

令和 4 年度 沖縄型クリーンエネルギー

導入促進調査事業

(沖縄における水素サプライチェーンに関する調査)

調査報告書

(概要版)

令和 5 年 3 月

内閣府沖縄総合事務局

はじめに

日本政府は 2030 年に温室効果ガス 46%削減（2013 年比）、2050 年にカーボンニュートラル達成といった脱炭素目標を掲げている。沖縄においては運輸部門および発電部門の CO₂ 排出量が多く、脱炭素社会への取り組み強化が求められている中、その手段の一つとして水素の活用が期待されている。本調査では、2050 年の CO₂ 排出ネットゼロの達成に向け、沖縄モデルの水素活用事業について、実現可能性の調査を行った。



1. 国内外の水素関連動向調査

1-1 海外調査

1-1-1 台湾

台湾と沖縄は距離的にも近く、台風襲来地、電力系統が独立している島嶼地域という共通点があり、参考になる部分が多く調査対象とした。

台湾の国家発展委員会は 2050 年の脱炭素目標達成に向けて、「2050 年ネットゼロ排出ロードマップ」を発表。その中で「4 大方策」と「2 大基礎」と 12 のキー戦略を掲げており、その一項目が水素エネルギーとされている。

水素の利用に関しては、温室効果ガス総排出量の半分を占める電力部門への活用が期待されており、興達(xingda シンダ)火力発電所では石炭から LNG に切り替えた上での水素混焼、林口(linkou リンコウ)火力発電所では石炭機へのアンモニア混焼を計画している。

さらに水素供給体系に向けて、台湾政府では水素エネルギー推進グループを発足させ、短期・中長期の水素供給推進戦略、水素供給源の確保インフラ設備、さらにオーストラリア、日本等の国と協力を推進するとしている。

1-1-2 シンガポール

シンガポールも台湾と同様に島国であり、沖縄県と近い環境であると言える。しかし需要規模や近隣の国から送電網を通じた電力供給を受けられる点などの相違点が存在。

シンガポールでは国として 2050 年のカーボンネットゼロに向けて、CO₂ 排出源の 44%を占める産業部門と 40%を占める発電部門の脱炭素化が求められる。特に発電部門に関しては、現在のシンガポールの電源構成が 95%を天然ガスが占めていることもあり、燃料転換によるこれ以上の削減を目指す場合、水素等の低炭素・脱炭素燃料が必要となる。

そうした状況の中で、国内の電力供給の半分を水素に移行することを目指した「国家水素戦略」を掲げている。さらに専門家委員会が出したレポート「CHARTING THE ENERGY TRANSITION TO 2050」では、発電部門に占める水素発電割合を 10～60%とする、3 つのシナリオが出されており、いずれのシナリオでも水素に対して大きな期待がなされている。

水素の供給源に関しては、国内での再生可能エネルギー源が少ないことも受けて、海外からの輸送を中心に検討されている。その為、アンモニア、メチルシクロヘキサン(以下、MCH)だけでなく、液化水素などの様々な水素キャリアを前提とした、国外からのサプライチェーン検討がなされている。また海上国際輸送の要地という地理的な性質を活かすために、特にアジア向けへの水素輸送ハブとなる事を目指すとしている。

1-1-3 沖縄県への示唆

再生可能エネルギーのポテンシャルが小さい両国では化石燃料発電設備の代替としての水素利用に関して期待されている。輸送に関しては、水素、アンモニア、MCHなどの様々な技術を並行して検討されており、輸送元に関しても世界各国の様々が検討されている。

1-2 国内調査

1-2-1 水素関連技術開発・実証

水素に関する技術開発・実証については、需要・供給共に大規模の設備が求められていることもあり、グリーンイノベーション基金（以下 GI 基金）プロジェクトを中心に進められている。その中で、大規模水素サプライチェーンの構築や水素製造プロジェクトなどの水素供給関連の技術に加えて、発電や次世代船舶、航空機等の水素需要側に関する技術の研究もなされている。

GI 基金の様な政府主導の研究開発だけでなく、民間企業や研究機関中心となる研究開発も進められている。それらの研究は製造・供給関連技術、輸送技術、需要関連技術に分類できる。

製造・供給関連技術としては、既存の副生水素・褐炭水素だけでなく、環境負荷のないグリーン水素を製造するための技術として新たな水電解技術に関しても、フルヤ金属などの民間企業を中心に研究されている。

輸送技術としては、大規模サプライチェーン構築事業の中での検討が必要であり、主に NEDO や GI 基金のプロジェクトの中で実証が中心である。具体的に、CO₂ フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）などによって研究されている。

需要関連技術に関しては、用途が多岐に渡り多様な用途に向けて研究がなされている。発電などの大規模需要に関しては、GI 基金などを通じて研究されているが、その他に運輸部門において、船舶や鉄道用の利用が検討、研究がなされている。

さらに産業用にも利用が検討されており、鉄鋼分野のような大規模なものから、輸送・倉庫業界で期待される小規模産業ロボットまで広く検討されている。

1-2-2 水素関連補助

水素関連技術に関しては、水素ステーションや FCV の様にすでに普及期に入った技術・設備に関しては導入に対して、国・自治体から補助が出されている。また購入に係る費用に対する直接の補助だけでなく、セミナーの開催や導入に関する専門家がサポートなど水素技術自体の普及促進も補助事業として行われている。

さらに水素・アンモニア燃料に関しては、燃焼しても二酸化炭素を排出しないカーボンニュートラル燃料として政府からの期待が高まっていることを受けて、審議会などで様々な支援政策が検討されている。「強靱な大規模サプライチェーン構築に向けた支援」として検討されている支援では、供給事業者の販売する価格と既存燃料（天然ガス等）の販売価格との値差がそのまま支援される方針で検討されており、実現すれば既存燃料と同程度の価格で水素・アンモニアの利用が可能になると考えられる。「効率的な水素・アンモニア供給インフラの整備支援」として検討される支援では、大規模拠点 3 か所、中規模拠点 5 か所の整備を目指してパイプライン等の共有インフラへ支援がなされる。その他にも「長期脱炭素電源オークション」など水素の利用から供給まで幅広く支援が検討されている。

2. 水素原産地～輸送～沖縄県での受入に関する調査

2-1 供給元に関する調査・分析（水素製造）

再生可能エネルギーや化石燃料、CCUS 等のポテンシャルを考慮した世界の水素ポテンシャルマップは以下のとおり。地理的条件を考慮し、日本への輸出ポテンシャルの高い国・地域としては、オーストラリア・中東・北アフリカ・南米等が考えられる。

水素製造コストに関して、レポート等発行体により予測結果は多少異なるが、最も安価な再エネ水素製造可能性のある国・地域は南米（チリ）と考えられているものが多く、約 15 円/m³でのグリーン水素製造が可能となると予測されている。その他のエリアを含む調査結果のサマリーは以下のとおりとなる。

表 グリーン水素製造コスト見通し(2030 年)

発行体	コスト前提	中東	オーストラリア	南米（チリ）	（アフリカ）
IEA	2030年断面での太陽光又は風力由来電気分解による水素製造価格	約16～19円/m ³ -H ₂	約19円～21/m ³ -H ₂	～約16円/m ³ -H ₂	約21円～27/m ³ -H ₂
IRENA	太陽光発電由来の水素製造におけるLCOE	2030年	約17円/m ³ -H ₂	約15円/m ³ -H ₂	-
		(参考) 2050年	約8.5円/m ³ -H ₂	約7.5円/m ³ -H ₂	-
Bloomberg NEF	太陽光・風力発電の価格予測を基に、28カ国を対象にモデル化を実施	約14～26円/m ³ -H ₂	約13～24円/m ³ -H ₂	約13～21/m ³ -H ₂	-
Wood Mackenzie	自社独自の再エネ・化石燃料価格予測を基に価格を設定	約35円/m ³ -H ₂	約35円/m ³ -H ₂	-	-
PwC	再エネおよび全世界の発電／水素設備コスト低減分析に基づき設定	約26～29円/m ³ -H ₂	約29～32円/m ³ -H ₂	約23～26円/m ³ -H ₂	約29～32円/m ³ -H ₂
政府系予測・目標	各国により異なる（目標・モデル試算など）	約16円/m ³ -H ₂	約15円/m ³ -H ₂	約11円/m ³ -H ₂	-

※計算条件：為替レート 120 円＝1\$ 80 円＝AU1\$ 130 円＝1€ 水素：0.0898kg/m³

※2030 年断面で赤：≥15 円/m³が期待される国、黄：≥20 円/m³が期待される国

出所：各種レポートを基に日本総合研究所作成

実際にオーストラリアや、チリ、中東諸国においては、政府目標・戦略・補助などが示されており、水素製造・国際輸送に関するプロジェクトが検討・実施されている。

2-2 輸送方法に関する調査・分析（水素輸送）

水素の国際輸送方法に関して、水素輸送・貯蔵工程においては、水素キャリアの選択が重要なポイントとなる。液化水素・MCH・アンモニア・合成メタンが代表的なキャリアであり、並行して検討が進められている中でキャリアごとにそれぞれメリット・デメリットが存在している。

輸送コストについては、足元は合成メタンの輸送コストが最も安価と予想されているが、後に示す通り、これはかなり理想的条件での試算結果となっている。液化水素、MCH、アンモニアの比較では足元は MCH・アンモニアが約 25～30 円/N m³程度と見込まれており、液化水素は 30 円/N m³程度と比較的高い。一方、2050 年に向けた将来的なコストとしては、液化水素が 17.1 円/N m³と最も安価に予想されている。

2-3 沖縄で荷揚、受入れに関する調査（水素受入

水素のキャリアである液化水素および MCH 設備についてヒアリング・視察を基にメリットやデメリットを整理した。

また、各水素キャリア運搬船ならびに屋外貯蔵タンク規模の現状及び将来像は以下のとおりである。

表：液化水素受入設備および MCH 脱水素化設備のメリットとデメリット

設備 種別	液化水素受入設備（岩谷産業、神戸）	MCH設備（千代田化工建設、横浜）
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・体積を1/800にでき、MCH(1/500)に比べて高い ・輸送船の喫水はMCH船と比べても浅い ・液化水素独自の資格等が必要なく、高圧ガス保安法および既存ガス施設の基準に準拠 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガソリン、軽油と性状が同じであることから常温で取り扱える。輸送はケミカルタンカーの流用が可能。積替えや需要地へ分散輸送することも容易。貯蔵もガソリンタンクが流用可能 ・輸送船の喫水は石油タンカーと同程度 ・ガソリンと同様の危険物4類第一石油類で取り扱える
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・極低温(-253℃)のため気化しやすく、設備に真空二重断熱が必須であり、既存設備も改良が必要 ・極低温のためBOG(ボイルオフガス)が発生しやすく、現時点では断熱構造などの技術的な課題があることから内航船への積替えによる輸送が困難 ・大型タンクも断熱面で技術的な課題があり、開発段階である ・大規模な輸送船も現在、開発中であり技術が確立していない 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱水素反応に350～400℃の熱源が必要でありエネルギーロスが大きい ・脱水素化反応後にトルエンが生成。トルエンタンクの確保が必要 ・FCVや燃料電池での使用は水素の純度を高めるための精製が必要 ・脱水素に必要な白金触媒寿命が2年程度

水素キャリア	現状	将来
液化水素 ・-253℃まで冷却 ・液化水素専用インフラ必要	液化水素運搬船「水素ふうてい丸」 (2019年度) (注1) 総トン数 8,000トン 全長 116.0m 幅 19.0m 満載喫水 4.5m タンク容量1,250m ³	16万m³型液化水素運搬船 (2020年代半ば実用化目標) 【参考(LNG船)】(注2) 総トン数 13万トン 全長 314m 全幅 48.9m 満載喫水 13.1m
メチルシクロヘキサン(MCH) ・常温で液体 ・ガソリン用インフラ利用可能	1.2万DWT型ケミカルタンカー (注4) DWT 1万トン 全長 136m 全幅 19.7m 満載喫水 7.8m	8万～10万DWT型ケミカルタンカー-LR2(Large Range2) (注5) DWT 10万トン 全長 246m 全幅 43.50m 満載喫水 14.3m
アンモニア ・-33℃又は8.5気圧で液化 ・LPGと同様のインフラ技術利用可能	2万5千トン型MGC(Mid-size Gas Carrier) (注6) 総トン数 2万5千～3万トン DWT 2万2千～2万5千トン 全長 170～185m 全幅 30m 満載喫水 10～11m タンク容量 3万5千～3万8千m ³	87,000m³型VLGC(Very-Large Gas Carrier) (注7) (2023年以降竣工予定) 全長 230.0m 全幅 36.6m 満載喫水 12.0m タンク容量 8万7千m ³

図：各水素キャリア運搬船の現状及び将来想定される最大船型例

出所：国土交通省港湾局 CNP 形成計画策定マニュアルより抜粋

表：屋外貯蔵タンクの規模

水素キャリア	容量	形状	直径	高さ	備考
液化水素	2,500m ³	球形	19m	－	実証段階
	10,000m ³	球形	30m	－	設計段階
	50,000m ³	円形	59m	42.5m	概念設計段階
液化アンモニア	15,000t	円形	40m	40m	住友化学保有
	22,000m ³				日本最大1.5万トンタンク
	33,000t	円形	55m	40m	基本設計段階(※9)
	49,000m ³				
	50,000t	円形	60m	45m	(参考)LPGタンク
有機ハイドライド	50,000kL	円形	58m	21m	(参考)原油タンク
	100,000kL	円形	82m	23m	※備蓄基地の原油タンクを例としたが、一般の石油・化学プラント等、既存の貯蔵設備の転用も可能
	160,000kL	円形	100m	23m	

出所：国土交通省港湾局 CNP 形成計画策定マニュアルより抜粋

3. 沖縄県内での水素製造・流通・利用に関する調査

3-1 文献調査を基にした沖縄県内の水素需要の推計

国内における水素供給は 150 億 N m^3 程度であり、その大半は製油所における脱硫プロセスや工場におけるボイラーなどの燃料として自家消費されている。

国は、2030 年頃の追加の供給ポテンシャルとして 120~180 億 N m^3 程度になるとの試算している。

それに連動し 2025 年に FCV の販売台数 20 万台、水素ステーションの設置数 320 箇所を、2030 年に FCV の販売台数 80 万台、水素ステーションの設置数 900 箇所を目指している。

現在、一般社団法人次世代自動車振興センターによる次世代自動車（EV、PHV、FCV）の登録台数では、年々 EV と PHV の販売台数は増えているものの、FCV に関しての普及は緩やかに伸びを見せている。

しかし、県内における FCV 普及は水素ステーションが無いため、ディーラーが保有するデモ車の数台のみとなっている。

将来的に、沖縄県内における FC 車両の普及についてシミュレーションを行った結果、水素ステーション 1 か所あたり最大で年間 68t 必要となり、その際、CO₂ 削減量は約 300t 程度削減される結果となった。

3-2 県内流通に関する調査

現在、県内での水素利用はほぼ皆無に等しいが、近年叫ばれるカーボンニュートラルの流れから、水素に対する期待度は高く、特に CO₂ 排出量削減を掲げる企業や、流通業から FCV や水素の供給に関する要望が日増しに高くなっている。

特に流通の分野では、配送に用いるトラック等の FC 化を要望しており、近日発表される FC トラック（2.4t サイズ）に対する期待度は高い。しかし、物価高騰もあり燃料費削減の観点から FC トラックが軽油トラックと同程度の燃費、維持費を期待する声もある。

3-3 地産地消に関する調査

県内において、化学薬品製造企業から塩素や苛性ソーダの製造段階で副生水素が発生している。副生水素は多様な工業プロセスから副産物として生産される水素のことであり、国内では現状で 9 万トン（11 億 N m^3 ）程度の水素が副生している。この水素は純度が高く、すでに外販されて水素として利用されている。

県内で発生する副生水素は未利用の状態で、年間約 31t のポテンシャルを有しており、コロナ禍において塩素や苛性ソーダの需要が減ったため、連動し副生水素の発生量も若干減少している。

現在供給のポテンシャルもあり、地産地消ができる水素として期待される副生水素であるが、企業側は、水素需要が極端に低いこと、出荷、輸送設備への投資に巨額な費用が係ることから今後の供給については厳しいとの意見を述べている。

3-4 県内利用に関する深堀検討

3-4-1 発電部門

今回の調査において現時点での公開情報を用いて 2030 年断面および 2050 年断面における沖縄県の発電用水素需要量について推計した。

2030 年断面での水素需要量(4,200t~13,000t)の創出には着実な水素混焼発電等の実証やサプライチェーンの構築を進め、安定的な水素需要への整備が必要である。

2050 年断面での水素需要量(80,000t~340,000t)の創出には水素全般における大幅な技術的革新やコスト低減等が必須であり、発電部門においても運輸部門においても化石燃料に代わる主要な CO₂フリー燃料として活用を推進していく必要がある。

3-4-2 運輸部門

運輸部門における利用の観点では、現在、一般乗用の FCV としてトヨタ MIRAI 1 車種のみの販売となっているが、他社の FCV の販売も予定されており、加えてトヨタが水素エンジン自動車の開発を行っている。

また、FC バスについても、路線バスタイプのトヨタ SORA 1 車種のみであるが、現在中型サイズ(20 名乗)の車両も実証に用いられており、今後の展開が予定されている。

さらに、FCトラックについては現在メーカーが注力しており 2023 年に 2.4t サイズの小型トラックの発売が予定され、その後 10t サイズの大型トラックの開発も予定されている。

そのほかにも、FCフォークリフトがあり、2022年に2世代目の1.5tサイズが発売され、従来型に比べコストを抑え補助金込みでエンジンフォークリフトより少し高い程度に抑えた車両を展開している。

3-4-3 その他部門

そのほかの分野では、家庭部門、産業部門での利用があり、家庭用では電気や熱を給湯、暖房に用いる家庭用燃料電池（エネファーム）がすでに展開されており、政府でも補助金を設け導入支援を実施しており、普及台数も年々増えているが、機器の特性上、気温が低い地域においての需要が高く、沖縄県内では熱需要が低いいため普及があまり進んでいない。

また、産業用に用いられる燃料電池は、エネファームと理論は一緒で、燃料をガスとせず直接水素を用いて反応させ、電気と熱を得る装置であり、工場等での利用にあたっては需要に応じ電気と熱を利用することができ、常に運転状況のため耐久性も高い装置となる。

産業用では、燃料電池の他に水素ボイラーの製品も展開され、水素を直接燃焼させる方式のボイラーであり、需要に応じてサイズのバリエーションも備えている。産業用燃料電池や水素ボイラーは、常に水素を必要とするためパイプラインでの供給が好ましい。

4. 水素ステーション（SS）事業の実現可能性検討

4-1 既存給油所立地、運営に必要な条件の調査

国は FCV の普及促進のため車両購入補助だけではなく、水素ステーションの整備、運営の予算措置を行っている。その中で、現在 161 カ所の水素ステーションが整備されており、47 都道府県中、35 都道府県に整備され、沖縄県は未整備の状況であり、将来的に 2025 年度までに累計 320 カ所の整備を進める計画である。

水素ステーションの方式は大きく 3 つに分かれており、「オンサイト型」、「オフサイト型」、「移動式」があり、その地域、FCV 普及状況により適した方式で運用されている。また、水素ステーションは、超高压（70～82Mpa）での充填のため安全性を重視した設備、設計がなされている。そのため、様々な法令、規制に従い整備されており、水素製造に関しては「高压ガス保安法」等、ステーション設備については「消防法」や「建築基準法」等がある。

4-2 水素ステーション建設、運営に必要な条件の調査

水素ステーションの方式は大きく 3 つに分かれているが、オンサイト型、オフサイト型ともに複数の機器を備える必要と、圧縮、蓄圧に係る法令の面から一定の敷地面積が必要となりシミュレーションの結果両方式とも約 700 m²程度必要となる。また、移動式の場合は機器等の設置が少なく必要面積は 150 m²程度必要となる。

水素ステーションは様々な機器で構成され、特殊な方式を用いるため、整備に係るコストは非常に高額であり、整備には約 5 億円程度かかるといわれており、通常のガソリンスタンドの約 10 倍かかる。さらに、運営においては資格保有者を充て、高压ガスに関する定期検査、修繕費等の面から高額であり、国の整備、運営の補助金があるが、それでも通常のガソリンスタンドに比べ高額となっている。

4-3 沖縄における水素ステーション展開のイメージ

沖縄における水素ステーション展開を考えた場合、FCV がまだ普及しておらず、整備、運営コストを抑えるためミニマムスタートで、産業用、レンタカー等の需要も見込み、整備運営には公的支援制度を活用したグリーン水素の供給できる水素ステーションが望ましいと考える。

また、規模については今後の展開も考え 100～300N m³/時の製造供給が可能で、1 か所のみであればオンサイト、複数個所であればオフサイト型が望ましい。さらに、一般車両のみならず産業用車両への充填も視野に入れ移動式水素ステーションで需要地へ出向き充填を行うことも望ましいと思われる。

これらの条件からシミュレーションを行った結果、沖縄での水素の供給単価は 2,000 円/kg 前後となり、他府県に比べ高額になることが想定される。

5. 水素混焼を中心とした中長期も見据えた水素活用方向性検討

5-1 今後を見据えた県内における調達・流通・利用方法の検討

海外からの水素調達に関しては水素輸出ポテンシャルが高い国・地域からの輸入が考えられ、今回の調査では具体的国・地域としてオーストラリア、チリ、中東、アフリカ等が挙げられた。

県内での受け入れに関しては 3-4 内で実施した発電用水素需要量調査を基に、今後を見据えた輸送船の規模およびタンク容量を試算した。推計結果より 2030 年断面で必要となるタンク容量は、2,500 m³×10 基から 50,000 m³×2 基などの中のバリエーションから需要量に応じて選択することが想定される。2050 年断面では、10,000 m³×33 基から 50,000 m³×23 基程度の規模になるものと想定される。

さらに上記タンクの設置について、必要となる容量や基数などを基に設置可能性について検討を行った。なお今回はキャリアとしての貯蔵方法や法令等が石油類に準ずるため、ある程度受入イメージが確立されている MCH を例として保有スペースや貯蔵タンクの配置イメージの検討を行った。結果として、一定のスペースやタンク容量・基数などの確保が必要となるものの既存設備を流用できる可能性がある事が分かった。

5-2 末端価格の試算および経済性の評価

水素の末端価格の試算においては、海外での水素製造から、日本国内に向けての外航船による輸送工程までのコストを県外コスト、貯蔵から需要地までの輸送について、沖縄県内コストとして整理を行った。さらに県内に直接輸送した場合と県外の水素拠点を経由し、沖縄県内に輸送した場合の 2 パターンのコスト検証を実施。

結果として、最小でのコスト想定は、MCH となるも、平均コストを考慮するとアンモニアが最も調達キャリアとして優秀な結果となっている。液化水素は技術未成熟であり、輸送・保管面でコスト不利な面があり、技術進展によってコスト改善の余地を残す。

各水素キャリア別の総合コスト（県内直接輸送）						
キャリア	製造	国際輸送	国内輸送 (内航船)	県内受入	県内輸送	合計
液化水素	16.0～21.0円 /Nm3	19.9～24.2円 /Nm3	—	7.6～8.0円 /Nm3	1.3円/Nm3	44.8～54.5円 /Nm3
MCH		9.9～10.2円 /Nm3		14.2～18.3円 /Nm3		41.4～50.8円 /Nm3
アンモニア		13.9～16.1円 /Nm3		10.8円/Nm3		42.0～49.2円 /Nm3

各水素キャリア別の総合コスト（県外拠点経由）						
キャリア	製造	国際輸送	国内輸送 (内航船)	県内受入	県内輸送	合計
液化水素	16.0～21.0円 /Nm3	19.9～24.2円 /Nm3	13.0円/Nm3	7.6～8.0円 /Nm3	1.3円/Nm3	57.8～67.5円 /Nm3
MCH		9.9～10.2円 /Nm3		14.2～18.3円 /Nm3		54.4～63.8円 /Nm3
アンモニア		13.9～16.1円 /Nm3		10.8円/Nm3		55.0～62.2円 /Nm3

上記で示した試算は大規模産業用途を想定しており、小口需要地における水素調達コストに関しては、県内輸送の項目において、追加的なコストが想定される。