例：市街地、空港、湾港、工場など）や地域資源（例：下水汚泥消化ガスなど）の周辺において、自治体、地元企業、公共交通事業者と連携し水素利用技術を集中的に導入する技術実証が有効である。

また、海外からの水素供給に関して、褐炭や副生物などの未利用資源を用いた、安価で安定的な水素の製造技術や貯蔵・輸送技術の確立に向けた技術開発・実証が必要である。

③ トータルでのCO₂フリー水素供給システムの確立

再生可能エネルギーを利用した水素製造技術については、電解電流密度の向上や電解セル大型化などによる設備コストの低減、変動する再生可能エネルギーへの追従などの技術開発が必要である。また、再生可能エネルギーの短長期的な出力変動、供給地の偏在といった時間的、地理的な偏在性を吸収する手段として、再生可能エネルギーからの水素製造から輸送・貯蔵、利用まで含めた技術開発・実証を計画的に行うことが必要である。

CCSについては石油随伴ガスや褐炭などの未利用エネルギーを用いた水素供給システムに関する技術開発・実証と一体となって、二酸化炭素分離・回収プロセスの効率向上、コスト低減などのCCSに関する技術開発・実証を行うことが必要である。

■ 7-2-2 制度面の課題の克服

水素・燃料電池技術の社会への導入にあたり、例えば家庭用燃料電池では、常時監視の不要化、設置保有距離の省略といった規制の見直しに取り組み、これを実現してきた。

現在、燃料電池自動車や水素ステーションに関する規制の見直しについて、「規制改革実施計画」（2013年6月14日閣議決定）に基づき進められている。この規制の見直しが計画どおり進められるため、特に安全性に関するデータの取得、試験方法の確立などの取り組みが必要である。また、新たな技術の導入による一層のコスト低減は引き続き重要な課題であり、この活用のための技術の開発・実証と安全基準の早期確立などに向けた取り組みを並行的に進めることが必要である。

さらに、水素発電や海外の未利用資源を利用した水素の輸入など、これまで想定していなかった新たな利用形態の導入にあたり、規制や基準・標準など制度面の課題について、実証段階から特定しつつ取り組むことが必要である。

■ 7-2-3 水素供給体制などのインフラ面の課題の克服

水素ステーションの整備について、その設置コストの大幅な削減に向け、主要な構成機器である水素製造装置、圧縮機、蓄圧器などの構成機器の低コスト化のための技術開発や、これら構成機器を一体化したパッケージ型水素ステーションの積極的な活用のための取り組みを進める。一方、短期的には燃料電池自動車の普及台数が限定的であると見込まれるなか、水素ステーションの設置に係るコストや利便性の確保などを踏まえ、最適な規模の水素ステーションの仕様を確立するとともに、新たに確立される仕様に必要な技術を開発する。

また、市場初期においては、燃料電池自動車の販売状況に応じて、一つの設備で複数地域での営業が可能となる移動式水素ステーションの活用を進める。

さらに、水素ステーションを実際に設置し、運用していくため必要となる、水素品質や計量の校正、簡易なメンテナンス技術といった基盤的な技術についての開発・整備を行う。

水素ステーションのような新たなインフラの導入にあっては、社会的な受容性の確保が重要であり、このための取り組みを進める。具体的には、水素ステーションで発生したトラブルと対処策などの情報をデータベース化し、水素ステーション運営事業者が運用やメンテナンスのために活用できるツールを早期に作成、供与する。また、このデータベースも活用しつつ、都道府県、地域住民、警察・消防、自動車販売店、エネルギー供給施設などの職員に対して、燃料電池自動車や水素ステーションに関する情報提供や人材育成を行う。

7-3 まとめ

国家プロジェクトを中心とした技術の進展や導入・普及施策を通じて、水素エネルギーの社会への実装が始まりつつある現在、水素社会の実現に向けた入り口に到達したといえるが、今後はこれを本格的な水素社会の実現に結実させていくための絶え間ない取り組みが必要である。

その際、産学官の関係者間で目標と時間軸を共有した上で役割分担を明確化し、優先順位を付して資源を重点配分しながら、協力して取り組んでいくことが不可欠である。

水素は、エネルギー・セキュリティを高め、環境問題に貢献し、かつ日本の産業競争力を高める極めて重要な技術領域である。NEDOは水素社会の実現に向けて、これまで家庭用燃料電池システムで市場を造り、燃料電池自動車と水素ステーションでインフラを整えることにより、水素社会の立ち上げに貢献してきた。今後はさらに、水素発電といった新たな用途の開拓やサプライチェーンの構築を一体的に進めることにより、水素をエネルギー・ミックスの一翼を担う存在に押し上げ、究極的には、カーボン・フリーの水素社会の実現を目指す。このため、NEDOは本章で示した技術課題について産学官の叢智を結集してその解決を図るとともに、規制や基準・標準といった、新技術の導入に不可欠な社会基盤の整備についても関係機関との密接な連携のもと、その整備が円滑に進むような取り組みを進める。

一方で水素エネルギー分野は、短期的には経済性が成立しづらい領域であるなかで、民間企業を刺激し、積極的な参画やチャレンジを称揚するため、水素社会に対する社会の理解や期待の高まりが必要である。

このような背景のもと「NEDO水素エネルギー白書」は、水素の特徴からエネルギーとしての意義、国内外の政策動向、課題と取り組みの方向性について取りまとめたものであり、水素に対する社会の理解を深めることを目的としたものである。

現在、我々は天然ガス、液化石油ガス、ガソリンといった可燃性のエネルギーを、安全

を確保するための技術や規制などの制度によって、特段の安全に対する意識を持たず安心して利活用している。NEDO が目指す水素社会は、「水素」をこのレベルまで到達させ、ユーザーが特別な意識を持つ必要が無く、利便性の享受や環境問題・エネルギー・セキュリティへの貢献を果たす社会である。