# １　水素の需要・供給・輸送に関する基礎調査

国や企業等の公表されている資料を基に、水素アプリケーションや水素供給拠点、水素輸送（貯蔵）方法に関する概要、課題、2030年頃の普及の考え方等を整理した。

また、それらを基に、関西圏における「水素需要エリアの属性」「水素の供給が見込まれる拠点」「水素の輸送（貯蔵）方法」の想定を行った。

# １-１　水素需要エリア属性について

# （１）各種アプリケーションの概要

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ の種類 | （１）水素発電 | （２）ＦＣモビリティ |
| ① ＦＣＶ |
| 概要・特徴 | * ガスタービンまたはボイラーで水素を燃焼させることによって行う発電。\*3 * 発電方式として、天然ガス等の燃料ガスと水素を混合して発電する混焼発電と水素のみで発電する専焼発電が挙げられる。\*3 | * 燃料電池自動車（FCV）は、燃料として水素を積み、車載の燃料電池によって発電し、その電気を動力としてモーターを回して走る電気自動車。\*2 |
| 利　点 | * 水素発電の導入により恒常的かつ大規模な水素需要が生じるため、水素価格の低下や燃料電池自動車など他の水素利活用分野においても波及効果が期待される。\*1 * 専焼発電は、発電段階でCO2を排出せず、水素の製造法によっては、CO2フリーの電源となる。\*3 | * 電気自動車と同様にエネルギー消費量や環境負荷の低減に大きく貢献することが期待できる。\*1 * 航続距離約650～700㎞、燃料水素の充填時間は約3分で、ガソリン車並みの走行性を実現。\*2 * FCVは移動手段のみならず、分散電源として利用することも可能。\*2 |
| 課　題 | * 水素は天然ガスなどの既存燃料に比ベ、発熱量が低い、燃焼速度が速い、火炎温度が高いなどの燃焼特性を持つため、燃焼部材への影響含め、耐熱性、NOx低減技術など水素ガスの燃焼に向けてガスタービンの各種構造の最適化が必要。\*1 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減\*1 * 燃料電池の適用分野の拡大\*1 * 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\*1 * 水素ステーションの戦略的な整備\*1 |
| 国の将来の想定･目標 (2030年頃) | * 導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電が中心に、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 * 2030年頃の商用化を目指す（発電コスト17円/kWh、水素調達量 年間30万t、発電容量１GW程度） * アンモニアはキャリアの直接燃焼が可能なため、2020年頃までに石炭発電所でのアンモニア混焼開始、2030年頃までにガスタービン等への利用拡大を目指す | * 水素ステーションの整備と併せて、四大都市圏を中心に普及 * 2030年目標：全国で80万台程度 |
| 技術段階 | * 実証段階 | * 商用段階（国の導入補助） |
| 2030年頃 の関西圏 における 普及想定 | * 既設のガスタービン発電所を活用した海外輸入水素による商用水素発電の開始が期待される * 自家発電設備への導入も期待される | * 水素ステーションの整備と併わせて普及 |
| 2030年頃 の関西圏 における 水素需要 | * 圏内の既設商用ガスタービン発電所において、水素を混焼させた場合〔堺・泉北エリアと姫路アリアの発電容量 7,524.4千kW〕   34千t/年（ 5％混焼） 152千t/年（20％混焼） 249千t/年（30％混焼） | * 2030年での普及見込み（国の目標値の按分等） 113.7千台 * 水素取扱量　9.8千t/年 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ の種類 | （２）ＦＣモビリティ |  |
| ② 水素ステーション | ③ ＦＣバス |
| 概要・特徴 | * ＦＣＶ等の水素を燃料とする利用モビリティへ水素供給するスタンド。 * 水素を水素ステーション外で製造して、水素トレーラーなどで水素ステーションまで輸送してくるオフサイト型と、都市ガスやＬＰＧなどを原料として水素ステーションに設置した水素製造装置で製造して供給するオンサイト型に分けられる。\*1 | * 基本的に燃料電池自動車と同じ仕組みであるが、より大きな出力が必要となる。\*1 |
| 利　点 | * ＦＣＶ等公道を走行するモビリティの普及には、燃料となる水素を高圧にして自動車に充填する水素ステーションの整備が不可欠 | * 充電時間の短さや航続距離、路線の柔軟性において、FCバスはBEVバスやトラムに比べて優位性がある\*4 * 大容量外部電源供給システムを備えており、災害などの停電時には体育館などの避難所や家電の電力として活用できる\*3 |
| 課　題 | * 現在の水素ステーションの整備費は、一般的なガソリンスタンドと比べると非常に高額。\*1 * 適切なロケーションに配置することが必要\*1 | * 燃料電池システムのコスト低減とともに、燃料電池自動車のシステムとの共有化によるコスト低減が必要。\*1 * 生涯走行距離が通常の燃料電池自動車より長距離となることから、燃料電池システムの耐久性と信頼性の向上が必須。\*3 * FCバスが充填可能な水素ステーションの配備 |
| 国の将来の想定･目標 (2030年頃) | * 2020年代後半までに水素ステーションの自立化を目指す * 2030年目標：900基（水素供給能力 300N㎥/h･基） | * 2030年目標：全国で1,200台程度 |
| 技術段階 | * 商用段階（国の整備、運営補助） | * 商用段階（国の導入補助） |
| 2030年頃 の関西圏 における 普及想定 | * 交通量の多い幹線道路沿いの大型ＳＳに併設、またはＳＳを代替して整備が進む | * 一定のルートを走行する路線バス等から普及が進む   （ＦＣバスの環境性を活かし、観光地や環境資保全を図るべき地域の巡回バスなど） |
| 2030年頃 の関西圏 における 水素需要 | * 2030年での普及見込み（国の目標値の按分等） 118箇所 | * 2030年での普及見込み（国の目標値の按分等） 207台 * 水素取扱量　0.8千t/年 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ の種類 | （２）ＦＣモビリティ |  |  |
| ④ ＦＣＦＬ | ⑤ ＦＣトラック | ⑥ ＦＣ船 |
| 概要・特徴 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として荷役・走行するフォークリフト。\*3 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として走行するトラック。 * 2019年春に、首都圏のコンビニエンスストアの配送車両として、FC小型トラックを導入予定。\*5 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として推進する船。 * 平成29年度に，国において、内航，小型船舶に限定して、「水素燃料電池船の安全ガイドライン」を取りまとめ\*16 |
| 利　点 | * 汚染物質を放出しないため、閉鎖された作業空間の大気汚染を防ぐことも可能である。\*1 * 鉛蓄電池の交換に比べて、水素充填は時間が短く、作業時間を節減できる。\*1 * 燃料電池は水素残量が低下しても出力が一定。\*1 | * 航続距離100km以上の領域では電気トラックより優位\*4 | * 静音性が高い\*4 * 振動がない * 臭いが発生しない |
| 課　題 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 * 従来のディーゼル車などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定 * 水素供給インフラのコスト低減 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 * 従来のディーゼル車などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定 * 航続距離の延伸\*4 * 大型車両のFC化\*4 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 * 従来の船舶（ディーゼル、ガソリン、電動）と遜色のない燃料代となる水素価格の設定 * 水素供給インフラの整備 |
| 国の将来の想定･目標 (2030年頃) | * 大規模フォークリフトユーザーにおいて12万台以上のポテンシャルがあり、将来大きな水素需要となり得る * 2030年目標：１万台程度 | * 商用トラックの国内市場保有台数は320万台以上とバス以上の大きな水素需要を見込める | * 小型船舶のFC化を進め、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 |
| 技術段階 | * 商用段階（国の導入補助） | * 実証段階 | * 研究開発段階 |
| 2030年頃 の関西圏 における 普及想定 | * まとまった台数のフォークリフトが稼働している卸売市場、貨物取扱空港、港湾倉庫等を中心に導入が進む * ２空港（関西、徳島）で既にFCFLを導入 | * 一定ルートを走行する商用トラックから普及が進む | * FC船の環境性を活かし、自然資源、観光資源を有するエリアにおいて、遊覧船等への活用が期待される |
| 2030年頃 の関西圏 における 水素需要 | * ― | * ― | * ― |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ の種類 | （２）ＦＣモビリティ |  |  |
| ⑦ ＦＣパッカー車 | ⑧ ＦＣトーイング | ⑨ ＦＣバイク |
| 概要・特徴 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として走行するパッカー車。 * 2015～2017年度の３年間で実証実験を実施（周南市）\*6 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として牽引・走行するトーイング。 * 現在開発中（2016年の国際総合物流展で参考出品）\*9 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として走行するバイク。 * 2017年から公道走行の実証実験を開始\*10 |
| 利　点 | * ディーゼル車に比べ、走行音が抑えられる（夜間収集への導入も期待される）\*7 * エネルギー消費が小さい（ディーゼル車比　一般走行69％減、ごみ収集走行80％減）\*8 | * 鉛蓄電池の交換に比べて、水素充填は時間が短く、作業時間を節減できる。\*1 * 環境汚染物質を放出しないため、閉鎖された作業空間の大気汚染を防ぐことも可能である。\*1 | * 電動車に比べて、水素充填時間が短く、航続距離が長い |
| 課　題 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 * 従来のディーゼル車などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 * 従来のディーゼル車などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定 * 水素供給インフラのコスト低減 | * 航続距離の延長化 * 燃料電池システムなどのさらなる小型化、コスト低減 * FCバイクに充填可能な水素ステーションの配備 * 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 |
| 国の将来の想定･目標 | * 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通しを見極め、特に費用対効果が大きいものを優先して取組を進める | * 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通しを見極め、特に費用対効果が大きいものを優先して取組を進める | * ― |
| 技術段階 | * 研究開発段階 | * 研究開発段階 | * 研究開発段階 |
| 2030年頃 の関西圏 における 普及想定 | * 実用化されれば、各自治体のごみ収集車への導入が期待される | * 空港等の物流拠点を中心に導入が期待される | * 実用化されれば、配送等で使用されるバイクへの導入が期待される |
| 2030年頃 の関西圏 における 水素需要 | * ― | * ― | * ― |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ の種類 | （２）ＦＣモビリティ |  |
| ⑩ ＦＣ鉄道車両 | ⑪ ＦＣドローン |
| 概要・特徴 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として走行する鉄道車両。 * 鉄道総合技術研究所において、鉄道向け燃料電池の技術検証を行っている\*11 * 2018年9月、ドイツで世界初の燃料電池列車が運行開始\*12 | * 燃料電池で発電した電気を動力源として飛行するドローン。 * 4時間以上の飛行が可能なＦＣドローンも開発されている（ペイロードは最大5kg）\*13 |
| 利　点 | * 地上電力供給設備の負担軽減、メンテナンスコストの削減\*12 | * 電池式に比べ長距離輸送が可能 |
| 課　題 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 * 従来のディーゼル車両などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定 * 水素供給インフラのコスト低減 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減、小型化 * タンクの軽量化 |
| 国の将来 想定・目標 | * 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通しを見極め、特に費用対効果が大きいものを優先して取組を進める | * ― |
| 技術段階 | * 研究開発段階 | * 研究開発段階 |
| 2030年頃 の関西圏 における 普及想定 | * 実用化されれば、ディーゼル車両からの転換が期待される (現在の関西圏におけるディーゼル車両走行路線の割合 約10％) | * 長距離飛行が必要な事業用などでの導入が期待される |
| 2030年頃 の関西圏 における 水素需要 | * ― | * ― |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ の種類 | （３）純水素型燃料電池 |  |
| ① 家庭用 | ② 業務・産業用 |
| 概要・特徴 | * 化石燃料からの改質でなく、水素を直接使う燃料電池（家庭に電気を供給、場合によっては熱も供給） | * 化石燃料からの改質でなく、水素を直接使う燃料電池（業務・産業用に電気を供給、場合によっては熱も供給） * 700W、3.5kW、100kW（PEFC）が市場投入されている\*14 |
| 利　点 | * 改質器が不要なため「エネファーム」に比べてコンパクト化・低コスト化が可能であり、高効率で負荷応答性の高い分散型電源となるものと期待。\*2 * 水素をそのまま燃料とするため、CO2を全く発生させることなく、短時間で発電できる。\*3 | * 改質器が不要なためコンパクト化・低コスト化が図られる。\*3 * 水素をそのまま燃料とするため、CO2を全く発生させることなく、短時間で発電できる。\*3 |
| 課　題 | * 水素供給インフラの整備 * 従来の電力料金などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定 * 既存の市街地に分散して設置することは、水素供給面から工夫が必要 * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 | * 燃料電池システムなどのさらなるコスト低減 * 従来の電力料金などと遜色のない燃料代となる水素価格の設定 * 水素供給インフラの整備 |
| 国の将来 想定・目標 | * 水素供給網の構築状況等を見極めつつ、必要な技術開発を行う | * 水素供給網の構築状況等を見極めつつ、必要な技術開発を行う |
| 技術段階 | * 実証段階 | * 商用段階 |
| 2030年頃 の関西圏 における 普及想定 | * スマートコミュニティ等、まとまった住戸数の宅地開発や、集合住宅等への導入が期待される | * 工場等の自家発電設備、大規模プロジェクトやスマートコミュニティの新規開発エリア等への導入が期待される |
| 2030年頃 の関西圏 における 水素需要 | * ― | * ― |

|  |  |
| --- | --- |
| ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ の種類 | （４）産業プロセス・熱利用 |
|  |
| 概要・特徴 | * 産業分野の直接燃料利用に、化石燃料の代替として水素を利用する。 |
| 利　点 | * 産業分野においてCO2フリーの燃料として水素を活用することで、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\*4 * 化石燃料由来水素をCO2フリー水素に代替することでも低炭素化が可能\*4 |
| 課　題 | * 従来の燃料及び化石燃料由来水素などと遜色のないCO2フリー水素価格の設定 * 鉄鋼分野、石油分野とも、CO2フリー水素をプロセスに利用する可能性はあるが、構造を大きく変える必要がある\*15 |
| 国の将来 想定・目標 | * 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\*4 |
| 技術段階 | * 研究開発段階 |
| 2030年頃 の関西圏 における 普及想定 | * CO2フリー水素の価格や環境価値に関する制度等の条件が整えば、直接燃料利用からCO2フリー水素の導入が始まることが期待される |
| 2030年頃 の関西圏 における 水素需要 | * ― |

# ■出典一覧

|  |  |
| --- | --- |
| \*1 | 「NEDO 水素エネルギー白書」2015年2月　独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構[編] |
| \*2 | 「水素エネルギーハンドブック 第4版改」2016年6月　岩谷産業株式会社 |
| \*3 | 「苫小牧市における水素エネルギー社会構築に向けた可能性調査委託業務　結果報告」平成29年3月　株式会社 建設技術研究所 |
| \*4 | 「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 |
| \*5 | 株式会社セブン-イレブン・ジャパン、トヨタ自動車株式会社　2018年6月6日プレスリリース |
| \*6 | 周南市ホームページ |
| \*7 | 「ごみ収集に燃料電池車　全国初、周南市で実験中　「夜間」導入も検討」産経ニュース2016年12月8日 |
| \*8 | 「燃料電池ゴミ収集車の設計・試作および性能評価に関する研究」早稲田大学 環境・エネルギー研究科 紙屋研究室　小林雅迪 |
| \*9 | 「燃料電池トーイングトラクターコンセプトがRed Dotデザイン賞を受賞」株式会社 豊田自動織機　2017年10月20日ニュースリリース |
| \*10 | 「スズキ、型式認定燃料電池二輪車「バーグマン フューエルセル」が公道走行を開始」スズキ株式会社　2017年3月21日プレス・インフォメーション |
| \*11 | 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 ホームページ |
| \*12 | 「世界初、燃料電池で走る列車　時速140キロ、独で営業」朝日新聞デジタル2018年9月18日 |
| \*13 | 「MMC、水素燃料ドローン「HyDrone 1800」新バージョンを発表」ドローン専門メディア　2017年2月27日ニュース |
| \*14 | 東芝燃料電池システム株式会社 ホームページ |
| \*15 | 第11回CO2フリー水素WG 事務局提出資料 平成29年12月27日 資源エネルギー庁 |
| \*16 | 「多様なエネルギー源等を用いた新たな動力システムの開発に関する研究」(国研)海上・港湾・航空技術研究所、海上技術安全研究所、2018年7月18日 |

# （２）エリア属性の想定

|  |
| --- |
| ① 荷役施設近傍の工業地帯等 |
| 考え方   * 海外輸入水素を圏内の港湾で荷役 * 荷役施設近傍の工業エリアへ水素を供給 * エリア内はパイプラインで水素を供給 * 主にエリア内の商用発電所において水素を利用 * 発電所周辺の工場では、純水素型ＦＣに よる自家発電、水素モビリティ等の導入が期待   導入が想定されるアプリ   * 水素発電 * 純水素型ＦＣ（業務・産業用） * ＦＣフォークリフト * ＦＣトラック * ＦＣバス * 水素ステーション * 産業プロセス、熱利用   など  関西圏内で期待されるエリア   * 水素混焼の可能性が高いガスタービン 発電所が立地するエリア |

|  |
| --- |
| ② 工業団地・物流拠点 |
| 考え方   * 複数の工場が立地する工業団地や、多くの貨物を 取り扱う物流拠点で水素を利用 * 工場内での純水素型ＦＣによる自家発電、 水素モビリティ等の導入が期待   導入が想定されるアプリ   * 純水素型ＦＣ（業務・産業用） * ＦＣフォークリフト * ＦＣトラック * ＦＣバス * 水素ステーション * 産業プロセス、熱利用   など  関西圏内で期待されるエリア   * 工業団地 * 物流拠点：貨物取扱空港、中央卸売市場、 指定保税地域（港湾）、トラックステーション等 |

|  |
| --- |
| ③ 観光地・環境保全地域等 |
| 考え方   * 歴史的観光地や環境保全地域等、地域の 環境への配慮が特に必要とされる地域で 水素を利用 * 排ガスやＣＯ２を排出しないクリーンな モビリティで観光客を移送 * 環境配慮の取組としての水素利用を観光 客へＰＲ   導入が想定されるアプリ   * 純水素型ＦＣ（業務用） * ＦＣバス * ＦＣＶ（タクシー、レンタカー） * 水素ステーション * ＦＣ船 * ＦＣ鉄道   など  関西圏内で期待されるエリア   * 世界遺産、国立・国定公園 等 |

|  |
| --- |
| ④ 新規開発エリア |
| 考え方   * スマートコミュニティやイベント開催に 伴う新規開発地域を水素タウンとして整備 * ホテルや病院、ショッピングセンター等、 熱需要も多い施設が立地していると望ましい * 水素ステーションを起点とし、地域内の 水素アプリへ水素を供給   導入が想定されるアプリ   * 純水素型ＦＣ （家庭用、業務・産業用） * ＦＣバス * ＦＣＶ * ＦＣバイク * 水素ステーション * ＦＣドローン   など  関西圏内で期待されるエリア   * 新規開発地域 |

# １-２　水素の供給が見込まれる拠点について

# （１）対象供給拠点の概要

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 供給拠点の種類 | (１)海外輸入水素荷揚供給拠点施設 |  |
| ① 液化水素 | ② メチルシクロヘキサン(ＭＣＨ) |
| 概要･特徴 | * 水素ガスを-253℃に冷却することで液体状態にして輸送・貯蔵する方式\*1 * LNGと同様のインフラ構成であり、技術的に連続的である\*2 | * 水素をトルエン等と反応させることでメチルシクロヘキサン等の有機化合物として化学的に吸着させ、輸送・貯蔵する方式\*1 * 既存の石油流通インフラが活用可能である\*1 * ＭＣＨ脱水後のトルエンはＭＣＨ出荷基地まで輸送し、水素を付加してＭＣＨとしてリサイクルする |
| 利　点 | * 気体状態の水素の約800分の1の体積にすることが可能\*1 * 液化を通じて水素の純度が高められるため、精製プロセスを経ずに高純度での利用が可能\*1 * 気化時に発生する冷熱を外部へ提供することが可能 | * 気体状態の水素の約500分の1の体積にすることが可能\*1 * 常温常圧で液体であるため取り扱いが容易\*1 |
| 課　題 | * 極低温に冷却する際にエネルギーを必要とする\*1 * ボイルオフによるロス\*1 * 液化効率の向上(液化エネルギーの低減) * 冷熱の有効活用が重要 * 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 | * 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 * 脱水素は吸熱反応であり、300～400℃程度の熱を外部から加える必要がある\*1 * トルエン等除去のため精製が必要 |
| 国の将来 想定･目標 | * 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\*2 * 2030年頃の商用化を目指し、液化水素の大量輸送に向けた技術開発等を行う\*1 | * 2020年頃までにファーストチェーンの運用を開始\*1 * 2025年以降、国内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\*2 |
| 将来の想定 (2030年頃) | * 大型タンカーの入港及び水素受入関連施設の整備が可能であり、発電設備等の大量の水素需要がある港湾地域が対象 * 既存バースの利用および既存設備の活用可能性から、ガスタービン発電所の近傍に拠点が形成される可能性が高い | * 大型タンカーの入港及び石油関連施設の整備が可能であり、発電設備等の大量の水素需要がある港湾地域が対象 * 既存バースの利用および既存設備の活用可能性から、石油精製設備等がある地域あるいはガスタービン発電所の近傍に拠点形成される可能性が高い。 |
| 2030年頃の 国･関西圏における 水素供給 見込み | * 国全体の水素輸入量の見込み 2030年頃：22.5万t/y\*5 | * 国全体の水素輸入量の見込み 2030年頃：33億Nm3/y\*6  　　　(30万t/y) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 供給拠点の種類 | (１)海外輸入水素荷揚供給拠点施設 | (２)再生可能エネルギーを活用した 　　水素製造拠点 |
| ③ アンモニア | 太陽光発電、風力発電、木質バイオマス |
| 概要･特徴 | * 水素エネルギーキャリアとしての可能性について既存の設備を流用して検討可能である\*4 | * 再生可能エネルギーを電気として利用するだけでなく、Power-to-gasを通じて水素として利用する\*1 |
| 利　点 | * 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\*2 * 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が可能\*2 | * 季節を越えた再生可能エネルギーの変動吸収\*1 * 再生可能エネルギーの地域偏在性の解消\*1 |
| 課　題 | * 脱水素して利用する場合にはエネルギーが必要\*3 * 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 * 可燃性劇物に係る安全性確保 * 毒性と臭気の管理が必要\*3 * 直接燃焼利用時の窒素酸化物の低減 | * Power-to-gas技術による水素製造コストは、化石燃料改質に比べて高くなる傾向にあり、足元では経済性が課題\*1 * 自然変動電源を用いて水素製造を行う場合には、水電解システムの設備利用率が低くなる\*1 |
| 国の将来 想定･目標 | * 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\*2 | * 2020年以降は、(中略)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\*2 * FIT切れ案件が出現する2032年頃には商用化\*2 |
| 将来の想定 (2030年頃) | * 大型タンカーの入港及びアンモニア受入関連施設の整備が可能であり、発電設備等の大量のアンモニア需要がある港湾地域が対象 * 既存バースの利用、既存発電設備の活用、既存商業サプライチェーンの活用可能性から、アンモニア製造所などアンモニア取扱施設等がある地域あるいは石炭火力発電所の近傍に拠点形成される可能性が高い。 | * 大規模再エネ設備を大量に導入できる地域が対象 * 水素需要が見込める地域が近接しており、既存の大規模再エネ設備がある地域から拠点形成される可能性が高い |
| 2030年頃の 国･関西圏における 水素供給 見込み | * 国全体のアンモニア輸入量の想定 2030年頃：300万t-NH3/y\*7 (水素換算53万t-H2/y) | * 圏域内に太陽光(瀬戸内周辺等)、風力（淡路島、和歌山、鳥取）、木質バイオマス（兵庫、鳥取等） |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 供給拠点の種類 | (３)下水汚泥消化施設を活用した 　　水素製造拠点 | (４)化石燃料改質水素製造拠点 |
| 汚泥消化設備を設置する下水処理場 |  |
| 概要･特徴 | * 下水処理場の消化工程から発生している下水バイオガスから水素を創出する\*8 | * 化石燃料から水素を目的生産している |
| 利　点 | * 下水処理場で発生する下水汚泥は、安定的な都市型バイオマス\*8 * 下水処理場は全国各地にあるため需要地に近接していれば輸送コストを低減できる\*9 * 既存のメタン発酵施設を活用することで初期投資が低減される\*9 | * 水素製造装置の余力を用いれば追加的な水素供給が可能\*12 |
| 課　題 | * 下水汚泥関連施設の腐食・劣化は、大きな課題\*10 | * 水素を水素製造装置で製造する過程でCO2が余分に発生\*12 |
| 国の将来 想定･目標 | * 2020年頃までに、4大都市圏を中心に数箇所程度の下水処理場での水素製造・水素供給を実施\*17 * 2030年頃までに、全国20箇所程度で実施。事業採算性が確保できるレベルまで技術開発を推進\*17 | * ― |
| 将来の想定 (2030年頃) | * 既存の汚泥消化設備を有する下水処理施設がある地域が対象 * 水素需要が見込める地域が近接しており、汚泥消化設備を有する既存の下水処理施設がある地域から拠点形成される可能性が高い | * 2030年頃に海外からの安価なCO2フリー水素が供給されると、水素製造拠点からの水素供給にも変化が生じると想定される |
| 2030年頃の 国･関西圏における 水素供給 見込み | * 圏域内に下水処理施設は30施設程度存在する\*11 | * ―（堺・泉北等に水素製造拠点あり） |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 供給拠点の種類 | (５)副生水素発生施設 |  |  |
| ① 製鉄所（コークス炉） | ② 石油化学工場 | ③ 苛性ソーダ工場 |
| 概要･特徴 | * コークスを製造するプロセスにおいて発生するコークス炉ガスは、ガス組成に占める水素の割合が5割以上と比較的高い\*12 | * 石油化学におけるエチレン製造プロセスでも副生水素が発生しており、一部は外販されている\*12 | * 食塩電解により苛性ソーダを製造する際に発生する副生水素は純度が高く、外販用としても用いられている\*12 |
| 利　点 | * 製鉄所が国内に広く立地しており、かつ、大規模需要が見込まれる都市部での供給拠点となり得る\*13 | * ― | * 純度も高く、また、全国に発生源が分布する\*14 |
| 課　題 | * 水素濃度を高めるためのコストが追加的に発生\*12 * コークス製造量による\*12 | * エチレン製造設備の停止により、わが国におけるエチレン生産能力は近年減少傾向にある\*12 | * 苛性ソーダの製造量による\*12 |
| 国の将来 想定･目標 | * ― | * ― | * ― |
| 将来の想定 (2030年頃) | * 現状と同様に、コークス炉で用いる化石燃料の削減等を目的として自家消費（再燃料）されるか、製品プロセスに利用される\*11 | * 副生ガスの発生量は製品生産量に依存していることから、将来的に外販目的とした水素生産は難しい\*11 | * 副生水素の量は主製品の需要の影響を受けるため、追加的な外部供給の可能性は低い\*11のヒアリング調査結果より |
| 2030年頃の 国･関西圏における 水素供給 見込み | * ―（兵庫、和歌山に製鉄所あり） | * ―（堺・泉北、和歌山に精製設備あり） | * ―（兵庫、徳島にソーダ製造所あり） |

# （２）供給拠点の想定（2030年頃）

前項の2030年頃の関西圏における普及の考え方を踏まえて、2030年頃の供給拠点を想定する。

|  |
| --- |
| （１）海外輸入水素荷揚供給拠点施設 |
| ① 液化水素 |
| 考え方   * 実証事業と2030年以降の商用チェーンでの船および荷揚げ地のタンクの規模を以下に示す   表　タンカーの規模\*15   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | 実証事業 | 商用チェーン | | 運搬量 | 1250m3 | 16万㎥ (大型LNG船と同じサイズ) | | 船の長さ | 100m | 300m | | 船の幅 | 15m | 50m |   表　荷揚げ地のタンクの規模\*5,15   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | 実証事業 | 商用チェーン | | タンク容量 | 2500m3 | 5万m3×5基 |  * 上記設備を受け入れるための既存設備や休遊地等の整備用地があるエリアを想定 * 2030年頃は、ガスタービン発電所で混焼することを想定（近隣にガスタービン発電所が立地）   関西圏で期待されるエリア   * 大型タンカーが入港でき、ガスタービン発電所が近傍に立地しているエリア（堺・泉北、姫路） * 整備用地としては、臨海部の休遊地等があるエリア |

|  |
| --- |
| ② ＭＣＨ |
| 考え方   * 現在のＭＣＨおよびトルエンのタンカーと、2030年以降の商用チェーンでのタンカーの規模を以下に示す   表　タンカーの規模   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | 現在 | 商用チェーン | | タンカー | 5万ｔ級\*16 | 10万ｔ級\*6 |   備考)20万ｔ以上の大型タンカーが経済的に有利との報告もある\*16   * 2030年以降のチェーンで各設備に必要な土地の規模を以下に示す   表　土地の規模   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | タンク | 脱水素プラント | | 土地 | 約20万m2 (既設利用:12万m2) | 6～8万m2 |  * 上記設備を受け入れるための既存設備や休遊地等の整備用地があるエリアを想定 * 石油関連のタンクや配管など既存設備を最大限活用することでイニシャルコスト低減を図る * 2030年頃は、ガスタービン発電所で混焼することを想定（近隣にガスタービン発電所が立地）   関西圏で期待されるエリア   * 大型タンカーが入港でき、ガスタービン発電所（堺・泉北、姫路）あるいは石油精製設備（堺・泉北、和歌山、赤穂など）が近傍に立地しているエリア * 整備用地としては、臨海部の休遊地等があるエリア |

|  |
| --- |
| ③ アンモニア |
| 考え方   * 現在のアンモニアタンカーは2.3万～5万ｔクラスで、将来的に水素キャリアなどエネルギーとして用いられる際は大型化することが予想される。荷揚げ地では、貯蔵設備等が必要となる * 上記設備を受け入れるための既存設備や休遊地等の整備用地があるエリアを想定 * アンモニア製造所などアンモニア取扱施設等を活用することでコスト低減を図る * 2030年頃は、アンモニア混焼可能な石炭火力発電所等で混焼することを想定（近隣に石炭火力発電所等が立地）   関西圏で期待されるエリア   * 大型タンカーが入港でき、石炭火力発電所（徳島、舞鶴）あるいはアンモニア製造所（堺・泉北など）などアンモニア取扱施設等が近傍に立地しているエリア * 整備用地としては、臨海部の休遊地等があるエリア |

|  |
| --- |
| （２）再生可能エネルギー発電施設 |
| ① 太陽光発電施設 |
| 考え方   * 既存の大規模太陽光発電設備において、イニシャルコスト低減を図る   関西圏で期待されるエリア   * 既存の大規模太陽光発電設備があるエリア（瀬戸内周辺等） |
| ② 風力発電施設 |
| 考え方   * 既存の大規模風力発電設備において、イニシャルコスト低減を図る   関西圏で期待されるエリア   * 既存の大規模風力発電設備があるエリア（淡路島、和歌山、鳥取等） |
| ③ 木質バイオマス発電施設 |
| 考え方   * 既存の大規模木質バイオマス発電設備において、イニシャルコスト低減を図る   関西圏で期待されるエリア   * 既存の大規模木質バイオマス発電設備があるエリア（兵庫、鳥取等） |

|  |
| --- |
| （３）下水汚泥消化施設 |
| 考え方   * 活用可能な既存の汚泥消化設備において、イニシャルコスト低減を図る * 量・質ともに安定した都市型の再生可能エネルギーであるので都市での利用を考える   関西圏で期待されるエリア   * 圏域内30箇所等の汚泥消化設備を有する下水汚泥処理施設のうち、余剰消化ガスが発生しているエリア * 輸送コストの低減を図るため、需要地が近接する地域から拠点が形成される可能性が高い |

# ■出典一覧

|  |  |
| --- | --- |
| \*1 | 水素・燃料電池戦略協議会CO2フリー水素ワーキンググループ、「CO2フリー水素ワーキンググループ報告書」、平成29年3月7日 |
| \*2 | 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議、「水素基本戦略」、平成29年12月26日 |
| \*3 | 塩沢文朗、「水素社会を拓くエネルギー・キャリア(最終回)」、2015年 |
| \*4 | 小島由継、「アンモニアによる水素貯蔵と運搬」、表面科学Vol.36, No.11, pp.583-588, 2015 |
| \*5 | 川崎重工業株式会社技術開発本部、「水素導入ポテンシャル(～LNG導入の歴史から考察～)」、2017年6月1日、第9回水素・燃料電池戦略協議会 |
| \*6 | 千代田化工建設株式会社、「水素供給シナリオ」、2017年6月1日、第9回水素・燃料電池戦略協議会 |
| \*7 | 経済産業省、内閣府、他、「水素社会実現に向けた戦略の方向性」、平成29年9月22日、第10回水素・燃料電池戦略協議会 |
| \*8 | 三菱化工機株式会社HP http://www.kakoki.co.jp/theme/hydrogen-station/index.html |
| \*9 | 国土交通省、「下水道における水素製造・利用の取組」 |
| \*10 | 下水道水質課、「汚泥貯留槽内で発生する腐食性ガス(硫化水素)量の確定についての検討」 |
| \*11 | 2017年度水素による関西しごと創生・低炭素まちづくりスタートアップ事業～関西圏の水素ポテンシャルマップ～ |
| \*12 | 資源エネルギー庁燃料電池推進室、「水素の製造、輸送・貯蔵について」、平成26年4月14日 |
| \*13 | 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会、「製鉄プロセスガス利用水素製造技術開発中間評価報告書」、平成16年2月 |
| \*14 | 福岡正雄、「食塩電解工業における副生水素利用の現状」、水素エネルギーシステム Vol.28, No.1(2003) |
| \*15 | 西村元彦、「CO2フリー水素チェーン実現への取り組み」、生産と技術 第66巻 第2号(2014) |
| \*16 | 岡田佳巳、「有機ケミカルハイドライド法による水素エネルギーの大量長距離輸送技術」、水素エネルギーシステム Vol.35, No.4(2010) |
| \*17 | 水素社会における下水道資源利活用検討委員会、「水素社会における下水道資源利活用の促進に向けて講ずべき施策について」、平成28年3月 |

# １-３　水素の輸送（貯蔵）方法について

# （１）輸送（貯蔵）方法の概要

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 輸送方法の 種類 | (１)パイプライン（水素ガス） | (２)高圧水素ガス（圧縮水素） |
| 概要･特徴 | * 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\*1 | * 常圧の水素ガスをコンプレッサーにより圧縮し、高圧タンクに充填することで輸送・貯蔵する方式であり、例えば20MPaに圧縮された水素であれば、常圧に比べて約200分の1の体積にすることが可能\*3 |
| 利　点 | * 工場敷地内などにおいてはすでに多数整備の実績あり\*2 * 水素の製造方法次第では、安定的な供給が可能\*2 * 精製不要\*2 * エネルギーロスが少ない\*2 | * 外販用の水素として普及済み\*2 * 精製不要\*2 * 国内の水素ステーションに供給する場合には、追加的な圧縮を低減できるため、エネルギー効率の高い輸送方法となり得る\*3 |
| 課　題 | * 工業敷地内を除くと実績に乏しい\*2 * 水素を需要地まで輸送することを想定した本格的な水素パイプラインの整備には、かなりのインフラ投資が必要となり、初期コストが大きくなる\*４ * 水素パイプラインの設計、施工、維持管理に係る安全性確保について、検討が必要\*4 * 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。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あり\*１ | * 他のキャリアと比べると、体積水素密度が低く、一定の距離以上の輸送を行う場合にはコスト面において劣後する\*3 |
| 国内輸送の 技術段階 | * 実証段階\*2 | * 商用段階\*2 |
| 将来における 国内輸送での 活用の想定 (2030年頃) | * 水素ステーション周辺や再生可能エネルギー源近傍での小規模な利用\*５ * 海外から輸入する水素の受入施設周辺での比較的大規模な利用\*５ | 水素ステーション等への輸送・貯蔵方法としては高圧水素ガス、液化水素、メチルシクロヘキサンが想定される   * 高圧水素ガスは、体積あたりの密度が低く、一定の距離以上の輸送を行う場合にはコスト面において劣後するが、水素ステーションに供給する場合には、追加的な圧縮を低減できるなど、エネルギー効率の高い輸送方法となり得る。 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 輸送方法の 種類 | (３)液化水素 | (４)メチルシクロヘキサン（ＭＣＨ） |
| 概要･特徴 | * 水素ガスを－253℃に冷却することで液体状態にして輸送・貯蔵する方式であり、気体状態の水素の約800分の1の体積にすることが可能\*3 * 液化水素輸送には、可搬式超低温容器(145～350L)、コンテナ(2～46m3)、ローリー(23m3)が使用されている\*4 | * 水素をトルエン等と反応させることでメチルシクロヘキサン等として化学的に吸着させ、輸送・貯蔵する方式であり、気体状態の水素を約500分の1の体積にすることが可能\*3 * ケミカルタンカーやケミカルローリーを用いることができる\*4 * ＭＣＨ脱水後のトルエンはＭＣＨ出荷基地まで輸送し、水素を付加してＭＣＨとしてリサイクルする |
| 利　点 | * 工業用水素輸送方法としてすでに普及\*2 * ＭＣＨや圧縮水素に比べ体積水素密度が高く、高効率な輸送が可能\*2 * 高純度のため精製不要\*2 | * 常温常圧で安定的に貯蔵可能\*2 * 既存の輸送・貯蔵インフラが利用可能\*2 |
| 課　題 | * ボイルオフガスの低減\*4 * 高圧ガス保安法などの法規への対応必要\*4 * 冷熱の有効活用が重要\*4 * 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\*１ | * 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\*１ * 脱水素化反応は吸熱反応であるため、400℃程度の熱源(排熱)の確保が必要\*4 * 水素キャリアとしての利用が想定されてこなかったため、各種規制（高圧ガス保安法、消防法、建築基準法など）について対応が必要\*4 * 水素ステーションに直接輸送し、その場で脱水素を行って、水素を得るためには、脱水素装置の小型化などが必要\*4 * トルエン等除去のため精製が必要\*2 |
| 国内輸送の 技術段階 | * 商用段階\*2 * 海上輸送については実証段階\*１ | * 実証段階\*2 |
| 将来における 国内輸送での 活用の想定 (2030年頃) | 水素ステーション等への輸送・貯蔵方法としては高圧水素ガス、液化水素、メチルシクロヘキサンが想定される   * 液化水素は、海外からの輸入方法として実証段階にあり、海外輸入水素の受入施設からそのまま国内輸送し、利用。   国内で製造した水素を液化し、輸送することはすでに実用化。液化に一定のエネルギー、コストが必要になるが、ＬＮＧの冷熱の活用により効率よく液化することが可能。 | 水素ステーション等への輸送・貯蔵方法としては高圧水素ガス、液化水素、メチルシクロヘキサンが想定される   * メチルシクロヘキサンは、海外からの輸入方法として実証段階にあり、海外輸入水素の受入施設で脱水素、精製を行い、高圧水素ガス等で輸送し、利用。受入施設から水素ステーション等にそのまま直接輸送し、その場で脱水素を行って水素を得ることも可能であり、そのためには脱水素装置の小型化や熱源の確保が必要。 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 輸送方法の 種類 | (５)アンモニア | (６)水素吸蔵合金 |
| 概要･特徴 | * アンモニアは安定な物質であるが、水素を脱離できれば、アンモニアを水素のキャリアとして利用できる。直接的に脱水素（クラッキング）するには、現状ではルテニウム系触媒を用いて670℃以上の高温が必要である。\*4 | * 可逆的に水素と反応して金属水素化物を生成する\*4 |
| 利　点 | * 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\*1 * 天然ガスから製造されるため比較的安価\*1 * アンモニアの既存の商業サプライチェーン（タンカー、ローリー等）を活用可能\*1 * 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が可能\*1 | * 金属水素化物中水素原子密度は、液化水素の密度よりも高い値となるため、将来的にはスペースの制約のある車両や定置式エネルギー貯蔵装置への摘要が期待される\*4 * 圧力が1Mpa未満であれば、高圧ガス保安法が適用されない |
| 課　題 | * 可燃性劇物に係る安全性確保\*１ * 脱水素して利用する場合にはエネルギーが必要 | * 合金自体の重量が重いので、重量あたりの吸蔵量が小さい\*4 * 水素放出のために加温するなどの措置が必要で、熱交換器などを組み合わせる必要がある\*4 * さらなるコスト低減が必要\*4 |
| 国内輸送の 技術段階 | * 発電への直接利用について実証段階 | * 研究開発段階\*2、一部実用段階（限定的） |
| 将来における 国内輸送での 活用の想定 (2030年頃) | * 海外輸入CO2フリーアンモニアの直接利用 発電所等管理されたサイトでの利用を想定\*５（石炭火力発電所での混焼等） | * 設置場所・スペースに制約があり、使用量が少ない場合（家庭用・非常用等）などに利用 |

|  |  |
| --- | --- |
| 輸送方法の 種類 | (７)メタネーション |
| 概要･特徴 | * 水素とCO2を反応させることでメタンを製造する\*１ * 大気に排出されるCO2を水素のメタン化に活用すれば、カーボンニュートラルになる |
| 利　点 | * 天然ガス網に注入すれば、既存のインフラが活用できる\*4 |
| 課　題 | * 水素のメタン化のためには、CO2が必要であり、低コストで効率の良いCO2分離技術が求められる * 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CO2削減効果の帰属先に係るルールメイキング等が必要\*5 * 燃焼時にはCO2が発生する |
| 国内輸送の 技術段階 | * 研究開発段階 |
| 将来における 国内輸送での 活用の想定 (2030年頃) | * CO2フリー水素を用いたメタネーションが実用化されれば、メタンを直接利用し、都市ガス導管への導入、ＬＮＧ火力発電所での利用が考えられる |

# ■出典一覧

|  |  |
| --- | --- |
| \*1 | 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議、「水素基本戦略」、平成29年12月26日 |
| \*2 | 資源エネルギー庁、「第5回CO2フリー水素WG事務局提出資料」、平成28年10月25日 |
| \*3 | 水素・燃料電池戦略協議会CO2フリー水素ワーキンググループ、「CO2フリー水素ワーキンググループ報告書」、平成29年3月7日 |
| \*4 | NEDO、「水素エネルギー白書」、平成27年3月20日 |
| \*5 | 経済産業省等、「第10回水素・燃料電池戦略協議事務局提出資料　水素社会実現に向けた戦略の方向性」、平成29年9月22日 |