

令和2年度沖縄地域における水素・燃料電池等活用による  
再エネ普及拡大に向けた広報事業  
(水素エネルギー導入の可能性調査)

調 査 報 告 書

令和3年3月

内閣府沖縄総合事務局

令和2年度沖縄地域における水素・燃料電池等活用による再エネ普及拡大  
に向けた広報事業（水素エネルギー導入の可能性調査）  
調査報告書

目 次

はじめに	1
調査の背景	1
調査の目的・概要	1
<b>1. 沖縄地域のエネルギー概況調査・分析</b>	<b>2</b>
<b>1-1 沖縄地域の地域特性</b>	<b>2</b>
1-1-1 位置・面積	2
1-1-2 地勢	2
1-1-3 気候	2
1-1-4 人口	3
1-1-5 産業構造	3
1-1-6 その他（自動車保有台数）	5
<b>1-2 沖縄地域のエネルギー動向</b>	<b>6</b>
1-2-1 エネルギー供給量	6
1-2-2 エネルギー消費量	7
1-2-3 民生部門・運輸部門エネルギー消費量	7
1-2-4 再生可能エネルギー動向	9
1-2-5 水素エネルギー利用状況	10
<b>2. 国内外における水素エネルギー利活用の動向</b>	<b>11</b>
<b>2-1 水素エネルギーに関する基礎的な情報</b>	<b>11</b>
2-1-1 水素の基本	11
2-1-2 水素エネルギー社会	24
2-1-3 水素エネルギービジネス	25
2-1-4 水素製造	26
2-1-5 水素の輸送・貯蔵・販売	34
2-1-6 水素の利用	45
<b>2-2 水素エネルギー利活用の課題</b>	<b>55</b>
2-2-1 水素エネルギー全般の課題	55
2-2-2 水素供給（製造、輸送、供給）における課題	55
2-2-3 水素利用における課題	55
2-2-4 水素エネルギー行政支援等に関する課題	56
2-2-5 水素エネルギー普及に伴う課題解決事例	57

<b>3. 沖縄地域における水素エネルギー活用方策</b> . . . . .	<b>58</b>
3-1 沖縄地域の水素エネルギー動向 . . . . .	58
3-1-1 沖縄地域における水素エネルギーへの関心度 . . . . .	58
<b>3-2 利用</b> . . . . .	<b>66</b>
3-2-1 水素エネルギーの利用面でのメリット、デメリットの整理 . . . . .	66
3-2-2 水素エネルギーの利用の課題の整理 . . . . .	68
3-2-3 沖縄地域での利用想定イメージ作成 . . . . .	70
<b>3-3 供給（製造・輸送・販売）</b> . . . . .	<b>71</b>
3-3-1 水素エネルギーの供給面でのメリット、デメリットの整理 . . . . .	71
3-3-2 水素の供給（製造・輸送・販売等）の課題の整理 . . . . .	73
3-3-3 水素エネルギー普及拡大に向けた支援想定イメージ作成 . . . . .	75
<b>3-4 普及に向けた行政方策</b> . . . . .	<b>77</b>
3-4-1 水素エネルギー普及支援面でのメリット、デメリットの整理 . . . . .	77
3-4-2 水素エネルギー普及拡大に向けた課題の整理 . . . . .	79
3-4-3 沖縄地域での行政支援想定イメージ作成 . . . . .	79
<b>3-5 全体のロードマップ</b> . . . . .	<b>83</b>
3-5-1 県内企業の水素エネルギー関連マップ . . . . .	83
3-5-2 水素エネルギーマップからの導入方策 . . . . .	85
3-5-3 ロードマップ作成 . . . . .	89
<b>4. 沖縄地域の水素エネルギー導入可能性まとめ</b> . . . . .	<b>91</b>

## はじめに

### 調査の背景

低炭素社会の実現に向けたエネルギーの選択肢として、水素エネルギーに注目が集まっている。2018年に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」では、2030年までの中期目標である温室効果ガス26%削減に向けて、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取り組みや、省エネルギー社会の構築などとともに「水素社会実現に向けた取組の抜本強化」が掲げられている。

世界では、2017年に発足したHydrogen Council（水素協議会）が、「2050年には全世界で消費されるエネルギーの18%を水素が担い、CO2排出量を年間約60億トン削減する」との水素ビジョンを発表している。

国の発表した「水素基本戦略」と「水素・燃料電池戦略ロードマップ」では、2030年にはFCVと水素ステーションが商業的に自立しており、国際的な水素サプライチェーンが立ち上がるとともに、国内では発電事業用に水素発電が本格導入され、CO2フリー水素の製造・輸送・貯蔵を見据えた取り組みが進んでいる。

低炭素社会への切り札として、水素エネルギーは国内のみならず世界が注目するエネルギーとして、その利活用に向けた取り組みの潮流がある。

そのような水素エネルギー活用の潮流をうけ、沖縄地域においても利活用を進める為の準備を始めておく必要があり、世界、国内の様々な現状を加味しつつ、沖縄の地域性にマッチした導入のための調査を実施することが必要である。

### 調査の目的・概要

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、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とから、沖縄県においてもエネルギーの多様化を進めるうえで重要な資源となる可能性があると考えられる。

本調査事業では、沖縄地域における水素の利活用を通じた再生可能エネルギーの更なる導入拡大に向けた現状の課題や今後の展望について、需要側（使う側）、供給側（製造・運搬・販売）、支援側（行政、団体等）の視点を踏まえ調査を実施し、その結果を広く県民の理解を得るため可能性調査を実施する。

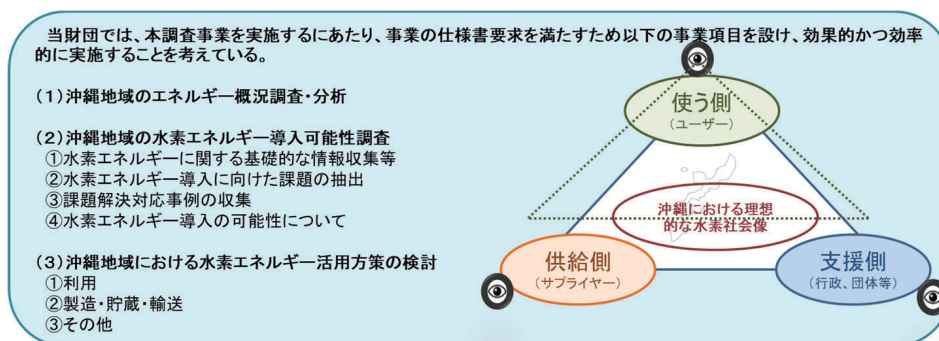


図1 調査実施イメージ

## 1. 沖縄地域のエネルギー概況調査・分析

### 1-1 沖縄地域の地域特性

#### 1-1-1 位置・面積

沖縄県は、九州から台湾に連なる南西諸島の南半分、おおよそ北緯 24 度から 28 度、東経 122 度から 132 度に位置しており、距離にして南北約 400km、東西約 1,000km に及ぶ広大な海域に散在する琉球諸島の島々からなる。琉球列島には、沖縄諸島、先島諸島、尖閣諸島、及び大東諸島の東西 160 の島々があり、うち 49 の有人島がある。また、沖縄県には 11 市 11 町 19 村の計 41 の市町村があり、県土の総面積は 2,275.71 km<sup>2</sup> で、国土総面積の約 0.6% に相当し香川県、大阪府、東京都に次いで全国 4 番目に小さい。



図2 沖縄地域の地勢

出典：「沖縄エネルギービジョン」引用

#### 1-1-2 地勢

地形の特性は低山性の小起伏山地で、県内で最も高い山は石垣島の於茂登岳であり、標高は 526m、沖縄本島では与那覇岳で 503m である。また沖積低地も発達しておらず、丘陵地や台地・段丘が県土の大部分を占めている。沖縄本島は全般的に、坂道も多く隣町に行くまで坂道を越える機会も多いため、車社会の沖縄地域ではこのような坂道が燃費に影響する地域もある。

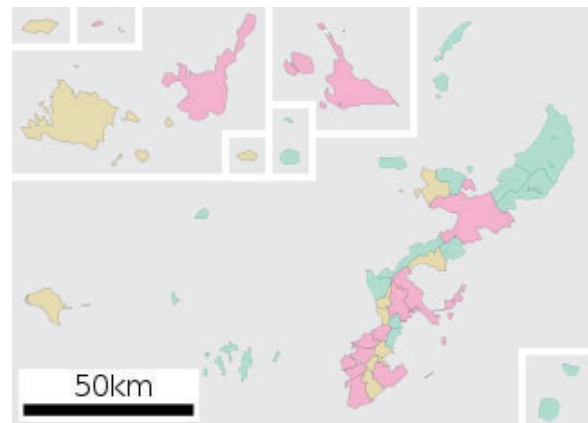


図3 沖縄県の地図

#### 1-1-3 気候

沖縄県は、日本国内における気候区分では南日本気候に属している。宮古島、多良間島、石垣島、西表島、与那国島、波照間島および沖大東島は熱帯性気候で熱帯雨林気候に、他の地域は、亜熱帯性で温暖湿潤気候に属する。

沖縄県各地方ともに高温多湿で年間降水量は 2,000mm 以上で、年間平均気温は約 22℃となっている。しかし、最高気温が 35℃を超える猛暑日になることはほとんどない。また、沖縄は陸地面積が狭く周りを海に囲まれ、特に毎年多くの台風が接近することから、塩害などの被害も多いことで知られる。

さらに、日射時間は全国平均と比較し夏は長く、冬は短い。日射量は全国平均と比較しても 6 月以降は高い。

### ①気温

全国と平均してかなり高く、特に夏季以外において、その差は顕著である。県内各地の気温の変化については概ね同じ傾向である。

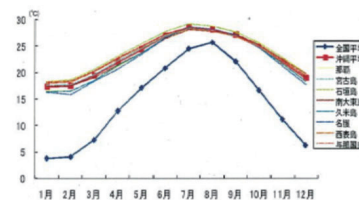


図4 沖縄県の気候

### ②降水量

沖縄地域は国内で最も台風の影響を受ける地域であり、降水量についても、全国平均と比較して多くなっている。

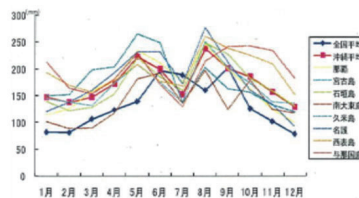


図5 沖縄県の降水量

### ③日射時間

沖縄地域の日射時間は、全国平均と比較して、夏季は長く、冬季は短い。

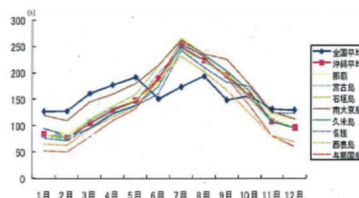


図6 沖縄県日射時間

### ④日射量

日射量は、すべての地区で近似した推移を示すが、南大東島が最も多い。

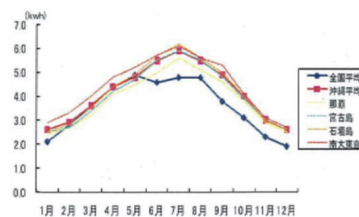


図7 沖縄県の日射量

### 1-1-4 人口

沖縄県の2019年の人口は約145万人で、毎年増加傾向にあり、都道府県別で東京都を抜き全国で最も人口増加率が高くなっている。地域別で見ると沖縄本島の中部と南部で増加し、沖縄本島北部と石垣島を除く離島の大部分で減少している傾向にある。

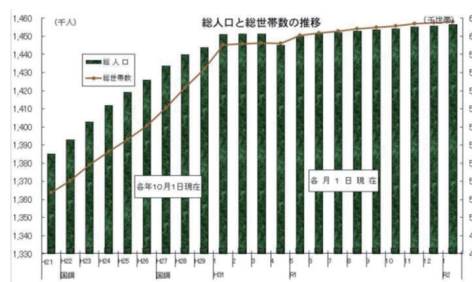


図8 沖縄県の人口推計

### 1-1-5 産業構造

沖縄県は日本屈指の観光立県でありサービス業が発達して県経済の中心となっている。2017年度における沖縄県の県内総生産（名目GDPの県内分）は前年度比1.6%増の4兆4141億円。9年度連続の増加。沖縄県の県内総生産（名目GDPの県内分）は2006年度以降で当年度が最大となっている。

2017年度の沖縄県の名目県内総生産(産業計)(44,358億円)に占める割合は第3次産業が81.7%と最も大きく、次いで第2次産業16.8%、第1次産業1.5%となっている。また、2017年度における沖縄県の1人当たり県民所得は前年度比1.5%増の235万円となっており5年度連続の増加している。

沖縄県の1人当たり県民所得は2006年度以降で当年度が最大となっており、全国47都道府県中47番目にあたる。全国平均の286万8000円と比較しても低く、失業率は日本一高い。

さらに、日本国内で生産または供給される商品に関し、輸送距離、手段の関係から時間・費用が嵩み、輸送費の分だけ県外に比べ割高となっており、そのため県内生産品を除き、平均小売価格は高めである。

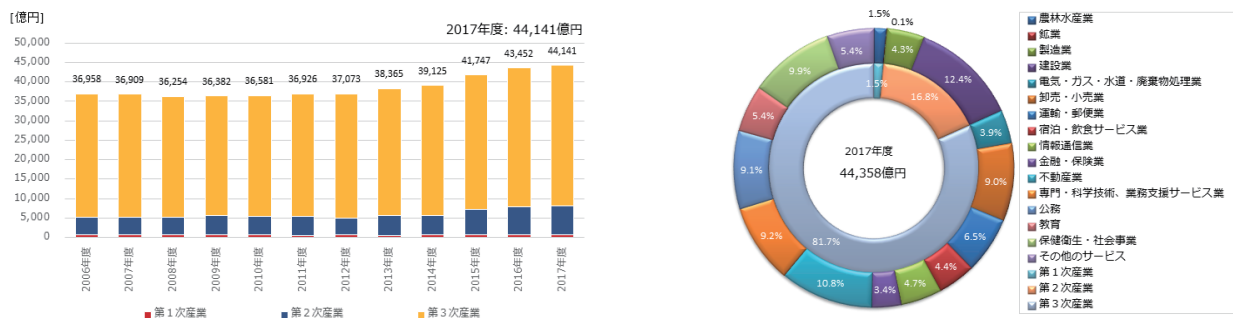


図9 沖縄県の県内総生産の推移(左)との内訳(右)

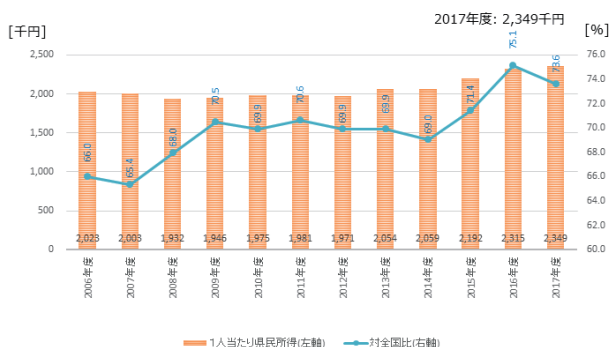


図10 沖縄県の一人当たりの県民所得の推移

### 1-1-6 その他（自動車保有台数）

沖縄県の2020年度（令和元年度）の自動車登録台数は約110万台で、乗用車が約41万台となっている。自動車保有台数は、総人口の増加に伴い年々増加しており、特に乗用車の伸びが他の車種と比べて大変顕著である。一方、次世代自動車のうち電気自動車（EV）は、2009年度に導入が始まり、2019年度までの推計登録台数は1,161台となっている。

なお、FCV（燃料電池自動車）は2018年に県内に初めて乗用車が3台導入されている。

表1 沖縄県における自動車登録台数の推移

年 月	登 録 自 動 車										届出自動車		計
	貨 物 車			乗 合 車		乗 用 車		特 種 車			軽自動車	小 型 二輪車	
	普通	小型	被牽引 牽引車	普通	小型	普通	小型	普通	小型	大型 特殊			
平成29年	26,857	38,336	3,310	1,962	1,806	139,793	256,479	12,694	2,797	2,217	635,654	18,982	1,140,887
30年	27,616	38,981	3,558	1,974	1,850	149,514	255,594	13,105	2,838	2,295	642,383	19,402	1,159,110
令和元年	28,146	39,570	3,900	1,968	1,858	159,413	255,125	13,493	2,894	2,363	649,761	19,933	1,178,424

出典：沖縄総合事務局陸運事務所 HP より

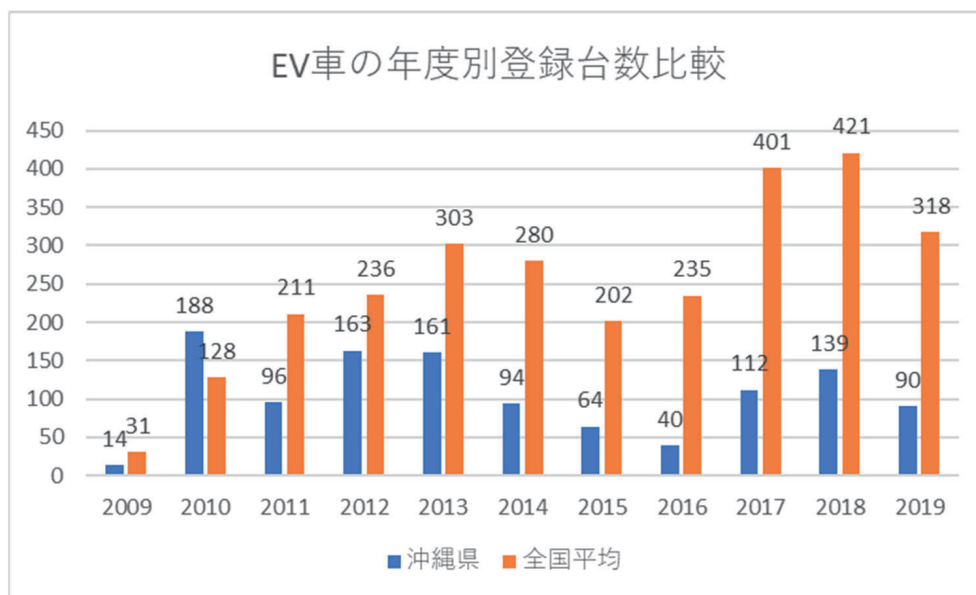


図11 沖縄地域における年度毎EV車登録台数と全国登録台数比較グラフ

出典：一般財団法人次世代自動車振興センターHP より

## 1-2 沖縄地域のエネルギー動向

沖縄地域のエネルギーの特徴として、電力供給の系統は小規模かつ独立であり、日本の他の地域からの電力融通がない。また、沖縄本島と系統が独立した離島も数多く存在し、各系統でそれぞれ独自にエネルギー・セキュリティーを確保することが求められる。日本の本土は一つの系統がカバーする範囲が広く、同じ系統内でも天候が異なることが起こり得るため、太陽光発電や風力発電といった出力変動電源の平準化が自然と起こりやすいが、沖縄地域は小規模であるが故に、系統内での気象条件がほぼ一定であることから、自然変動電源による影響を受けやすい。

沖縄地域は地理的・地形的・需要規模の制約から原子力や水力の開発が物理的に困難な状況にある。太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入量は全体と比較すると小さく、石油や石炭といった化石燃料に対する依存度が全国と比較して高い。風力発電の賦存量は豊富にあるが、極地風速が大きい地域であり、安全性での規制によって、現状では新規導入が難しい状況にある。

また、周辺を海に囲まれており、海洋再生エネルギー利用の活用可能性が高い。一方で、波力発電、海洋温度差発電等の技術は実証段階に留まる。

一方、需要側では、域内生産額の増加、人口増加、自動車保有台数の増加など、県内の活動量は増加傾向にあり、それに伴って最終エネルギー消費量も民生部門・運輸部門を中心に増加傾向を示している。

さらに、沖縄県は自家用車が中心の車社会であり、自動車燃料由来のエネルギー消費量の占める割合が国内で最も大きい。民生部門のエネルギー消費量においても、石油等の直接燃焼利用の割合が比較的高い。近年は民生家庭部門にてオール電化住宅が進んでいる傾向が見られる。

### 1-2-1 エネルギー供給量

「港湾統計(年報)」(国土交通省)の品種別都道府県別表の中からエネルギー関連製品である、石炭(石炭、石炭製品、コークス)、石油(重油、原油、石油製品)、LNG(液化天然ガス)、LPG(液化石油ガス)の移輸出入量を求め、沖縄県の一次エネルギー供給量を推計した。

2018年度の一次エネルギー供給量の合計は129,460TJであり、そのうち石油が約46%、石炭が約39%、LNGが約11%、LPGが約4%割合なのである。

また、一次エネルギー供給量の推移としては、石炭については、1994年度頃から急激に増加しているが、1994年度から具志川火力発電所、2002年度からは金武火力発電所が運用開始となったことが主な要因である。2011年度をピークに減少傾向にあるが、CO<sub>2</sub>排出原単位が大きいため、LNG火力の稼働や再生可能エネルギーの整備に伴い代替が進んでいることが要因として挙げられる。石油については年度ごとの変動は激しいものの、長期的に見ると減少傾向にある。LNGについては、2012年度から運用開始の吉の浦火力発電所への供給に加え、2015年度のイオンモール沖縄ライカム以降、中部徳洲会病院、沖縄ハム、沖縄ガス等へのLNG供給が開始されたことが影響し、増加傾向にある。

また、少量ながらLPG(液化石油ガス)の供給量も微増傾向にある。

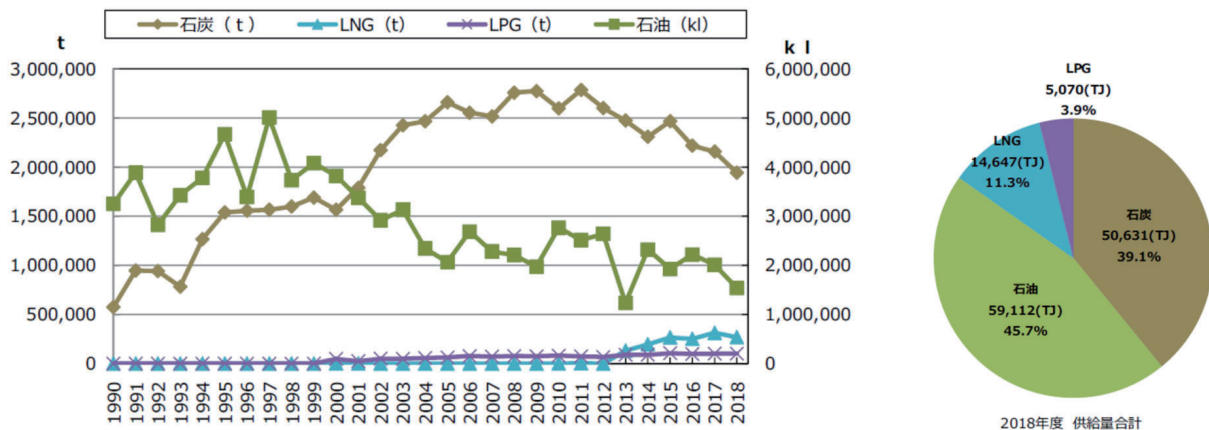


図 12 沖縄県の燃料種別一次エネルギー供給量の推移（左）と割合（右）

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」より

### 1-2-2 エネルギー消費量

沖縄県の最終エネルギー消費量について、部門別にみると、運輸部門（自動車）燃料の割合が最も大きく、全体の 39%である。次いで民生業務部門が 31%、民生家庭部門が 17%の内訳となっている。2013 年度から 2017 年度にかけて、産業部門は非製造業・製造業共に減少しているが、その他の部門については横ばいかまたは微増している。

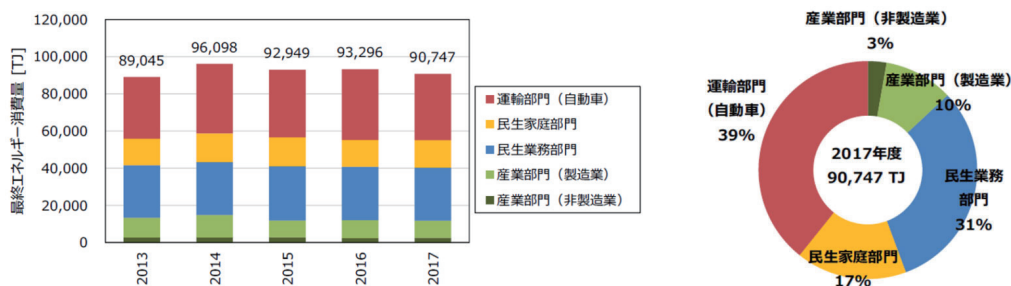


図 13 沖縄県の最終エネルギー消費量の推移（左）と消費量の構成（右）

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」より

### 1-2-3 民生部門・運輸部門エネルギー消費量

民生業務部門のエネルギー消費量は、増加傾向を続けており、2017 年度には 1990 年度比で約 1.8 倍となっている。近年は省エネの取組が進んでおり、増加の傾向はやや緩やかである。2017 年度の消費量は 28,453TJ であり、そのうち電力の構成比が最も大きく 51%、次いで石油・石油製品が 28%、都市ガスが 14%である。石油・石油製品および LPG の消費量は 1990 年度からほぼ横ばいで推移しているのに対し、電力および都市ガスの消費量は増加傾向を示している。特に電力消費量については、1990 年度から 2017 年度にかけて 2.1 倍の増加となっている。

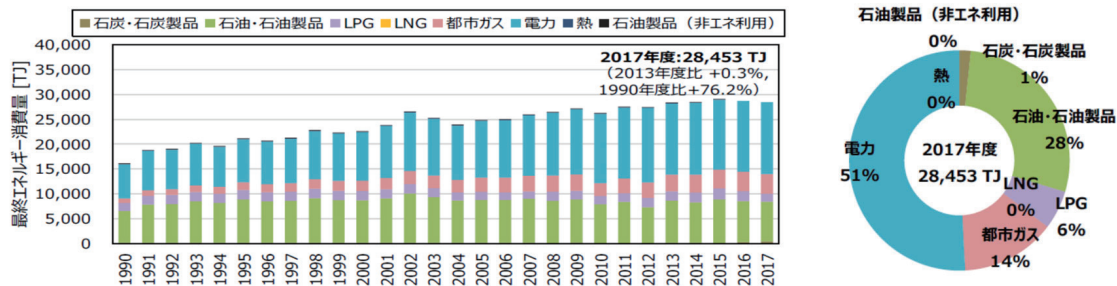


図 14 民生業務部門の最終エネルギー消費量の推移 (左) と構成 (右)

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」より

民生家庭部門のエネルギー消費量は、緩やかに増加傾向を示している。2017年度の消費量は14,865TJであり、そのうち電力の構成比が最も大きく69%、次いでLPGが22%、石油・石油製品が6%である。近年は省エネの取組が進んでおり、増加の傾向はやや緩やかであるが、年度によって消費量のばらつきが大きい。特に電力消費量は他の燃料消費量と比較して大きく増加しており、1.6倍の増加となっている。

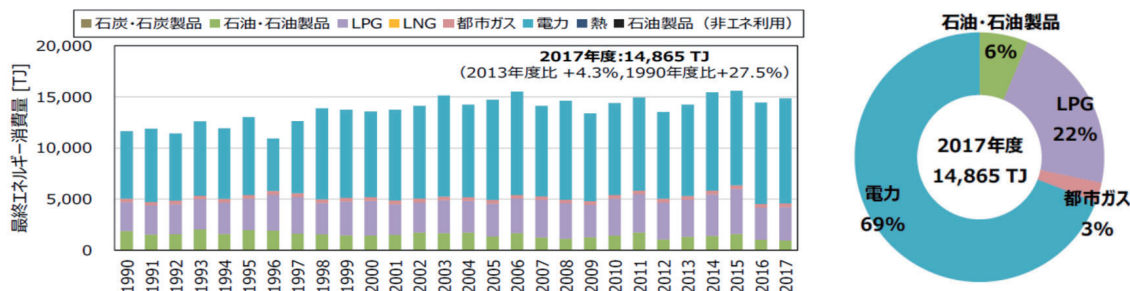


図 15 民生家庭部門の最終エネルギー消費量の推移 (左) と構成 (右)

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」より

運輸部門（自動車）のエネルギー消費量は、近年はほぼ横ばいの傾向を示している。2019年度の消費量は35,437TJであり、そのうちガソリンの構成比が最も大きく77%、次いで軽油が20%、LPGが3%である。沖縄県は、人口と共に自動車保有台数についても増加傾向にあり、省エネを阻害する要因となっている。

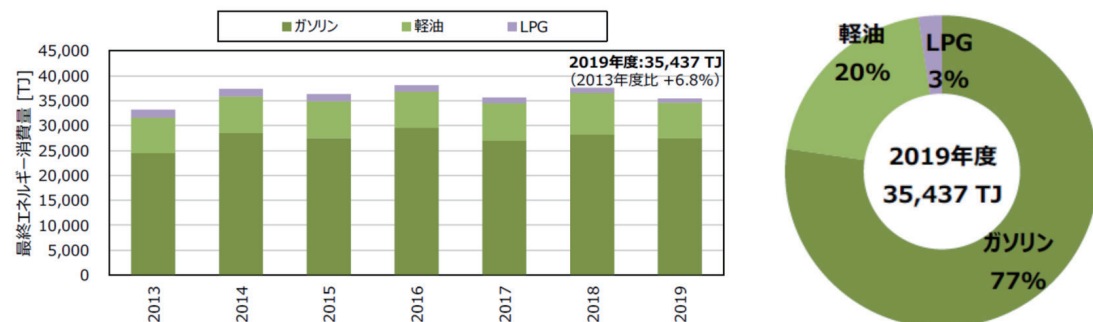


図 16 運輸 (自動車) 部門の最終エネルギー消費量の推移 (左) と構成 (右)

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」より

### 1-2-4 再生可能エネルギー動向

沖縄県内の再生可能エネルギー導入状況としては、2009年11月に太陽光発電の「余剰電力買取制度」が運用を開始し、それまで県内でほとんど導入されていなかった太陽光発電の設置が進んだ。2012年7月からは「固定価格買取制度」がスタートし、太陽光発電はより一層の導入拡大を見せたが、近年は買取価格の低下も相まって太陽光発電導入の伸びは鈍化傾向にある。導入容量でみると、太陽光発電以外の再生可能エネルギー電源の導入容量は大きな伸びは見せていない。特に、風力については、極地風速の規制が厳格化されたことで、導入拡大が困難な現状にある。

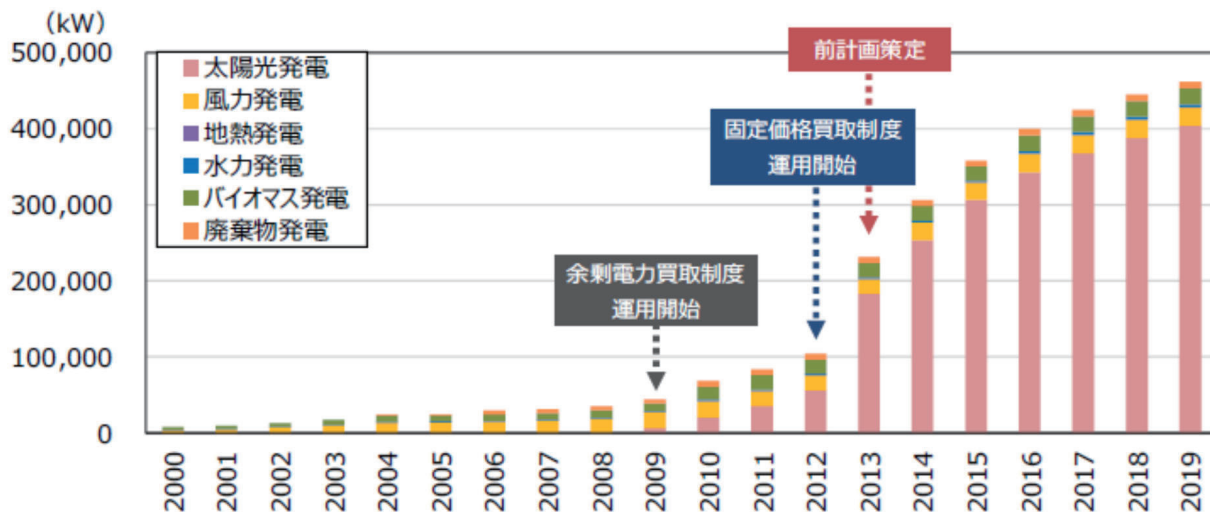


図 17 沖縄県における再生可能エネルギー電源の導入容量(kW)の推移

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」より

県内の再生可能エネルギー電源による系統への電力供給量は、2019年度で479,528MWhである。これは、沖縄県の系統の6%程度に相当する。

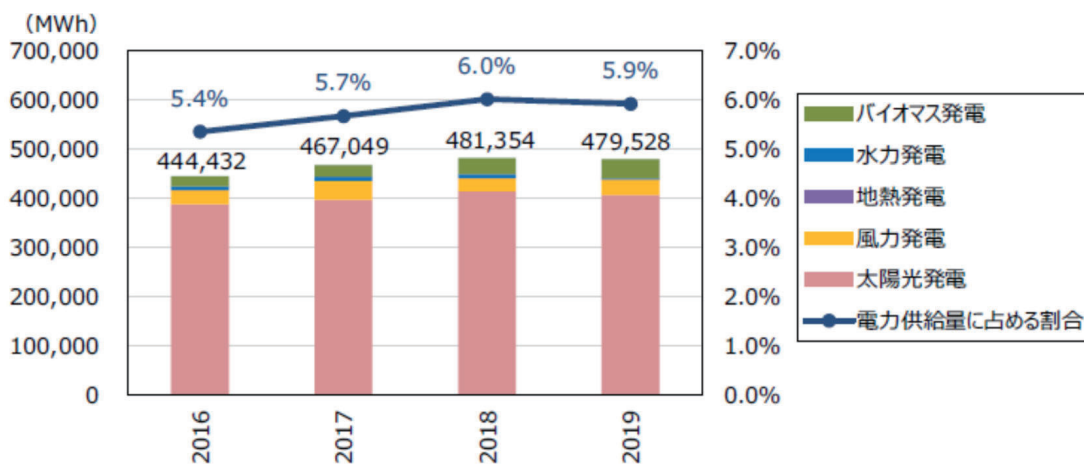


図 18 沖縄県の電源系統における再生可能エネルギー電源の電力供給量

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」より

### 1-2-5 水素エネルギー利用状況

沖縄県における水素エネルギー利用は少なく、本田技研工業(株)が宮古島市においてパッケージ型の水素製造・貯蔵・充てん装置「スマート水素ステーション (SHS)」と燃料電池自動車 (FCV ; Fuel Cell Vehicle) のクラリティ 3 台 (2 台 2017 年、1 台 2019 年) の試験運用 (塩害地域での運用試験) として導入されている。

この試験運用では、宮古空港を拠点に貨物ターミナルに出力 83kW の太陽光発電システムと、容量 218kWh の蓄電池設備を設置し、貨物地区の使用電力の 78%が賄えるほか、既存の太陽光発電システムに SHS をつなぎ、CO2 排出のない水素製造とクラリティの運用、クラリティの発電電力を外部給電する内容となっており、宮古島の海に近い塩害環境が過酷な中で、SHS の耐塩性等を検証することとなっている。



図 19 稼働を開始した宮古空港のスマート水素ステーションとクラリティ

出典: 本田技研工業株式会社 HP より

## 2. 国内外における水素エネルギー利活用の動向

### 2-1 水素エネルギーに関する基礎的な情報

現在、世界各国が地球温暖化に伴う、環境負荷軽減に取り組む中、水素エネルギーは環境負荷の少ないエネルギーとして注目が高まっている。水素は主に工業原料として用いられているが、一般的には必ずしも馴染みが深いものではない。ここでは、水素への基本的な理解を得るため、水素の特徴、水素エネルギー社会、製造方法、輸送・貯蔵、そして利用について述べる。

#### 2-1-1 水素の基本

水素とは、原子番号1の元素で元素記号はHであり、通常、原子が2つ結びついた水素分子(H<sub>2</sub>)の形をとる。無色、無臭で、地球上最も軽い気体であり、水素分子の状態として存在することはほとんどないが、水などのように他の元素との化合物として地球上に大量に存在する。特徴について以下にまとめる。

- ・宇宙で最も豊富にある元素。質量では宇宙全体の約70%を占める。
- ・水素単体では自然界にほとんど存在せず、地球上では化合物として存在する。
- ・無色、無味、無臭の気体。
- ・最も軽い気体。
- ・燃えても火炎がみえにくい。
- ・燃焼すると酸素と反応して水になる。
- ・-252.6℃で液化する。

また、水素の工業原料としての用途は多岐にわたっており、例えば、石油の精製における原油に含まれる硫黄分の除去、半導体製造における雰囲気ガス、金属冶金や樹脂生成製造における還元剤などが様々な用途で活用されている。

この他に、エネルギー用途としては、ロケットの燃料として液化水素が活用されているほか、水素イオンを利用したニッケル水素電池、現在注目されている次世代エネルギーとして燃料電池の燃料としての活用が注目されている。

#### ①燃料電池の原理

燃料電池は、水の電気分解の原理を利用し、水素と酸素を化学反応させて直接電気を発生させる装置である。

一般的な発電方法では、石油、石炭、ウランなどの燃料を燃やして水を沸騰させ、蒸気力で発電機を回して電気を作り、熱エネルギー→運動エネルギー→電気エネルギーと形態が変わるが、燃料電池では、化学エネルギーから電気エネルギーと燃料から直接電気エネルギーを作る原理となっている。

燃料電池装置内では、水素ガスを燃料電池本体に送ると、マイナス電極で水素イオンと電子に分離し、水素イオンは電解質層を伝ってプラス電極へ移動し、電子は外部回路を通過してプラス電極へ電流として流れる仕組みとなっており、プラス電極では、外部から供給された酸素が、外部回路を流れてきた電子を受け取って酸素イオンとなり、水素イオンと結合して

水が発生する仕組みとなっている。

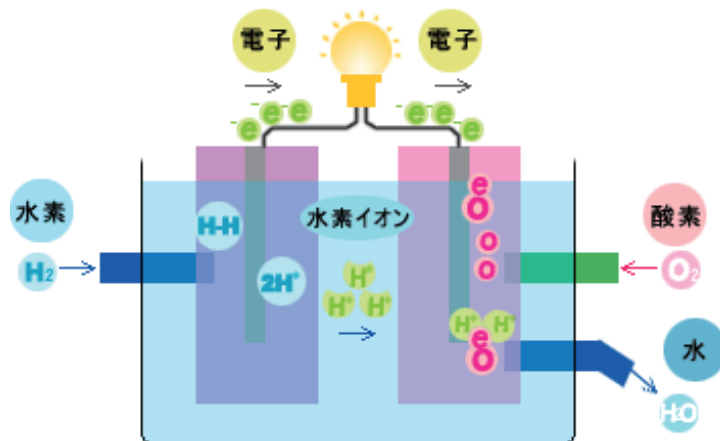


図 20 燃料電池の仕組み

燃料電池の特徴として、以下の特徴を挙げる。

- ・排出ガスには、環境汚染物質がほとんどなく振動や騒音も少ないためビルの内部や市街地にも設置可能。
- ・水素を取り出すのに天然ガス、メタノールなど各種の燃料が使えるが、水素製造時に二酸化炭素が排出される。
- ・排熱利用（冷暖房や給湯）とあわせてエネルギー効率を高くできる。
- ・低コスト化，電池寿命の延伸，信頼性の向上の課題がある。

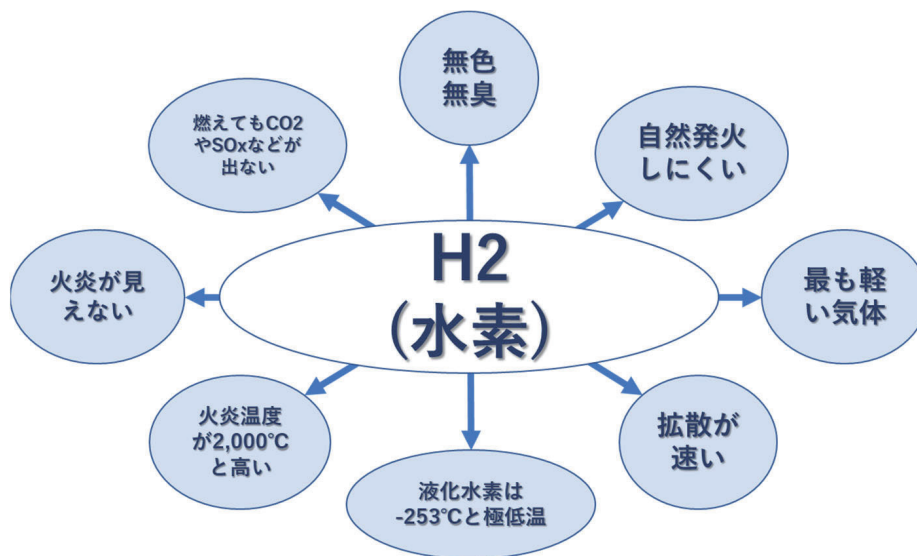


図 21 水素の特徴

## ②次世代エネルギーとしての利用

燃料電池は大型のものは発電施設として、中規模のものは地域コミュニティやオフィスビルなどに、小規模なものは家庭などに備えつけられて、電気と熱を供給できる。さらに小型のものは自動車や船舶などの駆動源に使える。現在、様々な場所で燃料電池が活躍できるよう、さらなる技術開発と普及に向けた標準化などが進められている。

メリット1：電気と同時に熱も利用でき、総合エネルギー効率が高い。

メリット2：発電の際には水しか排出されず、振動も騒音もない。

メリット3：都市ガス、メタノールなどの燃料や水の電気分解など様々な方法で燃料となり水素を取り出すことができる。

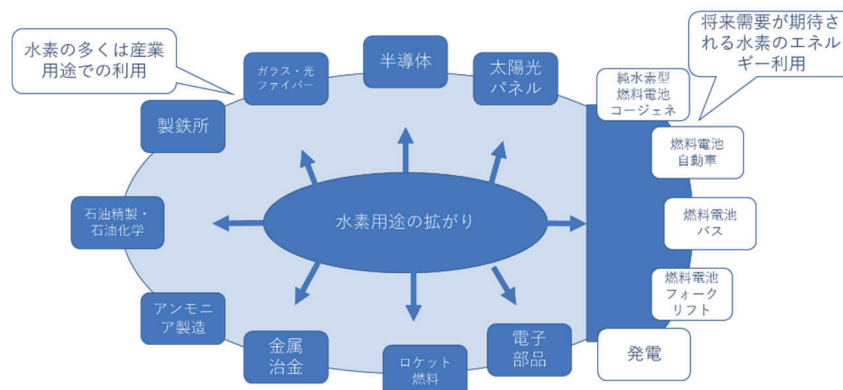


図 22 水素の利用用途

## ③世界での水素の位置づけと現状

世界では、温暖化対策として「脱炭素化」への取り組みが加速する中、CO<sub>2</sub>を排出しない特性から再生可能エネルギーと共に水素エネルギー利用が注目され、さまざまな国・企業・団体が、水素の持つ可能性に期待を向けている。

その流れをうけ、2017年ダボスで「水素協議会」が立ち上がり、国内の5社がステアリングメンバーとして加入、その流れをうけ、2018年に経済産業省、NEDOも閣僚会議へ参加し、水素が将来的ビジネスとして自立を目指すための「東京宣言」を発表した。2019年12月5日に開催された国際エネルギー機関（IEA）の閣僚理事会では、「水素」を取り上げたサイドイベントが開催された。その中で、日本からは経済産業副大臣が共同議長のひとりとして参加、基調講演もおこなっている。また、イベントでは、IEAのレポートで示された、長期的な水素の役割などの提言について議論を行い、成果文書には、「日本のリーダーシップを歓迎する」、「長距離を走る乗用車やトラックにおける水素利用の支援、国際的な水素の取引開始など、水素のスケールアップに向けた取り組みを支持する」などの文言が発表された。

また、現在欧米等においても、水素エネルギー利活用の促進に向けて、必要な技術開発や導入支援等の支援策が積極的に講じられている。欧州連合では、重点5分野に「燃料電池・水素」が位置づけられ、官民連携の下、研究開発実証等が実施されている。アメリカでは、米国エネルギー省（DOE）を中心に燃料電池・水素プログラムを推進している。さらに、その他の国々でも「燃料電池・水素」に関する取組が実施されている。

なお、海外では、乗用車、トラック、バス、列車、フォークリフト等の多様な車両燃料としての活用が位置づけられている。

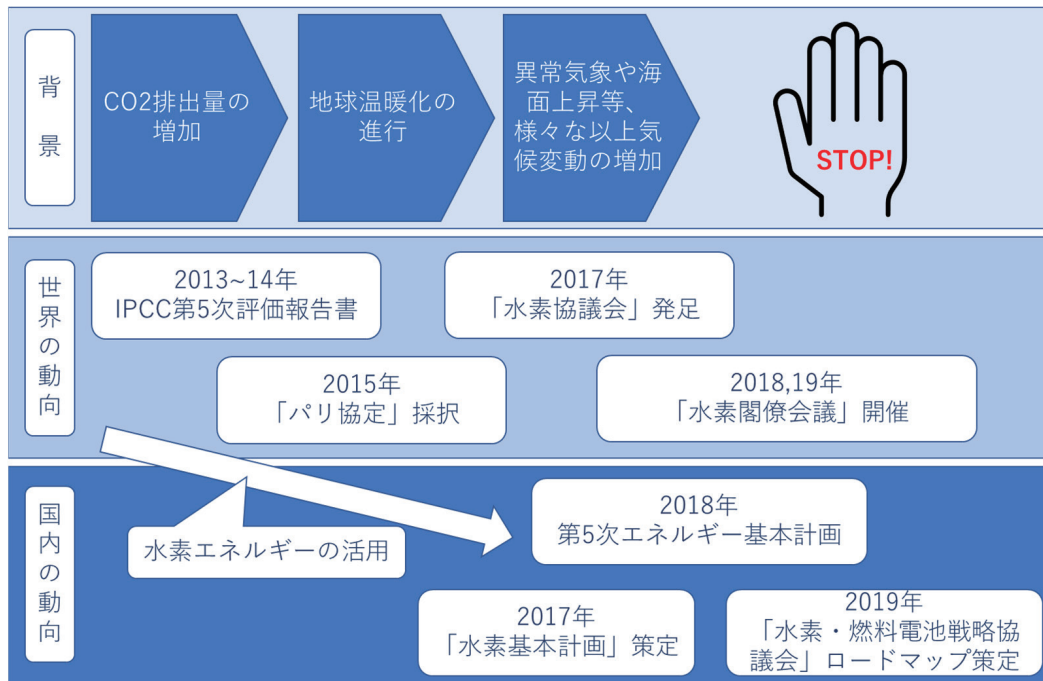


図 23 水素エネルギー活用の背景と動向

表 2 水素エネルギーの海外の動向

項目	米国・カナダ	欧州	中国	韓国	オーストラリア	その他
ロードマップ発表	—	◎	—	◎	◎	—
FCV・モビリティ	◎ FCトラックの取組が活況。FCフォーク導入台数2万台突破。	◎ FC列車が世界初走行。その他FC船、多様なモビリティをFC化。	◎ バス、トラック等FC商用車導入を推進。	◎ ヒュンダイの国内外でのFCV、商用車導入の動きが活発。	—	○ インド・東南アジアでのFCバス実証等が始まる。
水素ステーション	○ カリフォルニア州で2024年までの水素ステーション建築計画発表	○ ドイツでは50箇所の水素ステーションを開設、欧州全体で約120箇所開設。	◎ FCモビリティ導入加速をうけ、水素ステーション建設も加速。	◎ FCモビリティ普及に向け官民一体の水素ステーション挿入を推進。	—	—
水素サプライチェーン	—	—	—	—	◎ 研究開発・実証が進む。	—
CO2フリー水素(P2G)	○ アメリカでもP2Gの実証が始まる。	◎ P2Gの取組は実証事業数、多様性で他地域より先行。	—	—	◎ 水素輸出国としての地位確立に向け、研究開発・実証が進む。	—
動向のまとめ	昨年に引き続きFC商用車・FCフォークを中心に取組が活発	FCバスの実証や船舶等モビリティへの導入とP2Gの大規模化。	政府・地方の政策支援下、FC商用車導入の動きが活発化	ロードマップの発表。モビリティ、水素ステーション関連の動きが活発。	水素輸出国としての世界的な地位確立を政府が主導で推進、取組強化。	—

#### ④日本国の水素の位置づけと現状

世界で、水素エネルギー利用が注目される中、日本では、水素エネルギーの推進や燃料電池自動車の実用化は、政策として位置付けられている。理由には、水素が将来の二次エネルギーの中核として位置付けられている。期待される点として、エネルギー・セキュリティー、環境対策、産業振興という3つのポイントが挙げられる。

水素エネルギーの導入推進は、2014年4月に策定されたエネルギー基本計画で定められた3E+Sと国際化推進、国際市場の開拓と経済成長に貢献するものと言われている。

日本は、90%以上の一次エネルギーを海外から輸入する化石燃料に依存しており、常に国際情勢の影響を受けやすい等のリスクを抱えている。水素は、未使用エネルギーや、再生可能エネルギーなどを用いて製造できる可能性があり、地政学的なリスクを受けにくい地域から安価にエネルギー源を調達することを可能とする。水素エネルギーを活用した社会構築が図られることで、エネルギーコストを抑制しつつ、エネルギー調達先の拡大に繋がることも期待される。

また、太陽光や風力などの再生可能エネルギーの導入が拡大することで、季節や時間帯によって余ったエネルギーから水素をつくることも可能になり、国内の資源を水素の原料として活用すれば、国内のエネルギー自給率向上にも繋がることとなる。

さらに、環境面では水素エネルギーは利用時にCO<sub>2</sub>を排出しないエネルギーとして、CO<sub>2</sub>削減などの環境対策、脱炭素化社会の実現に役立てることができる。このことから、水素の製造時にCO<sub>2</sub>を回収し地中に貯蔵する技術と組み合わせCO<sub>2</sub>を抑制することが検討されている。加えて、生ごみや植物など大気中のCO<sub>2</sub>量に極力影響を与えないカーボンニュートラルなバイオマス燃料を原料に水素をつくれば、大気への影響も抑えることができる。再生可能エネルギーを使用して水素をつくれば、CO<sub>2</sub>を全く排出しない「CO<sub>2</sub>フリー」エネルギーとして活用することが期待されている。

なお、産業振興の面でいくと、経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」では水素・燃料電池関連の市場規模は日本だけでも2030年に1兆円程度、2050年に8兆円程度に拡大すると試算されており、将来的に大きく成長する分野として期待されている。その中で、日本の燃料電池分野の特許出願件数は世界1位で、2位以下の欧米をはじめとする諸外国と比べて5倍以上と大きな差があり、水素エネルギー利活用分野における現時点での日本の競争力は高い。このことから、水素社会の実現を進めることで、日本の産業競争力の強化に繋がることが期待されている。

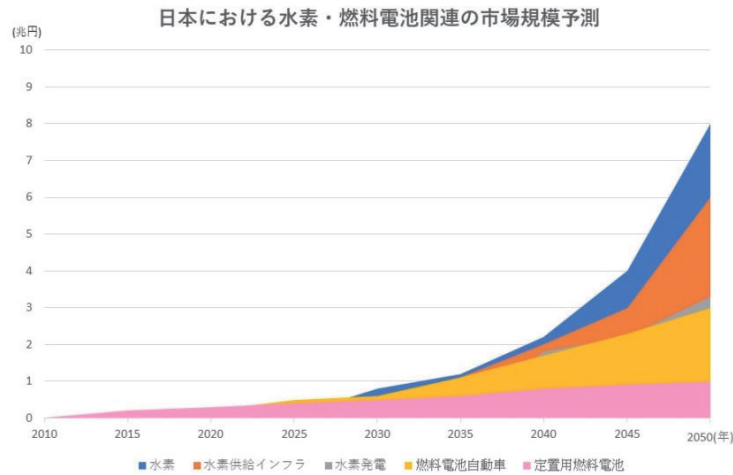


図 24 日本における水素・燃料電池関連の市場規模予測

出典：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」より（経済産業省）

2017年12月、当時の政権の元で世界に先駆けて水素社会を実現すべく、「水素基本戦略」が策定されている。水素基本戦略とは、2050年を視野に、将来目指すべきビジョンであると同時にその実現に向けた2030年までの行動計画である。

現在、この基本戦略等で掲げた目標を確実に達成し水素社会を実現するためには、クリアすべき課題が多い。例えば、水素発電技術の確立、燃料電池自動車(FCV)やFCバス、エネファーム等における燃料電池システムのコストダウン等が挙げられる。水素タンクや燃料を充てんするための水素スタンド等をはじめとする水素インフラにおいては、各省庁からの規制が多く、実用化するまでに時間がかかるといった問題が挙げられている。そのため、政府ではこれらの課題解決のため、2018年7月に策定された第5次エネルギー基本計画及び、同年10月に策定された「東京宣言」の内容を踏まえ、2014年に策定、2016年に改定したロードマップを大幅に改訂し、2019年3月に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を策定した。今後、政府はロードマップに沿って水素社会の実現を着実に目指すこととしている。

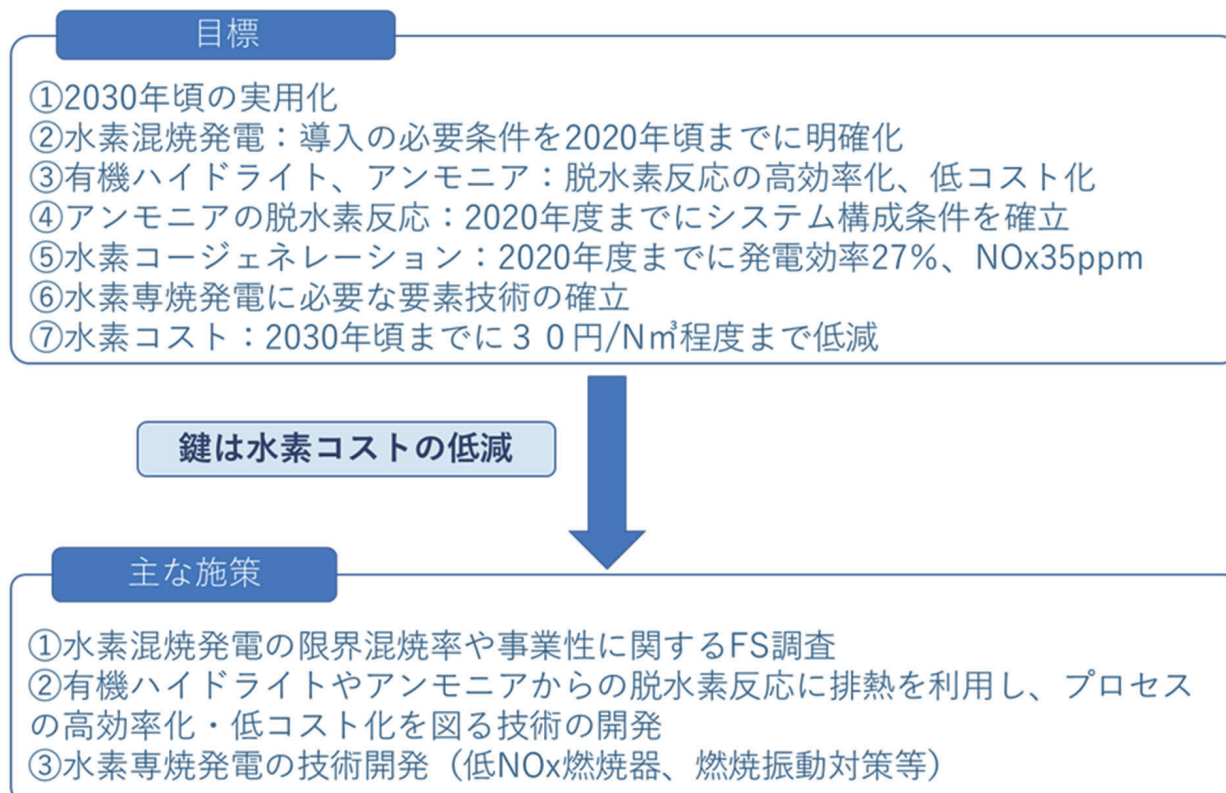


図 25 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に掲げる目標と主な施策

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の中で、先に挙げた燃料電池自動車(FCV)や燃料電池バス等の自動車を、2025年から本格的に普及させると共に、水素ステーションの整備や運営に掛かるコストを大幅に削減するため、量産技術の確立や規制改革を徹底的に行う方針が謳われている。燃料電池自動車(FCV)の普及については、2025年に20万台、2030年に80万台の普及を目指し、ハイブリッド車との価格差を70万円程度まで引き下げる。一方、水素供給については、2030年に30円/Nm<sup>3</sup>、将来的に20円/Nm<sup>3</sup>程度に引下げ。輸送技術の向上の為の研究を進めると記載されている。

また、将来の水素大量消費社会の実現に向けた技術の確立のために、研究開発・技術実証を加速させるとしている。

なお、電力分野における水素発電は、天然ガス火力発電等と同様に再生可能エネルギー導入拡大に必要となる調整電力・バックアップ電源として、大きく期待されている。具体的には、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、17円/kWhのコストを目指す」としている。そのために、1GWの発電容量に相当する年間30万t程度の水素の調達を目安に、「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を目指す」とされ、現在研究開発が行われている。

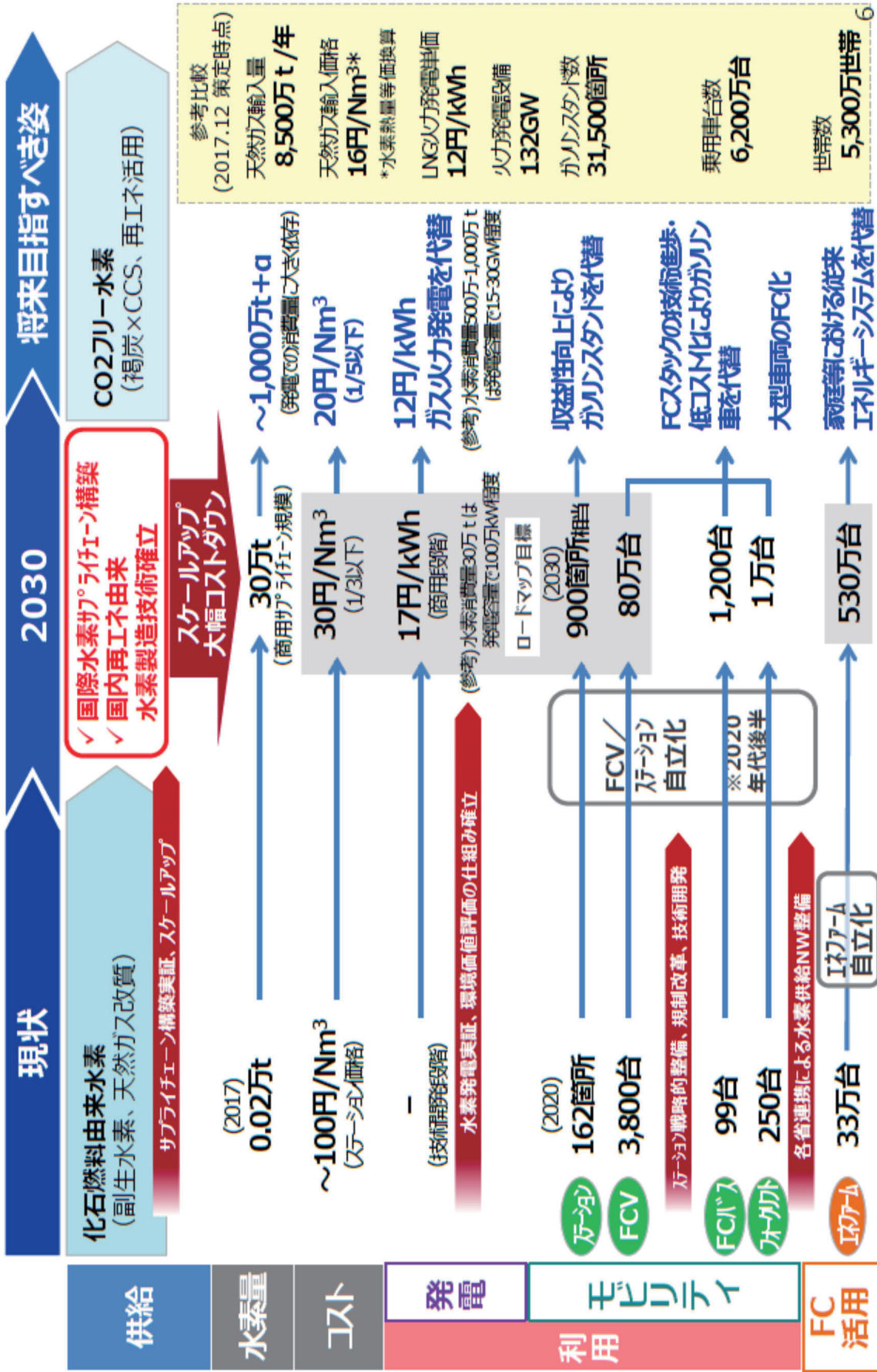


図 26 水素基本戦略における達成目標  
出典：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省）

● 基本戦略等で掲げた目標を確実に実現するため、

- ① 目指すべきターゲットを新たに設定(基盤技術のスパック・コスト内訳の目標)、達成に向けて必要な取組を規定
- ② 有識者による評価WGを設置し、分野ごとのフォローアップを実施



図 27 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」のアクションプラン

出典：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省）

# アクションプランのポイント① <水素利用（モビリティ）>

赤字は新規目標等

‘25年～の本格普及期に向けたコスト大幅削減のため、量産技術の確立、徹底的な規制改革

## 目指すべきターゲット

## ターゲット達成に向けた取組

	目指すべきターゲット	ターゲット達成に向けた取組
FCV	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2025年20万台、2030年80万台</li> <li>● 2025年頃にFCVをHV並の価格競争力へ価格差低減 (FCVとHVの価格差300万円→70万円)</li> <li>● 2025年頃に主要な要素技術のコスト低減 〔燃料電池システム約2万円/kW→0.5万円/kW 水素貯蔵システム約70万円→30万円〕</li> <li>● 2025年にボリュームゾーン向け車種展開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 関係企業・研究機関等の間での協調領域の技術情報や課題の共有</li> <li>● 貴金属の使用量低減等に向けた技術開発</li> <li>● 水素貯蔵システムにおける炭素繊維の使用量低減等に向けた技術開発</li> </ul>
水素ST	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2025年320箇所、2030年900箇所相当</li> <li>● 2020年代後半の自立化</li> <li>● 2025年頃までの整備費・運営費の抜本的な削減 (整備費3.5億円→2.0億円、運営費3.4万円/年→1.5万円/年)</li> <li>● 個別機器の2025年頃のコスト目標の設定 (圧縮機0.9億円→0.5億円 蓄圧器0.5億円→0.1億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 徹底的な規制改革と技術開発の一体的な推進 (2020年以降)までに無人物の実証、低コスト鋼材の使用等)</li> <li>● 全国的な水素ステーションネットワーク構築の検討</li> <li>● 営業時間・土日営業の拡大</li> <li>● ガソリンスタンド/コンビニ併設ステーションの拡大</li> </ul>
バス	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2030年1,200台</li> <li>● 普及地域の全国拡大</li> <li>● 2020年代前半の車両価格の半減(1億500万円→5,250万円)</li> <li>● 2030年頃までに自立化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 燃費・耐久性向上に向けた技術開発</li> <li>● 路線バス以外への車種展開</li> <li>● バス対応ステーションの整備促進</li> </ul>
フォークリフト	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2030年1万台</li> <li>● 海外市場への展開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 燃料電池ユニット等の多用途展開</li> <li>● 簡素で運用が容易な充填設備の整備促進</li> </ul>

※上記の他に、トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める

図 28 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」のアクションプラン（水素利用（モビリティ））

出典：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省）

# アクションプランのポイント② <水素サプライチェーン>

赤字は新規目標等

将来の水素大量消費社会に向けた技術の確立のため、研究開発・技術実証を加速化

## 目指すべき水素供給社会

- 2030年頃に30円/Nm<sup>3</sup>、将来的に20円/Nm<sup>3</sup>を目指す
- LNG価格の推移を考慮して従来エネルギーと遜色ない水準まで低減  
(LNG価格10\$/MMBtuの熱量等価での水素コストは13.3円/Nm<sup>3</sup> (環境価値含まない))



- 資源国等との政府間レベルでの関係構築による水素供給網の拡大
- 水素コスト低減に向け、製造、貯蔵、輸送まで二気通貫の基盤技術の開発

## 目指すべきターゲット

ターゲット達成に向けた取組

- 2030年頃の水素供給コスト30円/Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>の実現に向け、日豪褐炭水素プロジェクトの成果を踏まえ、2020年代前半に達成すべき基盤技術の目標を設定

化石燃料 + CCS

水素サプライチェーン

- <製造>
  - ✓ 褐炭ガス化による水素製造コストの低減 (褐炭水素PJでの製造コスト数百円/Nm<sup>3</sup>→12円/Nm<sup>3</sup>)
- <貯蔵・輸送>
  - ✓ 水素液化効率の向上 (褐炭水素PJでの液化原単位13.6kWh/kg→6kWh/kg)
  - ✓ 液化水素タンクの大型化 (褐炭水素PJでのタンク容量数千m<sup>3</sup>→5万m<sup>3</sup>)
- <CCS>
  - ✓ CO<sub>2</sub>分離回収コスト低減 (日本でのコスト4,200円台/t-CO<sub>2</sub> →2,000円台/t-CO<sub>2</sub>)

再生水素

- 世界最高水準の再生水素製造技術の確立 (水電解装置が1kW: 20万円/kW→2030年5万円/kW) (エネルギー消費量: 5kWh/Nm<sup>3</sup>→2030年4.3kWh/Nm<sup>3</sup>)
- 褐炭ガス化の大型化・高効率化に向けた技術開発
- 高効率な水素液化を可能とする革新的な液化機構造 (非接触軸受) の開発
- 高い断熱性を備えたLNG並の大型タンクが製造可能となる技術の開発
- 低コストなCO<sub>2</sub>回収技術(物理吸収法等)の開発
- 福島県浪江での実証成果を活かした、社会実証に向けたモデル地域実証の展開
- 水電解装置の高効率化、耐久性向上に向けた技術開発
- 地域資源を活用した水素サプライチェーン構築

図 29 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」のアクションプラン (水素サプライチェーン)

出典: 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(経済産業省)

# アクションプランのポイント③<その他水素利用・グローバルな水素社会実現>

赤字は新規目標等

水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り／グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

## 目指すべきターゲット

## ターゲット達成に向けた取組

### 発電

- 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立
- ✓ 既設火力発電での水素混焼発電の導入条件明確化
- ✓ 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%)  
※1MW級ガスタービ

### 産業

- 限界混焼率、事業性等に関するFS調査の実施
- 高効率な燃焼器等の開発
- 各産業プロセスにおけるCO2フリー水素の活用・供給ポテンシャル調査の実施
- カーボンサイクル技術の実用化に向けた検討

### 定置用燃料電池

- エネアーム
- 2020年頃の自立化、2030年までに530万台
  - 2020年頃までにPEFC型80万円、SOFC型100万円を実現
  - 2030年頃までに投資回収年数を5年とする
- 業務・産業用燃料電池
- 2025年頃に排熱利用も含めたグッドパワイの実現  
〔低圧：機器50万円/kw、発電コスト25円/kwh〕  
〔高圧：機器30万円/kw、発電コスト17円/kwh〕
  - 発電効率、耐久性の向上  
〔2025年頃に55%超→将来的には65%超〕  
〔9万時間→2025年頃に13万時間〕

### グローバルな水素社会実現・国民理解等

- 水素閣僚会議で発表した東京宣言の実現を図る
- ✓ 基準や規制の標準化やハーモナイゼーションの促進
- ✓ 国際的な共同研究開発の推進
- ✓ 水素利用のポテンシャル調査
- ✓ 水素受容性向上のための教育・広報活動の推進
- 米・独・仏等との規制の比較、事故情報の共有
- 日本のサプライチェーン実証の成果共有による資源国の巻き込み
- 2020年オリパラ、2025年大阪万博等のあらゆる機会を捉え、最先端水素技術を発信
- 革新的な技術開発の実施

図 30 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」のアクションプラン（その他水素利用・グローバルな水素社会実現）

出典：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省）

⑤沖縄県の水素の位置づけ

沖縄県では、これまで発表してきた「沖縄県エネルギービジョン」及び「エネルギービジョンアクションプラン」に加え、直近のエネルギー事情も加味し新たな「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」を発表している。

その中での水素エネルギーについても触れられており、位置づけとしては2050年を見据え、次世代エネルギーの利用として、モビリティ部門での活用が期待されるとある。

その水素エネルギーのアクションプランロードマップは以下のとおり。

表3 「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」での水素アクションプラン

出典：「沖縄クリーンエネルギー・イニシアチブ」（沖縄県）

重点プロジェクトと チャレンジプロジェクト	ロードマップ										基本方針1	基本方針2	基本方針3	基本方針4	基本方針5		
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
チャレンジ1 水素の利活用促進チャレンジ																	
水素利活用戦略 の策定	水素関連事業拡大 に向けた現状調査		水素エネルギー政策の研究会・協議会を設置			水素利活用戦略の策定				水素利活用戦略に基づいた 実証事業の実施				○	○	○	○
水素の供給体制 の構築	再エネ由来の水素供給体制の構築										○						
	水素ステーションの整備促進																
水素の利用拡大	県有施設への燃料電池の導入推進、 公用車におけるFCV導入推進										○	○					
	燃料電池、FCVの普及啓発活動																
水素社会実現の ためのモデル構築	沖縄県における水素サプライチェーン 構築に向けた検討					実証事業			水素タウンモデルの創出				○	○	○	○	

このロードマップでは、チャレンジ1の水素の利活用促進チャレンジとして、「水素利活用戦略の策定」、「水素の供給体制の構築」、「水素利用の拡大」、「水素社会実現のためのモデル構築」の4項目が挙げられ、協議会の設置や、戦略策定、水素ステーションの整備促進、燃料電池自動車（FCV）の公用車への導入、水素タウンモデルの創出など、様々な施策展開が考えられている。

## 2-1-2 水素エネルギー社会

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、その意義は大きいとされている。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。今後、水素社会を実現するためには、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る克服すべき基礎的課題を明確にし、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あるとされている。

そのため、「燃料電池・水素技術ロードマップ」では、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と記載されている。そして、それぞれの項目（利用、供給等）における課題の整理と、課題克服に向けた取組が掲載されている。



図 31 水素社会実現に向けた技術課題

出典：「水素エネルギー白書」より NEDO

これら、課題を克服することにより、現在、我々が使用している天然ガス、液化石油ガス、ガソリンといった可燃性のエネルギーを、エネルギー・セキュリティや環境、経済性に富ん

だ「水素エネルギー」へ変換し、ユーザーが特別な意識を持つ必要が無く、利便性の享受への貢献を果たす社会の実現に期待されている。

### 2-1-3 水素エネルギービジネス

水素エネルギービジネスは、現状では家庭用燃料電池システムなどの定置用燃料電池が中心で、今後、燃料電池自動車の導入と水素ステーションの普及により、拡大することが期待される。その規模は、経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ（2014年6月）」によると、国内では2030年に1兆円程度、2050年に8兆円程度とされている。また日経BPクリーンテック研究所は、世界の水素インフラの市場規模は、2020年には10兆円を超え、2030年には40兆円弱、2040年には80兆円、2050年には160兆円になると予測している。

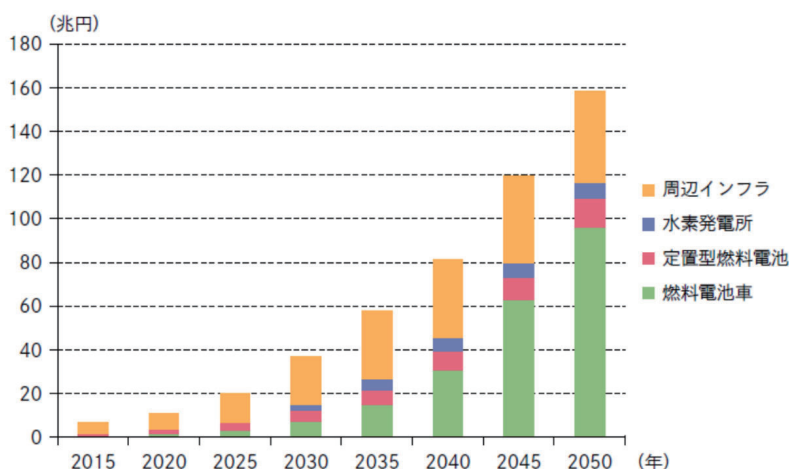


図 32 世界水素インフラ市場規模予測

出典：日経BPクリーンテック研究所「世界水素インフラプロジェクト」総覧よりNEDO作成

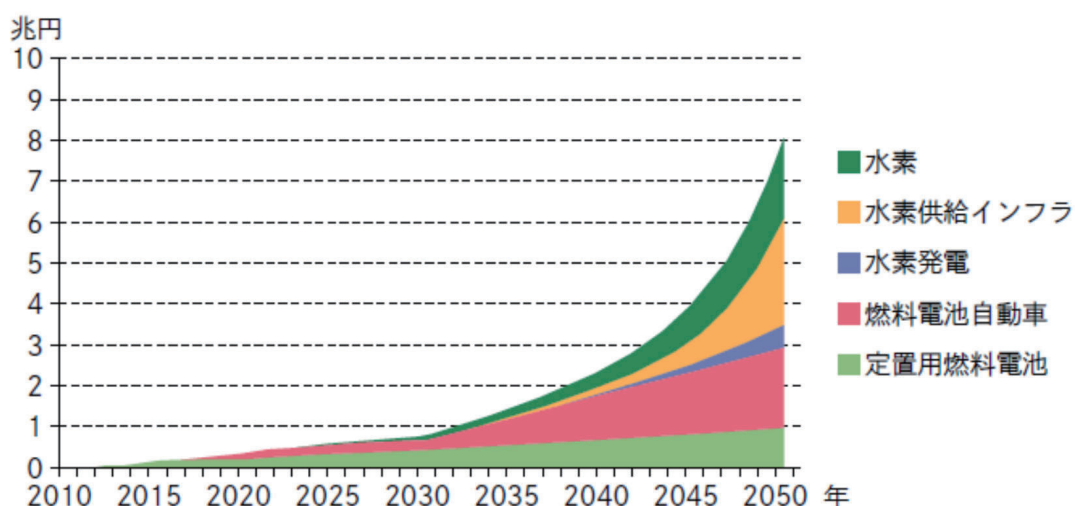


図 33 我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測

出典：経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2014年6月）

また、日本の燃料電池分野の特許出願件数は世界1位で、2位以下の世界各国と比べて5倍以上と諸外国を大きく引き離しており、家庭用燃料電池システムを世界に先駆けて商品化するなど、水素エネルギー利活用分野における現時点での日本の競争力は高いとされている。

特に日本の自動車産業は、国内雇用者数の約1割、輸出額の2割を占める基幹産業であるが、国際的な競争が激化している中で、燃料電池自動車という新しい領域で世界をリードしていくことは、産業競争力確保の観点から重要である。

### 2-1-4 水素製造

水素は多様なエネルギーや資源から製造することが可能である。それぞれの水素製造技術は、安定性や環境性、経済性などの面でメリットとデメリットがあり、技術の実用化段階も勘案し、水素実用化のフェーズにあった展開を考える必要がある。

現在は化石燃料（天然ガス、ナフサ）の改質によって工業的に製造されているほか、製鉄所やソーダ工業からの副生水素が供給源になる。

将来的には、火力や再生可能エネルギーからの電力を用いて製造されることが期待されるほか、長期的に実現が期待されるバイオマスガス化、水熱分解、光触媒などの低炭素水素製造技術が研究開発されている。

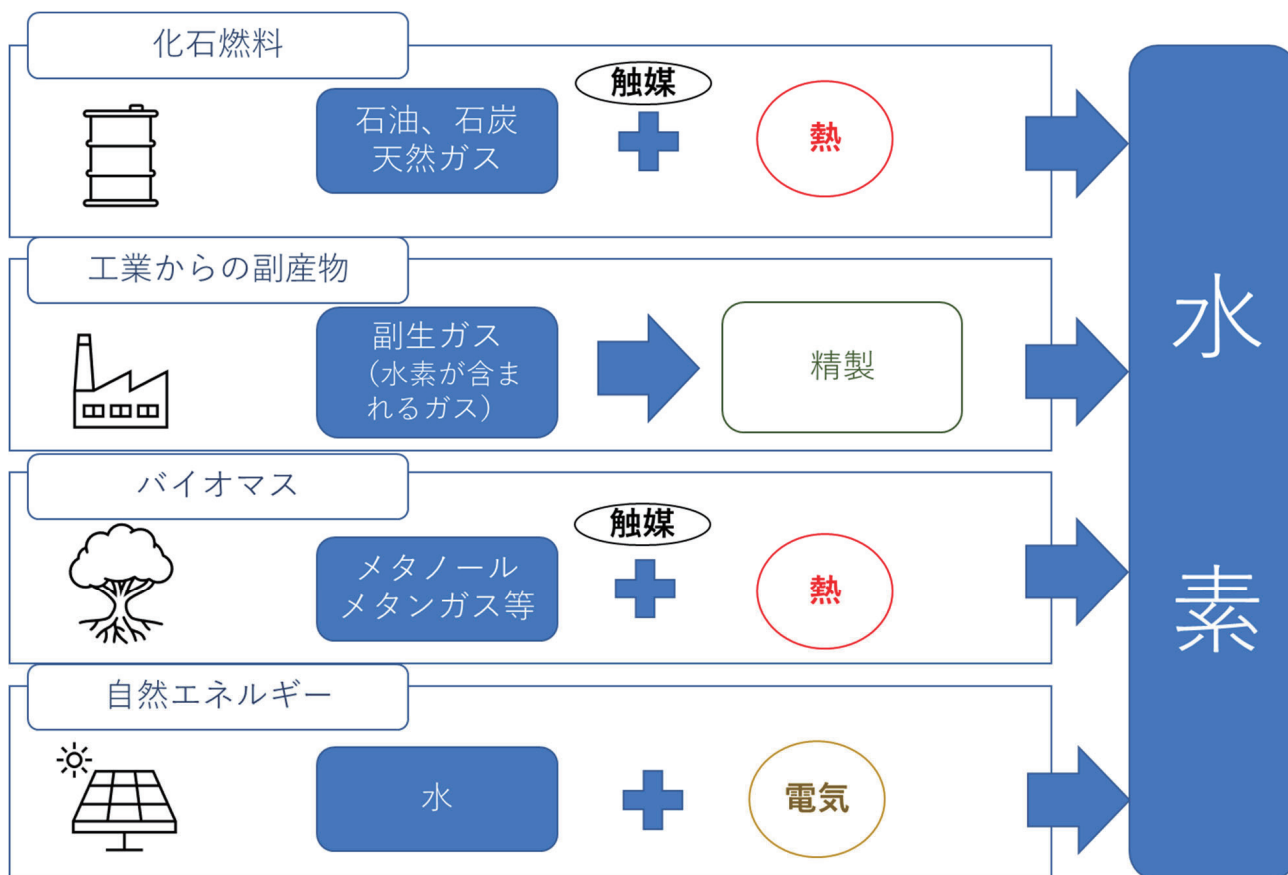


図 34 主な水素の製造方法

## (1) 副生水素

### ①特徴

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る。日本では主に、「ソーダ電解から副生される水素」と、「製鉄所からの副生水素」がある。ソーダ電解からの副生水素の量は、苛性ソーダの生産量に依存するが、現状で9万トン（11億Nm<sup>3</sup>）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。

製鉄所からの副生水素は、コークス製造する過程で生産されるガスでコークスオーブンガス（COG）と呼ばれる。現状でCOGは、鋼材の焼鈍用や熱源、発電燃料など製鉄所内で利用されており、水素を外販する場合には代替燃料を確保する必要がある。

工場内における水素製造は、石油精製時の脱硫やクラッキング（重質油の軽質化）のために製造する目的生産水素がある。製油所における必要量に応じて、ブタンやナフサから水蒸気改質によって製造されており、現状では外販されていないが、製造施設の容量は余剰があると言われている。

	苛性ソーダ	石油化学	石油精製	鉄 鋼
H2純度	99.9%以上	90%程度	97%程度	55%程度
精製ロス	ほぼ無し	中	小	大
排出二酸化炭素	■	■■■■	■■■■■■	■■■■■■■
未利用副生水素	■■■■■■■	■		■
供給余力	約11億Nm <sup>3</sup>	ほぼ無し	約34億Nm <sup>3</sup>	約23億Nm <sup>3</sup>
うち未利用H2	約10%	ほぼ無し (プラントはエネルギー自立設計)	無し (供給余力はすべて目的生産改質水素)	ほぼ無し (供給余力はすべて自家発用途の転用)

図 35 副生水素の比較

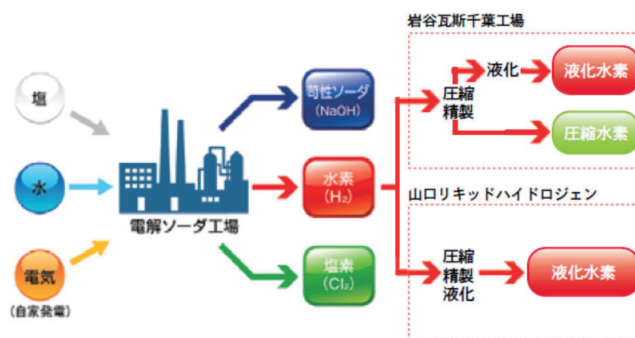


図 36 ソーダ電解からの副生水素：岩谷瓦斯千葉工場と山ロリキッドハイドロジェン

出典：岩谷産業「水素エネルギーハンドブック 第3版」

## ②課題

ソーダ電解からの副生水素は純度が高いが、製鉄所からの副生水素と石油精製プロセスからの目的生産水素は純度が低いため、圧力変動吸着法（PSA：Pressure Swing Adsorption）を用いる必要がある。これは各物質の吸着剤（ゼオライトなど）に対する吸着力が異なる性質を利用し、高圧下ですべてを吸着させ、減圧とともに脱離してくる物質を分離していく技術である。これにより 99.999%程度の純度の水素を確保できる。

さらに副生水素を直接外販する場合には、出荷施設（圧縮機と出荷前の貯蔵設備）が必要となる。

また、将来的には水素製造の低炭素化が求められる。ソーダ電解自体はCO<sub>2</sub>を発生しないものの、製鉄所や製油所での水素製造プロセスではCO<sub>2</sub>を発生させるため、大規模プラントの利点を生かした炭素隔離の検討も必要になる。

## （2）化石燃料改質

### ①特徴

現状では水素の大部分は、天然ガスやナフサなどの化石燃料を改質して製造されている。改質には水蒸気改質法や、部分酸化改質法、その両方をミックスしたオートサーマル改質法があるが、現在主流なのは水蒸気改質法であり、特に天然ガス（メタン）を原料に用いるものを水蒸気メタン改質と呼ぶ。

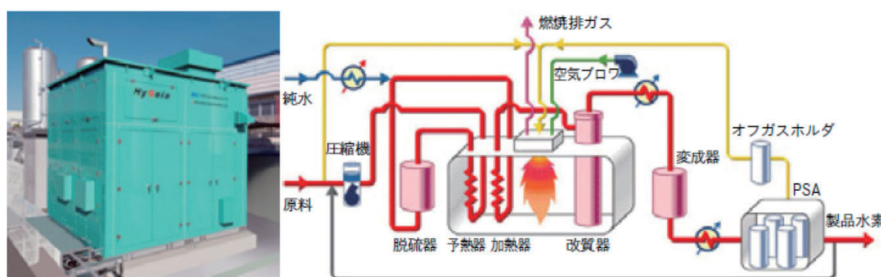


図 37 小型水蒸気改質装置の例（三菱化工機製 HyGeia）

出典：三菱化工機「小型オンサイト水素製造装置 HyGeia（ハイジェイア）」

### ②課題

水蒸気改質は工業的に確立しており、技術的課題は少ない。

ただし、オンサイト水素ステーションへの適用では、コストのさらなる低減と高効率化、また、水素ステーションの運用に合わせた日間起動停止への対応が求められる。

なお、大型プラントで余剰の水素製造能力があることが指摘されているが、その場合でも、水素ステーション用として純度を高める必要があるほか、出荷のための輸送用トレーラーへの積み込みのための出荷設備（200気圧級あるいは400気圧級の圧縮機と蓄圧器）の設置が必要となる。

### (3) 水電解（水の電気分解）

#### ①特徴

水電解（水の電気分解）は、原理としてはよく知られており、実用技術としてはアルカリ水電解法と固体高分子形（PEM形）水電解法がある。

アルカリ水電解法は、水酸化カリウムの強アルカリ溶液を用いて水電解を行うもので、大規模水素製造用として工業分野で実績がある。

固体高分子形（PEM形）水電解法は1970年代初期にGEが燃料電池の技術を適用したもので、日本では1975年頃に大阪工業技術研究所（現：産業技術総合研究所）で膜・電極接合技術が研究され、現在は民間企業主体で研究開発されている。

アルカリ水電解法と固体高分子形水電解法を比較すると、一般に固体高分子形水電解は同じ面積に流す電流（電流密度）がアルカリ水電解に比べて高いため電解槽を小型化できるが、高価な材料を使用する。水素製造におけるコスト（設備費含む）に関しては、固体高分子形水電解はアルカリ水電解の2～3倍である。今後の技術開発により、将来のコスト低減も期待される。

一般に水電解は、温度が高いほうが理論電解電圧は低くなるので高効率となる。よって、高温水蒸気の水電解する技術として水蒸気水電解（800～1000℃レベル）が研究されている。将来的な再生可能エネルギーの導入拡大が期待されるなか、余剰電力を有効に利用するために水電解技術の活用が期待されている。実際に欧州ではドイツを中心に、再生可能エネルギー（特に風力発電）からの余剰電力を水素やメタンに変換して活用するプロジェクトが実施されている。このように再生可能エネルギーと組み合わせる場合は、発電量の変動への対応などが求められ、海外のメーカーではそれに対応したシステムも開発されている。

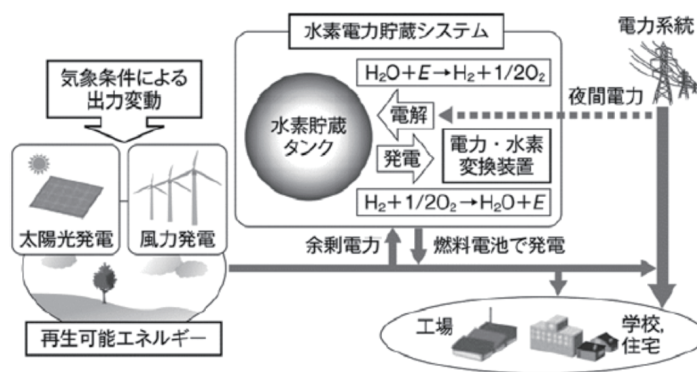


図 38 固体酸化物形水電解セル（SOEC）の例

出典：東芝エネルギーシステムズ（株）

#### ②課題

水電解による水素製造では電力を利用するため、電気代が水素コストに直結する。そのため、まずは高効率化が最大の課題である。あわせて装置の低コスト化も必要である。

高効率化のためには固体高分子形水電解装置の高圧化も検討されているが、システムの耐

久性の確保とともに、高圧で発生する水素・酸素を適切に制御する技術の確立が必要となる。高圧化による効率向上を図ると装置がコスト高になることも考えられるため、効率とコストのバランスを検討する必要がある。

再生可能エネルギー由来の電力を直接利用して、低炭素排出の水素を製造することも期待されているが、その場合は出力変動の大きい電力を使うことになるため、膜・電極の耐久性向上とともに、補機の定常運転を確保する必要がある。

#### (4) バイオマスの熱分解

##### ①特徴

バイオマス熱分解とは、多様なバイオマス（木材など）を乾留（無酸素化下で熱分解）させ、水素や一酸化炭素などの乾留ガスを得て、水素を分離精製するものである。

バイオマスは種類が多様であるが、一般には生産系（木質類、糖質類、でんぷん類、油脂系、海藻類など）と廃棄物系（農産物系廃棄物、畜産系廃棄物、間伐材・廃木材・建設廃材、水産系廃棄物、ゴミ、下水汚泥など）に分かれる。バイオマス熱分解による水素製造で主に使用されるのは、木質類や間伐材・廃木材・建設廃材である。

##### ②課題

乾留技術自体は確立しているもの、利用するバイオマスの種類によって乾留条件が大幅に変わるので、材料ごとの最適化が必要であるとともに、材料に対してフレキシブルなシステムも望まれる。

バイオマスによっては、チャー（炭化物）が大量に発生し、装置内に残留してしまうために、その対応が必要となる。あわせて、分離・精製技術の開発が必要である。

また、本技術による水素コストはバイオマスコストに依存するため、収集コストを含めたコスト低減が必要である。

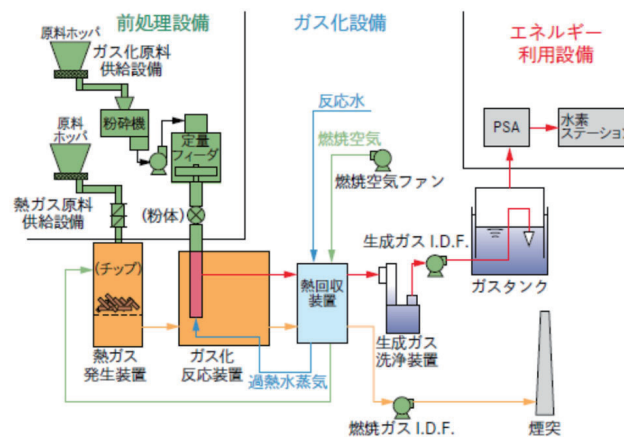


図 39 鳥栖水素ステーションでの木質チップによる水素製造

出典：鳥栖環境開発総合センター資料より NEDO 作成

## (5) 水の熱分解

### ①特徴

水は2,000℃以上で水素と酸素に分解するが、そのような高温を確保することは難しいうえ、その温度に耐えられる材料も限られる。よって多様な反応を組み合わせ、間接的に水を熱分解する方法（サイクル）が考えだされている。

また、新潟大学では太陽光集光システムとフェライト系の水熱分解プロセスを用いて、水素を製造する実証を行っている。



図40 IS サイクル

出典：日本原子力研究開発機構

### ②課題

熱源の確保（数百～1,000℃）が必要となる。太陽光集光装置（ヘリオスタット）を利用するのが一つの方法であるが、その場合では適切なロケーションを選定する必要がある。

また、数百～1,000℃の熱に耐えられる容器や材料が必要となり、そのメンテナンスコストも大きくなると予想されている。

さらにプロセスフローの最適化やリアクタのコスト低減など、研究開発すべき項目は多い。

## (6) 光触媒による水分解（人工光合成）

### ①特徴

光触媒による水分解とは、酸化物や窒化物などの半導体粒子の光触媒を利用し、光によって水を直接分解する方法である。

これは光触媒の表面に太陽光があたることによって電子が価電子帯から伝導帯へと励起され、励起された電子が水を還元し水素を発生させ、価電子帯に生じたホールが水を酸化して酸素を発生させるものである。

国内では、経済産業省の二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発において人工光合成プロジェクトが進められており、光触媒から水素を製造し、産業セクターから排出さ

れる CO<sub>2</sub> を水素化することで基幹化学品を製造することを目指している。

また、文部科学省の新学術領域でも、人工光合成の基礎的な研究が行われている。光触媒水分解は、太陽光発電と同様に天候に左右されるものの、実用化されれば CO<sub>2</sub> フリーで水素を製造できる技術となる。

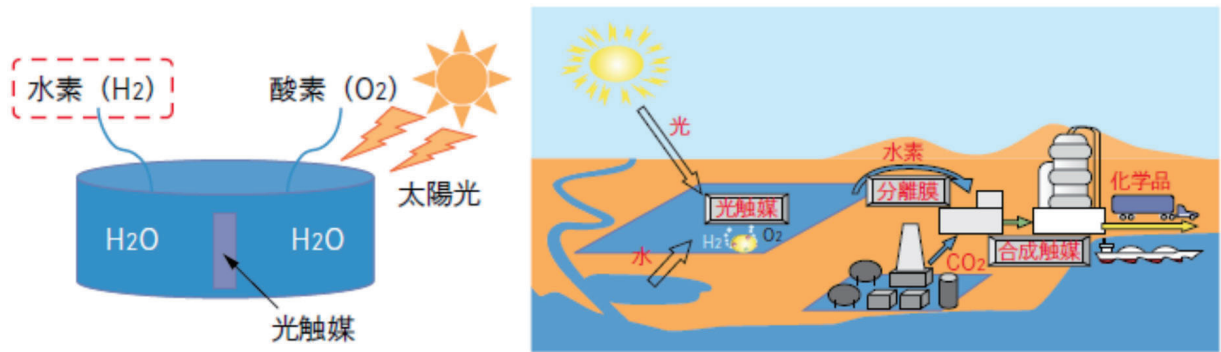


図 41 光触媒による水分解の観念（左）と人工光合成プロジェクト（右）

出典：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」

## ②課題

現状で基礎研究開発レベルである。特に紫外光域で高活性を示す光触媒は多いが、可視光域で高活性を示す光触媒はまだ少なく、さらなる材料探索が必要と思われる。

現状では変換効率が 0.3%程度と低く、我が国では人工光合成プロジェクトで 2021 年度末までに 10%前後にする目標がある。

## (7) 水素製造のまとめ

水素は様々なエネルギー源から製造することができるが、製造方法によって、コスト・量、エネルギー政策上の意義が異なり、様々な水素の製造方法は、①副生水素、②既存設備による目的生産（化石燃料改質）、③新規設備による目的生産（水の電気分解、バイオマス）、④将来技術（光触媒等）に分類することが出来る。

追加的なコストは、副生水素が最も低く、水の電気分解やバイオマス等が高い状況となるが、副生水素でも製造可能量は目的生産物の製造量によっても変わってくるため、簡単に融通ができない可能性もある。

表4 水素の製造方法と比較一覧

製造方法	実用化状況	環境性	安定性	経済性
化石燃料改質	実用化段階	製造時にCO2発生	安定的かつ大規模生産可能	比較的安価に製造可能
副生水素	実用化段階	副次的に産出され、追加的なCO2排出無し	副生する水素量が限られる	水素の製造コスト低減
水の電気分解 (火力発電)	実用化段階	発電時にCO2排出	安定的かつ大規模生産可能	改質に比べ高コストだが安価
水の電気分解 (再エネ利用)	実用化段階 技術的には確立	CO2の排出無し	太陽光、風力の出力変動余剰分の利用	現状で発電コストが高く、製造コストも高い
バイオマス	実用化段階 技術的には確立	カーボンニュートラル	バイオマス供給地の分散が課題	現状で収集コストを含め、製造コストは高い
水の熱分解	研究開発段階	利用する熱源により異なる	利用する熱源により異なる	—
光触媒	基礎研究段階	CO2の排出無し	太陽光利用のため、天候に左右される	—

水素の製造プロセスで生ずるCO<sub>2</sub>排出については、再生可能エネルギーを用いた水電解を行った場合には非常に少ない。

また、副生水素については、副次的に発生する点を踏まえると、CO<sub>2</sub>の排出は非常に少ないと考えられるものの、既にこれらの副生水素がボイラー等の燃料として用いられている場合には、代替燃料として化石燃料を用いるケースが想定されるため、その分のCO<sub>2</sub>が追加的に排出されることとなる。

## 2-1-5 水素の輸送・貯蔵・販売

水素は体積当たりのエネルギー密度が低く（天然ガスの1/3程度）、これをどのような手段で高い密度に維持しつつ、輸送・貯蔵するかが課題となる。これに加え、水素の製造方法や利用方法、供給地と需要地の距離などによって、様々な方法が考えられる。

輸送分野では、すでに高压ガス輸送、液化水素輸送が実用化されており、これに加えて新規の技術として有機ハイドライド輸送が実証されている。長期的には、国内でもエリアによっては水素パイプラインが施設されることも考えられる。

水素貯蔵技術のなかでも、燃料電池自動車のようなスペースに制限のある用途に対しては、体積エネルギー密度が高い水素吸蔵合金の活用も期待されるが、現状ではまだ研究開発段階であり、一層の低コスト化が必要とされている。

なお我が国は、将来において水素発電事業などの用途で大量の水素需要が生じることも想定されるため、有機ハイドライド技術や液化水素技術を用いた世界的な水素供給チェーンの構築・実用化が期待されている。

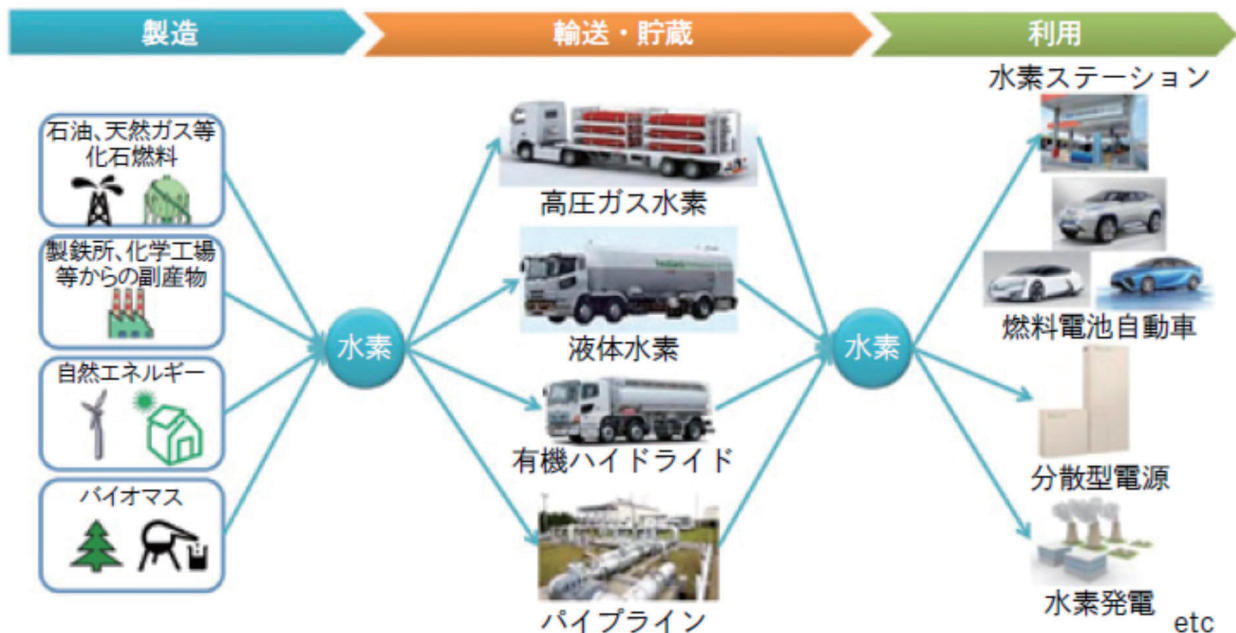


図 42 水素の輸送・貯蔵方法

出典：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」

将来的に水素ステーションへの輸送・貯蔵が想定される高压ガス、液化水素、有機ハイドライドについて比較を行うと、高压ガスに比べて液化水素や有機ハイドライドが貯蔵性に優れると考えられる。その他にも、液化水素の水素への変換までを含めた総合的なエネルギー効率は、現時点では高いものではなく、有機ハイドライドについても、現段階で小型の脱水素装置が実用化していないため、将来に向けて技術開発などを行っていく必要がある。

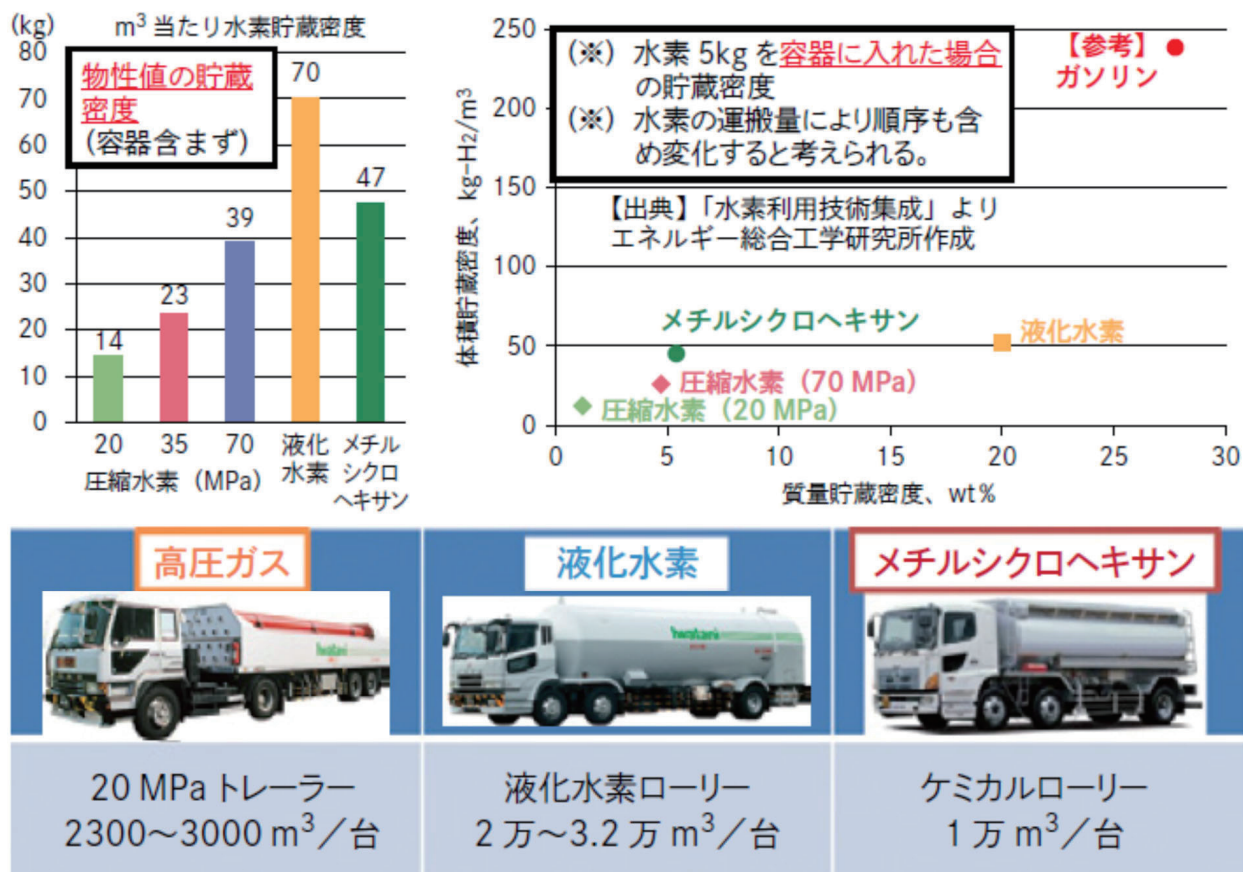


図 43 各水素キャリアの貯蔵密度の比較

出典：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」

### (1) 高圧ガス水素輸送

#### ①特徴

陸上で水素を輸送する場合、圧縮して輸送するのが一般的である。通常は水素を 19.6MPa に加圧してシリンダーに充填し、それを束ねてカードルとして運搬する。

大量に水素を輸送する場合は、長さ 6m 以上の大型シリンダーを集結した水素トレーラーで搬送する。この場合の水素圧力は 19.6MPa である。

水素ステーションに供給する場合、1回の配送における水素供給量の増加と、水素ステーションでの昇圧の負担減のために、輸送時の高圧化が求められてきた。そのため NEDO では、45MPa 級の水素トレーラーの実証を行った。このトレーラーは、高圧化による重量化を避けるため複合容器製シリンダーを採用している。



図 44 水素カードルと水素トレーラー

出典：岩谷産業「水素エネルギーハンドブック第3版」

## ②課題

高压ガス輸送は技術的にも確立されている。圧縮にはエネルギーを要するものの、最終的には水素ステーションで70MPa以上に昇圧されるため、圧縮に用いたエネルギーは無駄にならない。

圧縮機や高压貯蔵容器については、低コスト化に向けてさらなる技術開発が必要である。また、1MPa以上の高压になると高压ガス保安法の規制対象となり、関連法規への対応が必要となる。さらに、現状の道路法では危険物搭載車両とされ、海底トンネルや5kmを超えるトンネルは通行できない。

### (2) 液化水素輸送

#### ①特徴

液化水素輸送も、大規模水素輸送では実績がある技術である。

水素は $-253^{\circ}\text{C}$ で液化し、体積は1/800に減少する。液化水素輸送は、従来は航空宇宙用途が主であったが、岩谷産業などの企業が積極的に展開し、液化水素の導入を進める需要家が増えてきている。

液化水素輸送には、可搬式超低温容器(145~350L)、コンテナ(2~46 $\text{m}^3$ )、ローリー(23 $\text{m}^3$ )が使用されている。可搬式超低温容器とコンテナは、消費地に設置して利用可能である。

水素の液化は、液体窒素で水素(循環水素)を $-190^{\circ}\text{C}$ 程度に予冷し、これを断熱膨張することによりさらなる冷熱を製造、これを原料水素に用いることで液化を行う。



図 45 液化水素用可搬式超低温容器、コンテナ、ローリー

出典：岩谷産業

## ②課題

液化水素の輸送・貯蔵では、液化効率の向上（液化エネルギーの低減）とボイルオフガスの低減が課題である。

液化に要するエネルギーは、従来は水素が有する熱量の 1/3 程度の 11.9kWh/kg を要していたが、欧州のエネルギー企業・研究機関、川崎重工業を中心に現在 6 kWh/kg 程度への低減を目指した研究開発が行われている。

さらに、液化水素は $-253^{\circ}\text{C}$ という極低温であり、液化する際のエネルギーは冷熱として保存されていると考えられることから、その冷熱の有効活用が重要である。

なお、法令上は液化水素も「高压ガス」として取り扱われるため、高压ガス保安法などの法規への対応も必要である。

## (3) 有機ハイドライド

### ①特徴

有機ハイドライド輸送は、芳香族系有機化合物を水素キャリアとして用いるものである。常圧状態に比べて体積は 1/500 程度となり、また、液体化するため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。

有機ハイドライドという名称は液体の有機系水素化合物の総称であるため、その種類は多数存在するが、安全性や利便性などの点からメチルシクロヘキサン＝トルエン系の実用化が進められている。ともに汎用化学品であり、既存の社会インフラが利用可能である。

この種類では、水素化反応段階と輸送の実績はあったが、脱水素化反応段階における転化率と寿命が問題であった。しかしながら、最近になり耐久性が高く、選択性に優れた脱水素触媒が日本で開発され実用化の見通しが立った。

水素製造地において、トルエンを水素化してメチルシクロヘキサンとし輸送する。需要地でメチルシクロヘキサンを脱水素化し、トルエンは水素製造地に戻される。

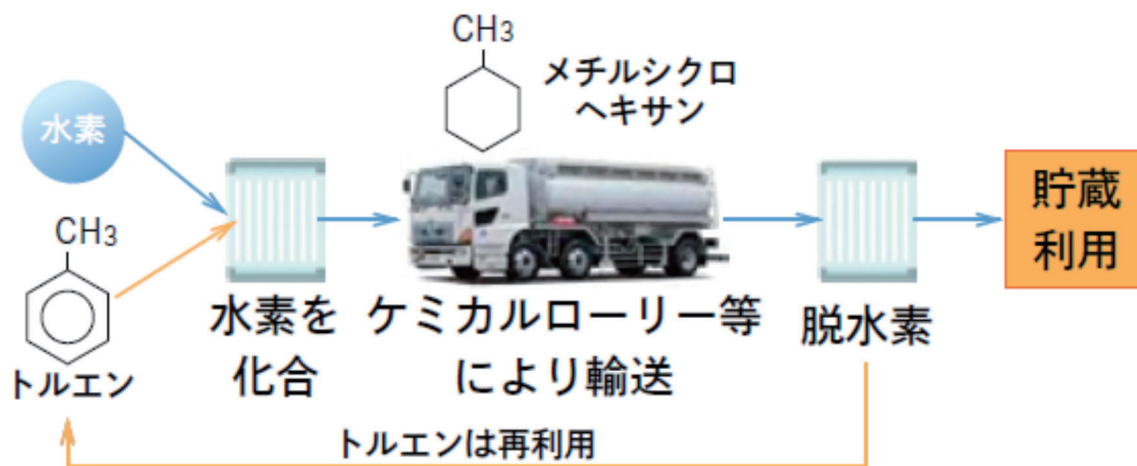


図 46 メチルシクロヘキサン＝トルエン系有機ハイドライドを利用した輸送システム

出典：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」

## ②課題

本来的には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となる。

将来的には、メチルシクロヘキサンを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ことも考えられるが、そのためには脱水素装置の小型化や熱源の確保、法規制への対応が必要となる。

また、水素化設備や脱水素設備が必要で、一定の投資が必要となる。なお、脱水素化反応は吸熱反応であるため、400℃程度の熱源（排熱）の確保が必要である。

## (4) パイプライン輸送

### ①特徴

大量の水素を陸上で輸送する場合には、パイプラインが用いられる。我が国でもコンビナート内では低圧の水素パイプラインが敷設されているが、欧米では大規模・長距離の水素パイプラインや高圧の水素パイプラインが敷設されている。

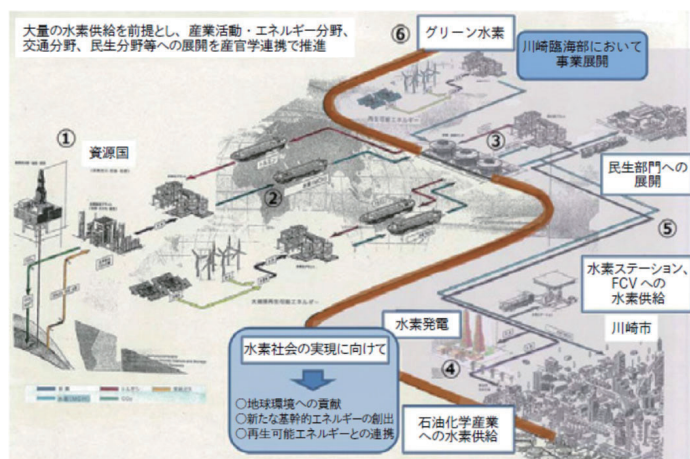


図 47 川崎市臨海部での水素ネットワークのイメージ

出典：川崎市「水素エネルギーフロンティア国家戦略特区による新たな成長戦略提案」

## ②課題

低圧での水素パイプラインはすでに工業的には利用されている。ただし、コンビナートなど保安規則などの安全規制を受けることになる。

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。また、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は、検討が必要である。

## (5) アンモニア

### ①特徴

アンモニア (NH<sub>3</sub>) は水素を 17.8 重量%含んでおり、また容易に液化する (室温では 1 MPa 以下で液化)。液体アンモニアの体積水素密度は、液化水素よりも 50%大きい。

アンモニアは基礎化学品で、肥料原料として大量生産されている。世界のアンモニア生産量は約 2 億トン/年であり、主に中国、インド、ロシア、米国などで生産されている。

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。アンモニア CIF 価格を基準にすると、それに含まれる水素コストは 20~35 円/Nm<sup>3</sup> となり、安価な水素の供給源としても期待される。



図 48 アンモニアによる水素の利活用のコンセプト

出典：広島大学「アンモニアによる水素貯蔵」

### ②課題

蒸気圧が高く、刺激臭があり、取扱いに注意する必要がある。特に強アルカリであるため、人の皮膚や粘膜に対して即時性の刺激と腐食性がある。

水素中にアンモニアが 1 ppm レベルでも含まれると燃料電池を劣化させるので、アンモニア含有量を微量レベルにすることが必要である。

## (6) 水素吸蔵合金

### ①特徴

水素吸蔵合金は可逆的に水素と反応して金属水素化物を生成する。金属水素化物中水素原子密度は概ね 90kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> 以上であり、液化水素の密度 (70.8kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) よりも高い値となるため、将来的にはスペースに制約のある車両や定置式エネルギー貯蔵装置への適用が期待される。

重量当たりの水素吸蔵量は 4%程度にとどまっており、さらなる研究開発が必要である。



図 49 NEDO プロジェクトで開発したハイブリッドタンク

出典：日本重化学工業「水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵システム」

## ②課題

体積当たりの水素吸蔵量は大きいですが、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。なお最近では、軽量なアルミニウム銅合金 ( $Al_2Cu$ ) が水素を可逆的に吸蔵放出することが計算科学により見いだされ、実際に合成された。水素吸蔵量は1重量%程度と小さいものの、このようなアプローチによって新規の種類が発見される可能性はある。

車載用水素容器に適用するには、考えうる環境温度でも平衡水素圧が大気圧以上であることが求められ、さらに水素放出のためには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。

## (7) メタン化

### ①特徴

水素を産業界が排出した  $CO_2$  と反応させてメタン化し、これを天然ガス網に注入すれば、既存のインフラが活用できる上、排出される  $CO_2$  をエネルギーとして再活用できるため、 $CO_2$  排出量削減に貢献すると期待されている。

なお水素は、そのままでも数パーセント程度であれば既存の天然ガス網（都市ガス網）に混入させることが可能と考えられているが、メタン化させれば無制限に注入できるとも考えられる。

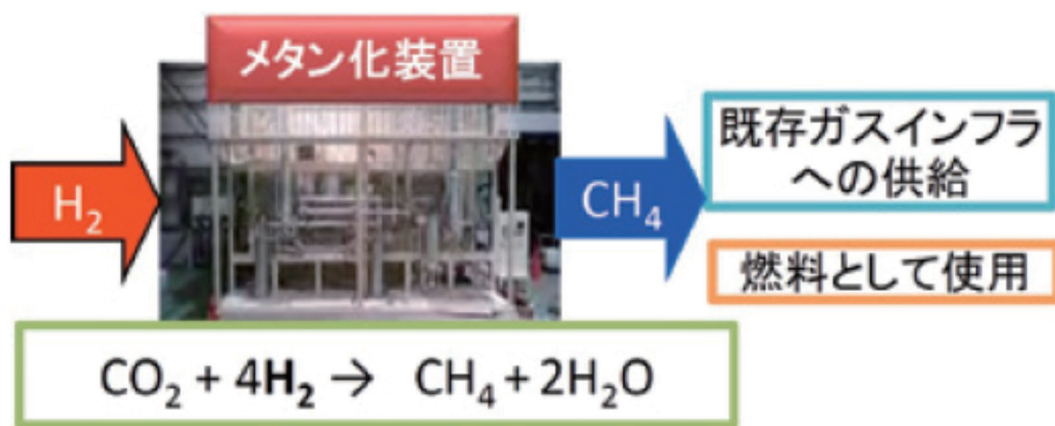


図 50 メタン化装置

出典：「水素の製造、輸送・貯蔵について」資源エネルギー庁 燃料電池推進室

## ②課題

水素のメタン化のためには、CO<sub>2</sub> が必要であり、低コストで効率のよい CO<sub>2</sub> 分離技術が求められる。

また、メタン化のためにエネルギーロスがあるため、全体システムの経済性を検討する必要がある。

## (8) 水素ステーションの種類

### ①特徴

水素ステーションの代表的な方式としては、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。両方式は水素ステーションへの水素供給方法が異なるだけであり、その後の燃料電池自動車への水素充填までのフローは共通である。

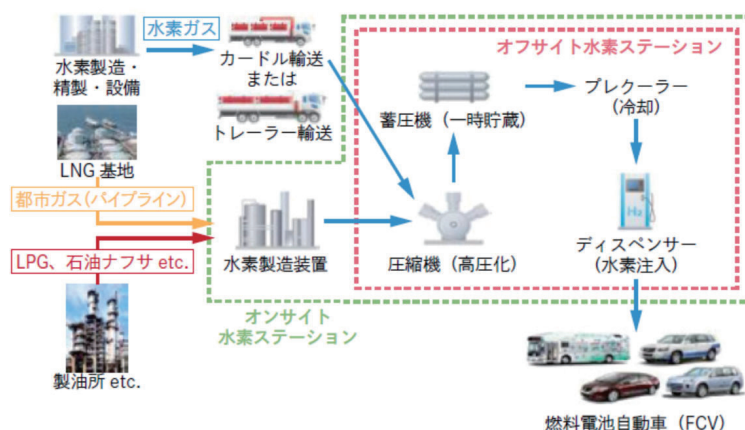


図 51 水素ステーションの構成

出典：「燃料電池自動車について」資源エネルギー庁 燃料電池推進室

水素ステーションにおける充填方式としては、従前より行われている水素ステーションの蓄圧器と燃料電池自動車の水素タンクの圧力差による差圧充填方式と、圧縮機で昇圧した水素を蓄圧器に貯めることなく直接に燃料電池自動車の燃料タンクに注入する直接充填方式がある。また、この2つを併用する充填方式も提案されている。

充填においては、最高充填圧力 87.5MPa という高压でガソリン車と同等の3分程度で充填を行うと、燃料電池自動車の水素タンクの温度上昇が起きるため、車載タンクの許容最高温度(85℃)を超えないように水素ガスの温度を予め-40℃程度の低温にしてから供給を行うプレクールが必要である。

また、充填の際に、水素ステーションと燃料電池自動車との間で赤外線通信を行い、燃料電池自動車の水素タンクの状態を確認しながら、流量と圧力を制御しつつ充填を行う技術(通信充填、充填プロトコル)も必要である。

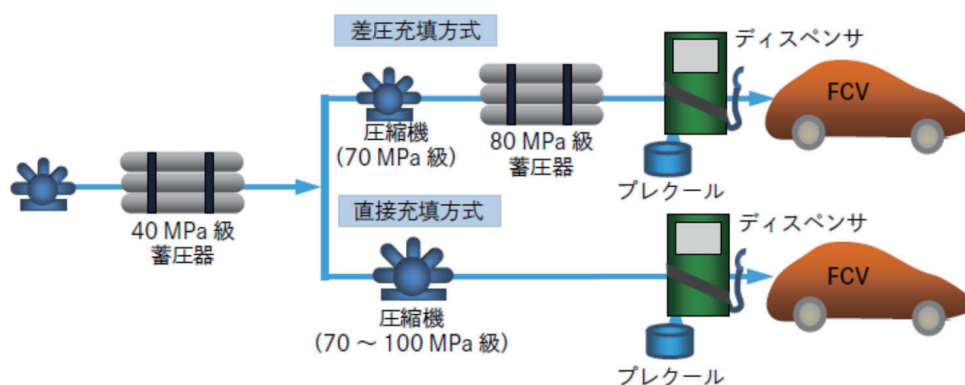


図 52 水素ステーションにおける充填方式

出典：各種資料より NEDO 作成

## ②必要機器

水素ステーションの技術開発では、これまで 35MPa から 70MPa へと充填圧力の高压化が進められてきた。水素ステーションの構成要素である配管、蓄圧器、圧縮機、ディスペンサー、ノズル、ホースなどの主要機器についても、高压化とプレクールに対応した技術開発が行われてきた。

## ③課題

水素ステーションの機器は、それぞれに個別の課題と研究開発要素があるが、いずれも、国際的な基準・標準の動きと足並みをそろえる必要があるため、積極的に我が国が基準・標準分野をリードしていくことが期待される。

また、水素ステーションに関しては、必要機器が高額であり、従来あるガソリンスタンドの3倍程度のインシヤルコストと2倍程度のランニングコストがかかると言われている。

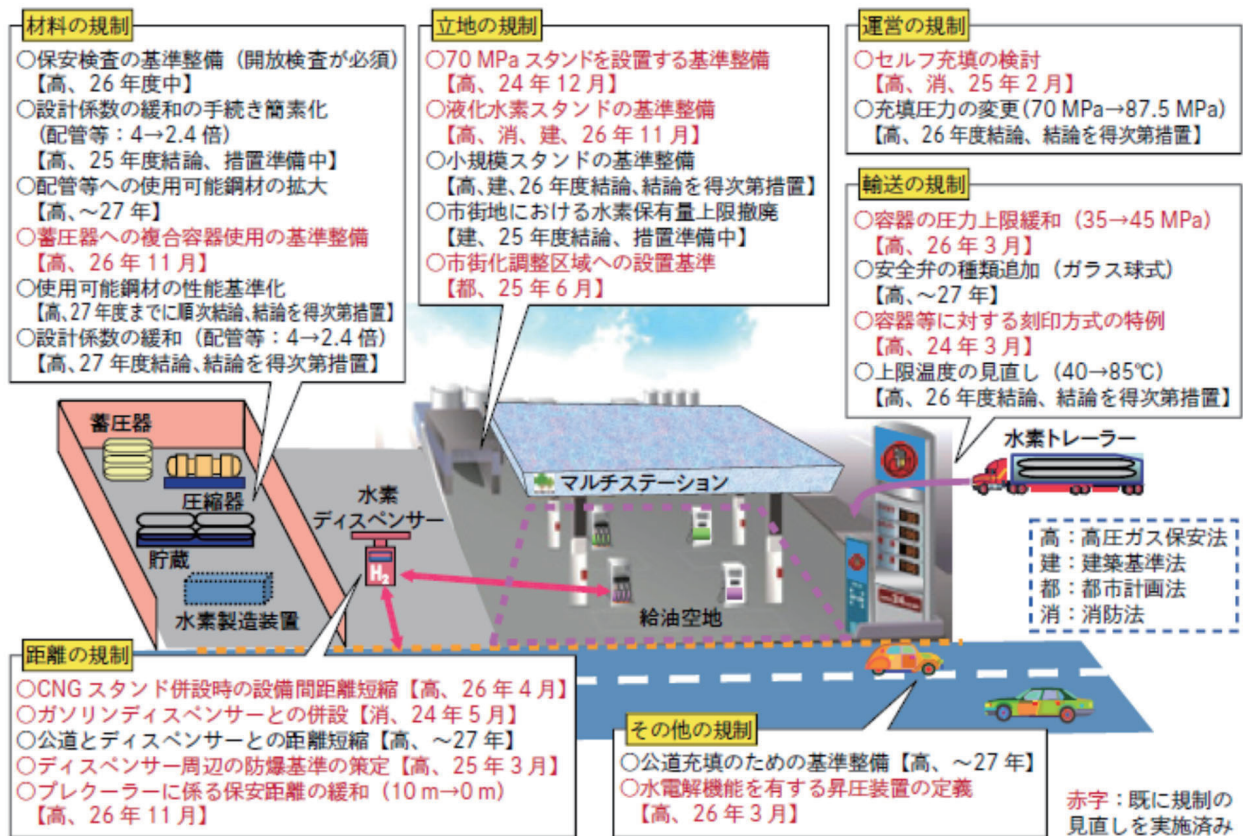


図 53 水素ステーションにおける各種規制の見直し（平成 26 年 11 月時点）

出典：各種資料より NEDO 作成

### （9）水素輸送・貯蔵・販売のまとめ

水素は体積当たりのエネルギー密度が低く（天然ガスの 1/3 程度）、これをどのような手段で高い密度に維持しつつ、輸送・貯蔵するかが課題となる。

これに加え、水素の製造方法や利用方法、供給地と需要地の距離等によって、様々な方法が考えられる。

水素の供給地と需要地に一定の距離がある場合には、圧縮に一定のエネルギーを要するものの、水素を高圧ガスの形で運搬する方法が広く活用されている。

特に将来的に水素ステーションへの輸送・貯蔵が想定される高圧ガス、液体水素、有機ハイドライドについて比較を行うと、高圧ガスに比べて液化水素や有機ハイドライドが貯蔵性に優れることが分かる。

他方で、液化水素の総合的なエネルギー効率は今時点では高いものではなく、有機ハイドライドについても、現段階で小型の脱水素が実用化していないため、将来に向けて技術開発等を行っていく必要がある。

水素の利用先が燃料電池自動車の場合には、最終的に 70MPa 以上に昇圧する必要があることから、運搬時の圧縮に用いたエネルギーは無駄にならない。このため、輸送効率を更に向上させるため、45MPa での水素輸送を可能とする規制見直しも行われている。

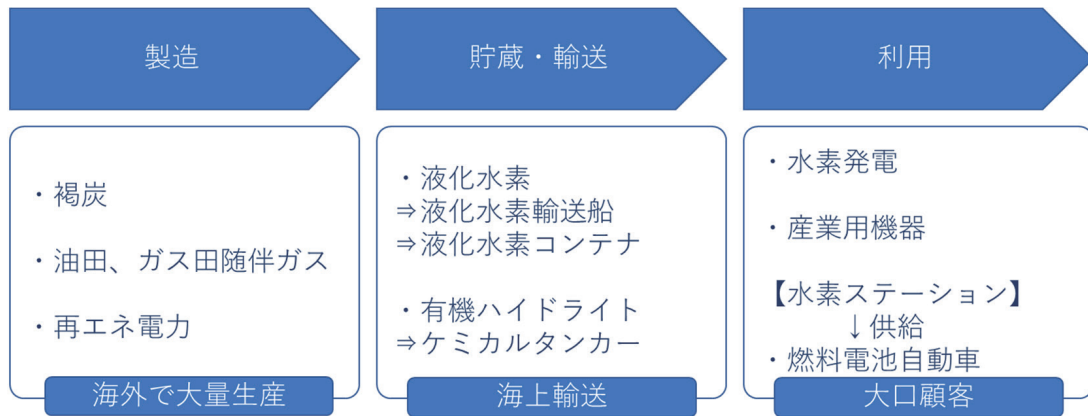


図 水素の輸入の流れイメージ

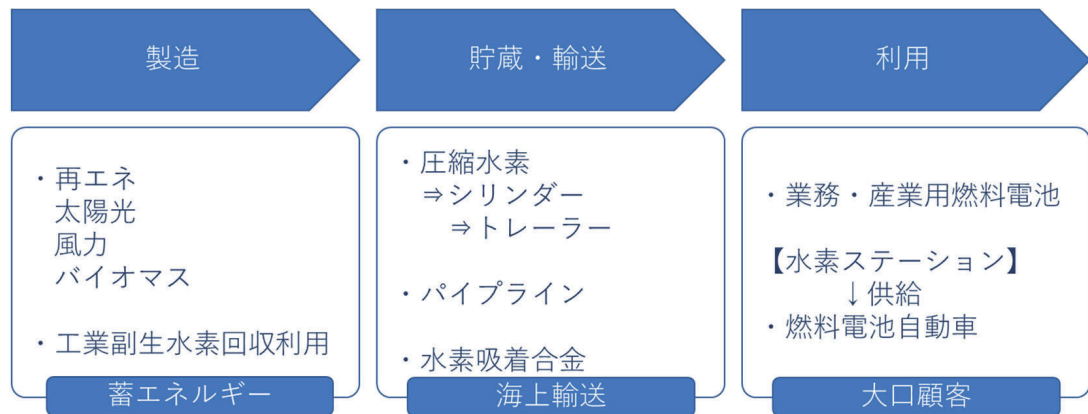


図 54 水素の地域生産の流れイメージ

## 2-1-6 水素の利用

水素の利用技術として、主要な水素利用技術について解説する。

### (1) 燃料電池自動車 (FCV)

#### ①特徴

燃料電池自動車 (FCV) は、燃料電池で水素と酸素の化学反応によって発電した電気エネルギーを使って、モーターを回して走る自動車である。ガソリン内燃機関自動車が、ガソリンスタンドで燃料を補給するように、燃料電池自動車は水素ステーションで燃料となる水素を補給し走行する。

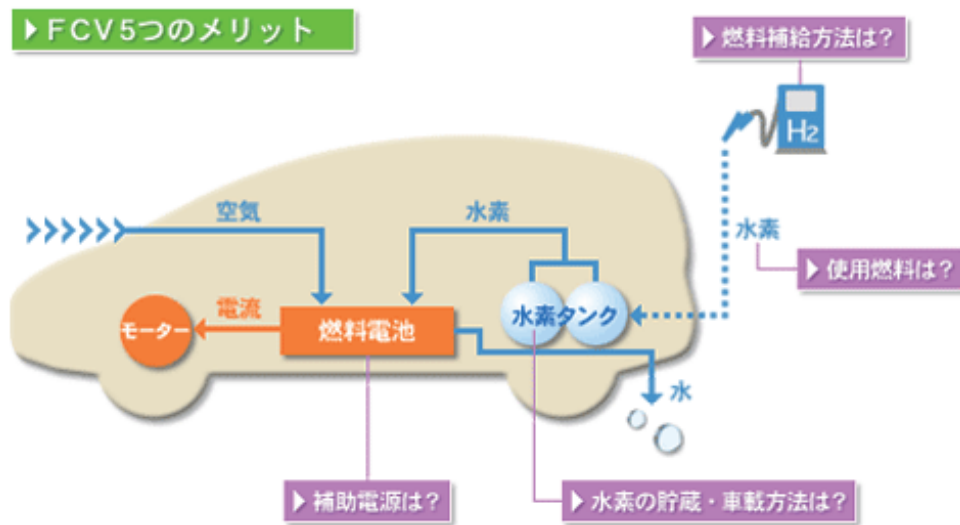


図 55 燃料電池自動車の構造

燃料電池自動車のメリットとして、以下の5つ挙げられる。

○有害な排出ガスがゼロ、または少ない

走行時に発生するのは水蒸気のみ。大気汚染の原因となる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) や窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、炭化水素 (HC)、一酸化炭素 (CO)、浮遊粒子状物質 (PM) はまったく排出されない。また、ベンゼンやアルデヒドなどの有害大気汚染物質の排出もない。

○エネルギー効率が低い

現時点で、ガソリン内燃機関自動車のエネルギー効率 (15~20%) と比較して、2倍程度 (30%以上) と非常に高いエネルギー効率を実現している。燃料電池自動車は、低出力域でも高効率を維持できるのが特長である。

○多様な燃料・エネルギーが利用可能

天然ガスやエタノールなど、石油以外の多様な燃料が利用可能なため、将来の石油枯渇問題にも十分に対応できる。また、太陽光やバイオマスなど、クリーンで再生可能なエネルギーを利用して水素を製造することにより、環境への負荷を軽減が期待されている。

○騒音が少ない

燃料電池は電気化学反応によって発電するため、内燃機関自動車と比べて騒音が低減できる。車内の快適さや、都市全体の騒音対策にも効果が期待される。

○充電が不要

長時間の充電が必要な電気自動車と違い、ガソリン内燃機関自動車と同様に短時間の燃料充填が可能である。また、1回の充填による走行距離も電気自動車よりも長く、ガソリン内燃機関自動車と同程度である。

表5 燃料電池自動車と環境車の比較

	FCV	EV	HV
燃料の充填	短時間 3分	長時間 80%充電に約30~60分	短時間 3分
航続距離	長い(約700km)	短い(約400km程度)	普通(約600km)
適した使用法	遠距離走行	都市部等の近距離走行	一般的な使用
車のサイズ	大型の乗用車向き	小型乗用車向き	様々なサイズ、車種
普及台数	約3,000台	約106,000台	約8,453,451台/年
スタンド	132箇所	18,270箇所	29,637箇所
価格	約740万円程度 (補:4~5百万円)	約400万円程度 (補:3~4百万円)	約300万円程度
その他	商用車、バス、トラック、フォークリフト向き	部品点数少ない⇒製造コストの低減	自家用車、バス、トラック、重機等

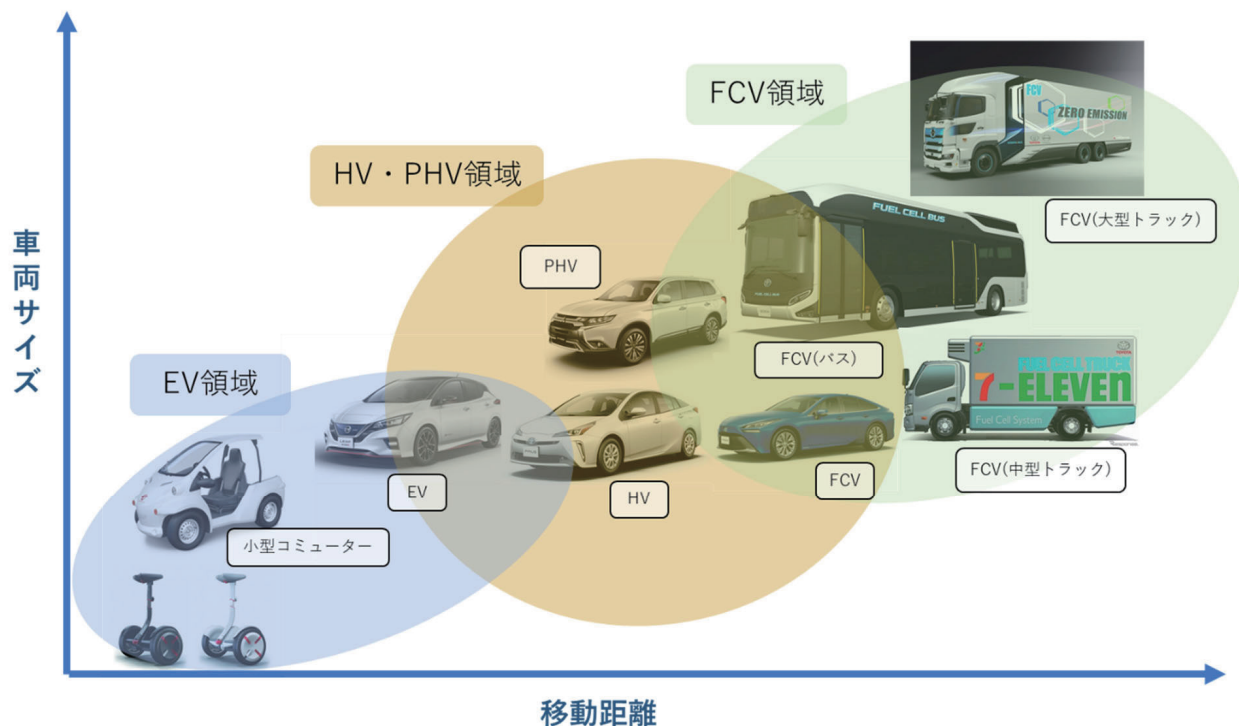


図 55 燃料電池自動車の移動距離、車両サイズ比較イメージ

## ②課題

一般ユーザーに市場を拡大するためには一定の経済性を確保することが重要であり、そのためには燃料電池自動車の最大の課題は、コストの低減である。

燃料電池自動車のコスト低減を図るには、燃料電池システム（燃料電池、補機部品、水素貯蔵システムなど）の大幅なコスト低減が必要である。また、燃料電池自動車のコスト低減には量産効果の影響も大きく、市場の拡大を進めていくことも重要である。

### (2) 燃料電池バス (FCバス)

#### ①特徴

燃料電池自動車の一種で、燃料電池システムを搭載して自ら発電しながら走行するバスである。

国内では、トヨタと日野自動車が開発した燃料電池バス (FCHV-BUS-2) があり、愛知万博や中部国際空港、成田～羽田空港間などで実証運行された。2015 年初には新たな FC バスが発表され、愛知県豊田市内の路線バスとして新年から営業運転を開始している。このバスには、先に発売を開始した燃料電池車 (MIRAI/乗用車) のトヨタ・フューエルセル・システム (TFCS) が搭載されており、FC スタック (発電装置) とモーターなどを 2 個搭載して出力の向上を図ったのに加え、高圧水素タンクも 8 本 (MIRAI は 3 本) 搭載している。また、災害時などに外部に電力を供給する外部電源供給システムも備えている。

さらに同社では、燃料電池バス「SORA」の型式認証を FC バスとして国内で初めて取得し、

2018年3月より販売を開始した。これは、2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて、東京を中心に100台以上のFCバス導入を想定し、現在、市街地を走行するFCバスが増え、一般社会からの理解が高まりつつある。

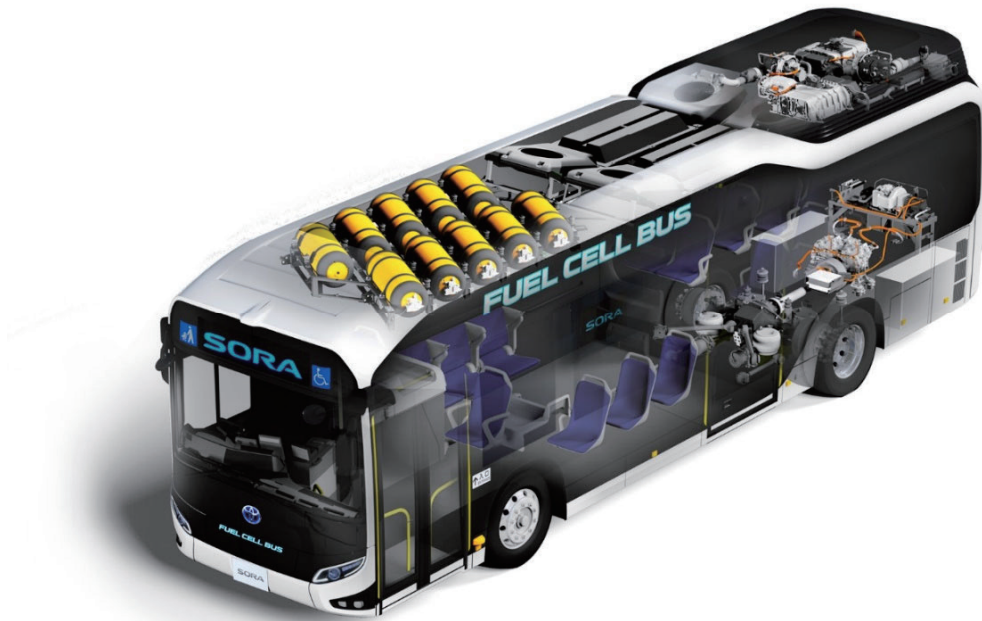


図 56 燃料電池バス SORA (出典：トヨタ自動車 HP)

表 6 燃料電池バス SORA スペック

車 両	車名	SORA
		全長/全幅/全高
	定員 (座席+立席+乗務員)	79 (22+56+1)人
FC スタック	名称 (種類)	トヨタ FC スタック (個体高分子形)
	最高出力	114kW×2 (155PS×2)
モーター	種類	交流同期電動機
	最高出力	113kW×2 (154PS×2)
	最大トルク	335N・m×2 (34.2kgf・m×2)
高圧水素タンク	本数 (公称使用圧力)	10本 (70MPa)
	タンク内容量	600L
駆動用バッテリー	種類	ニッケル水素
外部電源供給システム	最高出力/供給電力量	9kW/235kW

出典：トヨタ自動車 HP

## ②課題

FCV（燃料電池自動車）と同様に、コストが課題である。初期のコストはかなり高いと思われ、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である。燃料電池バスは防災対策・レジリエント化などの視点から、自治体主体での導入が望まれる。

また、高速バスなどの長距離の都市間輸送用のバスに適用を拡大していくためには、長時間連続での高負荷条件の使用や生涯走行距離がより長距離となることから、燃料電池システムのより一層の耐久性、信頼性の向上が必要である。

## (3) 燃料電池フォークリフト（FC フォークリフト）

### ①特徴

フォークリフトの従来の駆動方式はガソリンや軽油等のエンジン式が主流で、排ガス等が発生する。しかし、倉庫等の閉鎖的環境下での活用や、昨今の環境配慮等の面から電動式フォークリフトも存在する。そこで、燃料電池式のフォークリフトの開発が進められ、現在、欧米では環境配慮の面から燃料電池フォークリフト（FC フォークリフト）が発売され、米国では1万5千台が稼働するなど普及が始まっている。

豊田自動織機・トヨタL&Fカンパニーは、1.8t積燃料電池（FC）フォークリフトの販売を2019年の秋に発売した。同社は2016年11月、日本初となるFCフォークリフトの販売を開始し、国・自治体の実証実験を含め累計で約160台を納入。これまでは2.5t積タイプ1種類だったが、より小型なFCフォークリフトへの要望に対応するため、環境省の「CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」を通じて開発に取り組み、1.8t積タイプの発売に至った。

1.8t積タイプも2.5t積タイプ同様、稼働時にCO2やNOxなどを排出しない優れた環境性能と、約3分で水素燃料充填が完了する高い利便性を備え、非常用電源としても活用できる外部給電機能を標準装備する。また、2.5t積タイプ同様、経済産業省・国土交通省連携「脱炭素社会構築に向けた再エネ等由来水素活用推進事業」にて導入補助の対象で、標準仕様の価格は1,340万円と発表されている。



図 57 燃料電池フォークリフト

出典：トヨタ L&F HP

## ②課題

日本では屋内での水素供給設備について例示基準はなく、基本的に水素ステーションの基準に準じてしまうため、通常の水素ステーション並みに保安距離(離隔距離)を大きくとる必要がある。また、閉鎖空間の水素設備の要件(換気など)に配慮する必要がある。

現状でFCフォークリフトは35MPaシステムなので、70MPaの燃料電池自動車用水素ステーションとは別のシステムを設置する必要がある。

また、倉庫や配送センターで活用する場合、2交代制以上で稼働する施設でないと短時間燃料充填のニーズが少ないと考えられる。

## (4) 家庭用燃料電池(エネファーム)

### ①特徴

家庭用燃料電池(エネファーム)は、都市ガスやLPガスから取り出した水素と空気中の酸素を化学反応させ電気をつくり出すことができる。このとき発生する熱でお湯を沸かし、給湯などに利用することでエネルギーの有効活用と省エネにも貢献できる製品として期待されている。

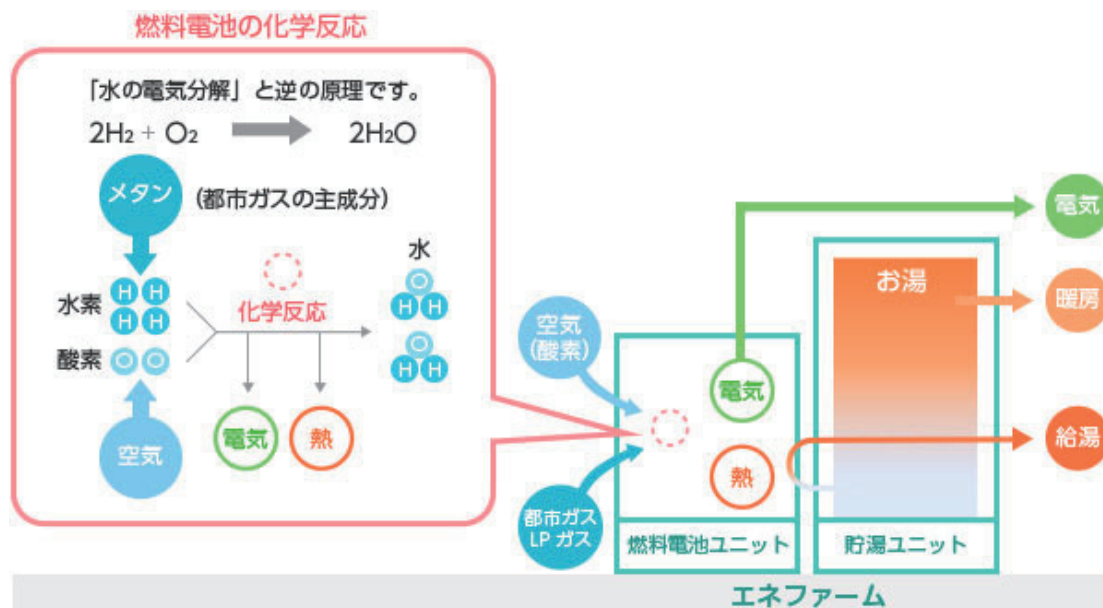


図 58 家庭用燃料電池（エネファーム）の構造

家庭用燃料電池では、様々な手法で使用されている電解質の違いにより、発電効率や運転温度等が異なり、それぞれに想定されている用途が異なってくる。その特徴を以下に示す。

- ・ 固体高分子形燃料電池（PEFC）
 

電解質材料にイオン交換膜を使用したもので、発電効率は 30～40% (HHV) であるものの、運転温度が 70～90℃と低く燃料電池を構成する機器の小型化が可能なことから、家庭用の燃料電池や自動車として実用化されている。
- ・ 固体酸化物形燃料電池（SOFC）
 

電解質材料にジルコニア系セラミックスなどを使用したもので、発電効率は 40～65% (HHV) と高くなりますが、動作温度が 700～1,000℃のため、火力発電所等の高出力の発電設備の代替としての用途が期待されているとともに、家庭用の燃料電池として実用化されている。

表 7 家庭用燃料電池（エネファーム）の種類と特徴

	個体高分子型燃料電池（PEFC）	個体酸化物型燃料電池（SOFC）
電解室材料	固体高分子膜	ジルコニア系セラミックス
運転温度	70～90℃	800～1,000℃
発電効率(HHV)	30～60%	約 50～65%
想定出力	～100kW	～100,000kW
想定用途	家庭用、小型業務用、自動車用、携帯端末	家庭用、業務用、工業用、分散電源、火力代替

## ②課題

経済性を向上させるためには、対象ユーザーを拡大することで量産効果を高めることも重要である。現在は新築の一戸建てへの導入が多いが、ユーザー拡大のためには、都市部に多い集合住宅への展開が必要であり、より小型・省スペースなユニット開発が必要である。既存住宅への導入拡大も視野に入れると、導入した場合のユーザーメリットをより明らかにする必要もある。

## (5) 業務用・産業用燃料電池

### ①特徴

家庭用燃料電池と同様に、都市ガスなどを燃料として用い、改質装置により水素を発生させ、燃料電池にて水素と酸素（空気より）が反応することで発電を行うものである。家庭用が1kW程度の発電容量であるのに対し、業務用では数kWから1MW、産業用では数～数百MWの発電容量となる。

業務用・産業用システムでは、起動停止耐久性や負荷追従性は家庭用より制約が少なくなるが、より高効率で長期耐久性が必要となる。

燃料電池の種類としては、通常はリン酸形燃料電池(PAFC)や熔融炭酸塩形燃料電池(MCFC)、固体酸化物形燃料電池(SOFC)が用いられる。

### ②課題

米国や韓国においては、政府や自治体の補助制度もあり、熔融炭酸塩形燃料電池(MCFC)、リン酸形燃料電池(PAFC)、固体酸化物形燃料電池(SOFC)を用いた100kW～2MW級システムの導入が進んでいる。導入容量ベースでは日本国内の家庭用燃料電池に匹敵する市場となっている。定置用燃料電池産業における我が国の産業競争力の維持発展のためには、可能な限り早期に中・大容量燃料電池システムを市場投入することが重要となっている。

一方、現在の中・大容量燃料電池システムのイニシャルコストや燃料コストなどのランニングコスト低減程度のメリットでは国内ユーザーへの訴求力が不十分であり、一層の経済性の向上が必要である。そのためには発電効率と耐久性の向上が必要であり、さらには補機部品(BOP: Balance of Plant)のコストダウンや各種規制緩和などの環境整備も重要である。

## (6) 水素燃焼タービンを使った水素混焼や専焼等での発電

### ①特徴

再生可能エネルギーの大量導入を進めるにあたっては、その出力変動を吸収するために、天然ガス火力発電等によるサポートが必要である。それらの天然ガス火力と同等の機能を果たすことができる水素発電も、低炭素化や脱炭素化を目指す中で有効な手段として注目されている。

水素発電では、化石燃料の代わりに水素を燃焼させ、その燃焼ガスでタービンを回し発電を

行う。天然ガス等と水素を混合し、発電をする方式と混焼発電とよび、また、水素のみで発電する方式を専焼発電と呼ばれており、世界では混焼発電の実証試験や商用化が進められている。

ガスタービンを用いた水素発電では一定の技術的なハードルをクリアする必要がある。また、従来のガスタービンと同様に発電の規模を拡大させることが可能と言われている。

## ②課題

水素と天然ガス等を比較した場合、水素は「発熱量が少ない」「燃焼速度が速い」「火炎温度が高い」等の特徴がある。そのため、ガスタービンにおいて水素を燃料として使用する場合、各種構造の再検討が必要になってくると言われている。

特に、水素の発熱量不足への対応として、ガス配管や噴射ノズルを水素専用に変更し流量を増加させる為の加工。また、燃焼速度の面で、予混合方式の場合、逆火による燃焼器の損傷防止策が必要と言われている。さらに、火炎温度が高い部分においては、局所的にホットスポットが生じ、窒素酸化物等の有害ガスが発生するのを抑える工夫も必要と言われている。

## (7) 燃料電池船舶

### ①特徴

船舶業界でも、国際海事機関において温室効果ガス排出ゼロを目指す指針が採択されており、世界的な環境規制強化が進みつつある。国内では、ヤンマーホールディングスとグループ会社のヤンマーパワーテクノロジーは2021年3月より、水素燃料を利用した将来のパワートレインの技術開発の一環で、船用水素燃料電池システムの実証試験を開始した。

実証試験艇「FCプロト艇」は、トヨタ自動車の燃料電池自動車『MIRAI』（ミライ）用燃料電池などを組み合わせて開発した船舶用燃料電池システムを、自社製ボートに搭載しており、国土交通省の「水素燃料電池船の安全ガイドライン」に国内で初めて正式に準拠した船舶となり、将来的には、2025年までの実用化に向け、燃料電池システムの複数台連結による大容量パッケージを開発し、より大型の船舶に対して水素燃料を使用したソリューションの提供を目指すと言われている。

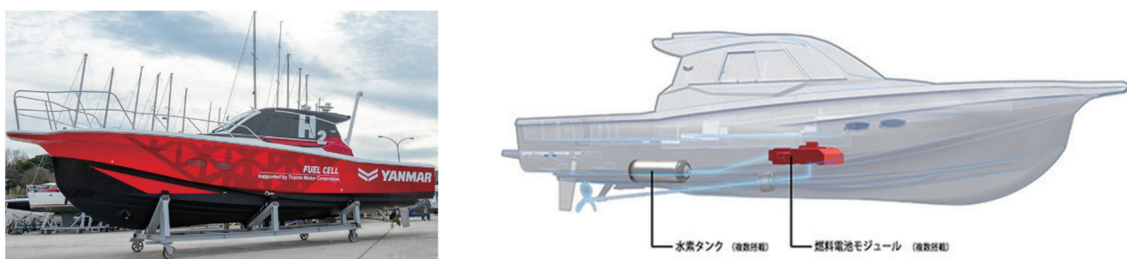


図 58 FCプロト艇（写真）と（構造図）

出典：ヤンマーホールディングス(株)HP

## ②課題

現在、燃料電池船舶の開発が進みつつある中で、実運用に向けた船舶特有の課題の抽出と対策の評価を行なう必要と、様々な環境、用途、サイズに応じた方式等を行う必要があると言われている。

### (8) 水素利用のまとめ

家庭用を含め定置用燃料電池は10年程度以上の製品寿命が要求されるため、長時間運転の耐久性・信頼性が必要である。一方、燃料電池自動車では、自動車の起動停止や加減速に伴う急速な出力変動サイクルに対する耐久性・信頼性が重要となる。

こうした用途ごとに要求される様々なレベルの耐久性・信頼性を確保しつつ、コスト低減を図ることが、燃料電池技術の本格普及へ向けた課題である。加えて、システムの高効率化、燃料電池自動車や燃料電池船舶への搭載性向上やシステムのコスト低減につながる小型・高出力密度化、セルや周辺部材の量産技術なども重要課題である。

## 2-2 水素エネルギー利活用の課題

### 2-2-1 水素エネルギー全般の課題

水素社会実現に向けて、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。また、先進地ヒアリングでは、水素燃料電池製品に対する不信感（安全性、耐久性、信頼性）、割高感を抱くユーザー、企業が多く、水素供給インフラ（安定供給、価格）や製品（FCVとエネファーム利用）が現時点で市場ニーズに合致していないといった声も聞かれた。さらに、水素に対する社会的受容性（「水素爆発」、「水素爆弾」等悪い印象）の確保が必要という意見も聞かれ、水素エネルギー普及のイメージ（ユーザー、企業、自治体等）を広く周知する必要もある。

### 2-2-2 水素供給（製造・輸送・販売）における課題

水素は多様なエネルギーや資源から製造することが可能であり、それぞれの水素製造技術は安定性や環境性、経済性などの面で一長一短があり、技術の実用化、地域性、経済性も勘案し、その地域に適した展開を考える必要がある。

また、水素は体積当たりのエネルギー密度が低く、どのような手段で高い密度に維持しつつ、輸送・貯蔵するかが課題となる。

特に、水素の利用先が多く見込まれる燃料電池自動車の場合には、最終的に70MPa以上に昇圧する必要があることから、規制の遵守等様々なハードルをクリアする必要がある。

### 2-2-3 水素利用における課題

水素社会が注目され、国や様々な企業が水素エネルギーに関連する製品を開発し、市場導入を図る中、燃料電池自動車や家庭用燃料電池（エネファーム）などの製品が増えたこともあり、かつてより水素エネルギー製品を身近に認識できるようにはなってきた。しかし、普及は依然ゆるやかで、「水素社会」という大きなビジョンが実現するには、今なお解決すべき課題が多い。

バスやフォークリフトを含め、燃料電池自動車は、市場を拡大するためには一定の経済性を確保することが重要である。

コスト低減を図るには、燃料電池システム（燃料電池、補機部品、水素貯蔵システムなど）の大幅なコスト低減が必要となる。そのため、量産体制を構築し、市場の拡大を進めていくことも重要と言われている。

一方、家庭用燃料電池（エネファーム）については、経済性を向上させるため、量産効果を高め、現在の価格コスト低減を図る必要があると言われており、現在は新築の一戸建てへの導入が多いが、ユーザー拡大のためには、都市部に多い集合住宅への展開が必要であり、

より小型・省スペースなユニット開発が必要であると言われている。

さらに、水素エネルギー製品については一般ユーザーの認識が乏しく、製品の利点や活用イメージを広くユーザーが目にする機会を作り、活用のメリットを周知することが必要と思われる。

#### 2-2-4 水素エネルギー行政支援等に関する課題

日本において水素エネルギーは、化石燃料からの脱却、エネルギー安全保障の確保、再生可能エネルギーの無駄のない利用、新産業創出と、水素社会のもたらすメリットは多いと言われており、政府も本腰を入れ「エネルギー基本計画」に、水素エネルギーの具体的な利用が明記され、基本計画を基にした「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を公表、3段階のフェーズで水素社会を目指すシナリオが示されている。

しかし、水素社会実現には様々な技術的課題をクリアすることが必要で、水素基本戦略を提示し目標を定め、重点的に取り組むべき技術開発（3分野10項目）を実施している途中である。これらから得られた成果を基にした製品の上市には時間がかかると見られている。

また、経済産業省、NEDO、環境省から水素エネルギーに関する様々な研究開発や実証事業の予算が拡大され実施されているが、未だ道半ばである。

いくつかの自治体においても、各自治体の施策に基づき特に環境の面から水素エネルギー利用を図るため、水素エネルギー製品導入補助事業を設け導入促進が図られている。しかし、制度を特設設けてない自治体もあり、全国でも温度差がある。

## 2-2-5 水素エネルギー普及に伴う課題解決事例

水素エネルギーの普及実現に向けては、上記水素全般でも述べたとおり、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、制度整備等の制度面の課題、水素供給（製造・輸送・販売）体制等の課題といった、多くの課題が存在する。

まず、技術面においては、現在国や企業が基礎から実用化段階、水素エネルギーの製造、輸送・貯蔵、利用と多岐にわたる課題を、技術領域と市場の状況によって求められる技術に着目し産学官連携により解決に取り組んでいる。今後、様々な技術的課題について現在実施されている取組の成果から、課題解決が図られると考えられる。



図 59 水素社会実現に向けた技術課題

出典：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」より（経済産業省）

また、水素エネルギーの普及を図るため重要となる水素製品においては、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。

さらに、水素製品の普及にあたっては、国の導入支援制度のみならず、自治体（都道府県、市町村）での施策に基づいた購入補助金や水素ステーション整備補助金を設けるなど、ユーザーや企業が購入、導入しやすい環境を整えるための課題解決策を打ち出している。水素製品がより普及しやすい環境を整えることで、水素社会実現のための課題解決に様々な普及策が講じられている。

### 3. 沖縄地域における水素エネルギー活用方策

#### 3-1 沖縄地域の水素エネルギー動向

##### 3-1-1 沖縄地域における水素エネルギーへの関心度

###### (1) 沖縄地域における水素エネルギー認識度調査

###### ①目的

本調査において、沖縄地域における今後の水素エネルギーの導入可能性について検討を図るため、沖縄地域の人々の水素に対するイメージや考え方、水素に関する知識、方向性等を伺い、地域住民の意向を集計し、沖縄地域における水素エネルギーの方向性をとりまとめる。

###### ②対象

沖縄地域在住の20歳以上の方

###### ③手法

ネットによる回答方式

###### ④回答者数

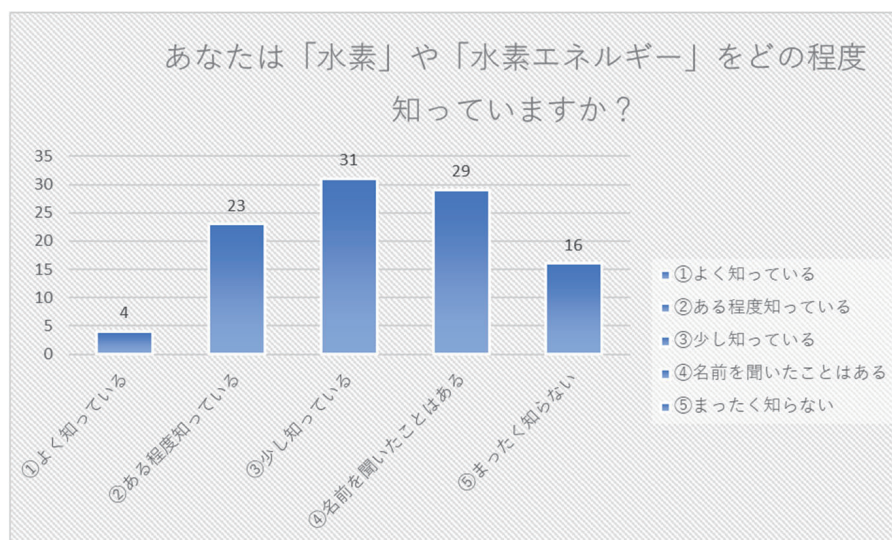
103名

###### ⑤アンケート内容・結果

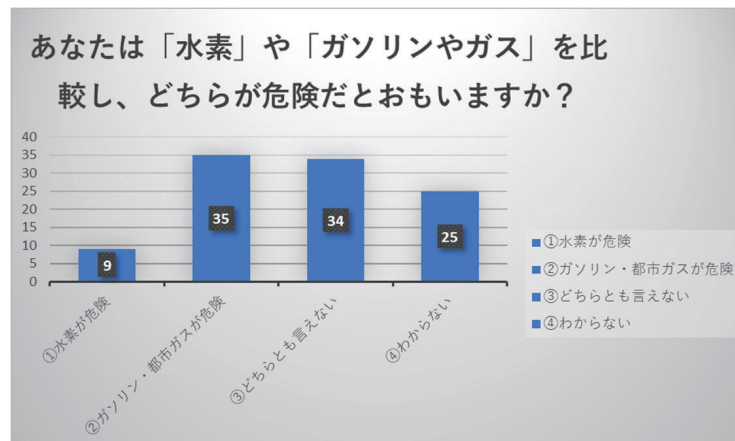
項目1：水素エネルギーへの興味、関心、イメージについて

項目1については、「水素」に関する知識と、危険性について設問を設け2つの問いとした。その回答結果から、多くの回答が、水素エネルギーへ興味や関心を持ち、ある程度の危険性を持っていると、認識していた。

設問 1-1 あなたは、「水素」や「水素エネルギー」についてのどの程度知っていますか。



設問 1-2 あなたは、「水素」と「ガソリンや都市ガス」を比較した場合に、どちらがより危険だと思いますか。

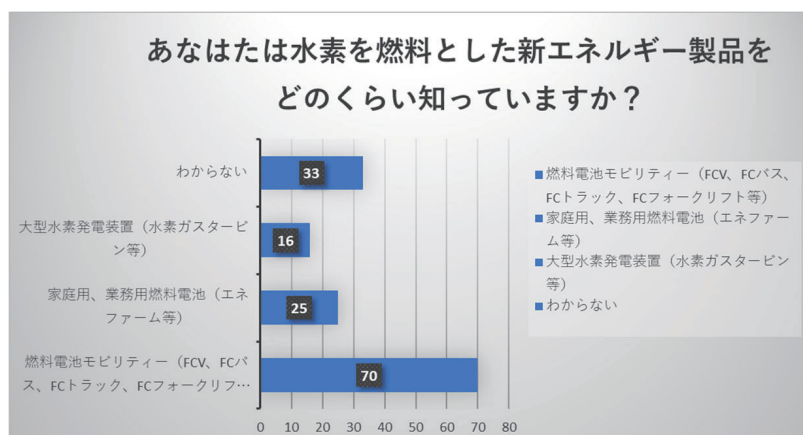


## 項目 2：水素を利用した新エネルギー製品の利用について

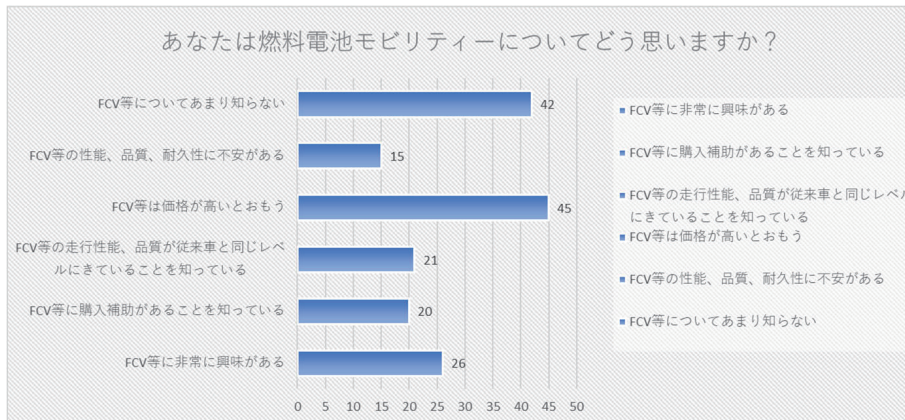
項目 2 については、「水素エネルギー」とそれら製品に関する設問を 8 問設け実施した。その回答結果から、利用面においては、燃料電池自動車の存在を多くの方が認識しており、燃料電池自動車の印象として、「価格が高い」とのイメージを持つ方が多かった。燃料電池自動車の購入希望価格は、「200～300 万円台」が最も多く、現状のガソリン車購入と同等な価格帯を想定していた。購入するとした理由は、「化石燃料使用の軽減」が多く挙げられ、環境に対する意識が高い方が購入を望む傾向が見られた。購入しない理由としては、「利用のイメージがつかない」と回答した方が多く、燃料電池自動車が行く環境を整え、広く周知することが良いと思われる。

一方、家庭用燃料電池（エネファーム）については、あまり知られてない印象で、回答数も「知らない」とする回答が多かった。購入についても「わからない」の回答が多く、そのメリット等を広く周知することが必要と思われる。

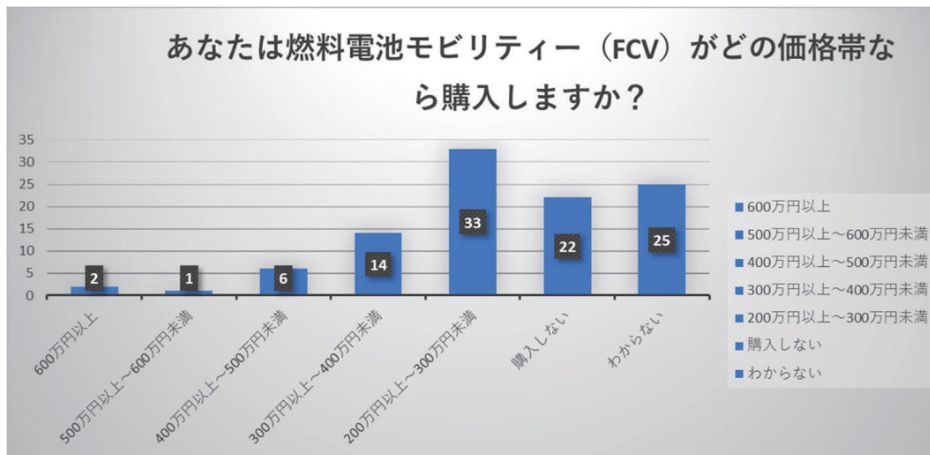
設問 2-1 あなたは水素を燃料とした新エネルギー製品をどのくらい知っていますか。  
(あてはまるものすべて)



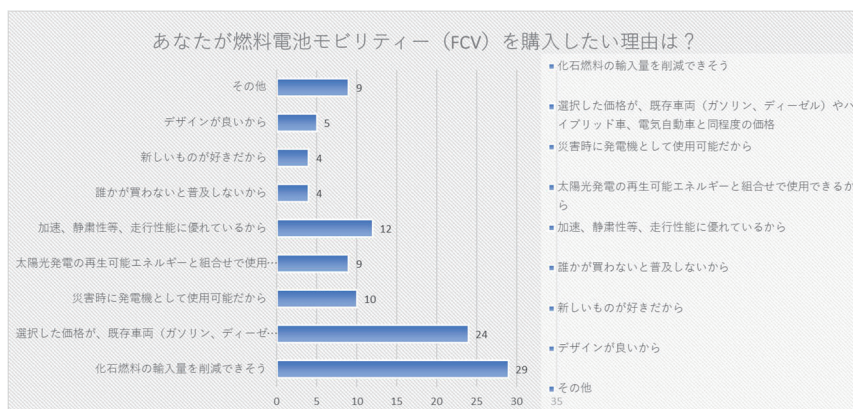
設問 2-2 あなたは、燃料電池自動車についてどう思いますか。  
(あてはまるものすべて)



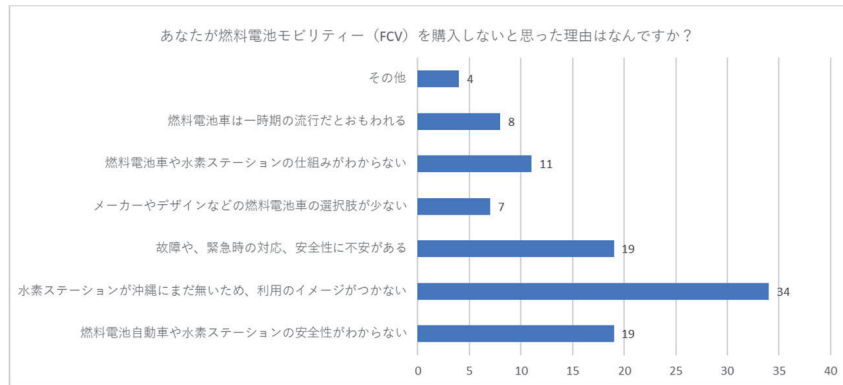
設問 2-3 水素で発電した電気で走る燃料電池自動車（FCV：トヨタ MIRAI、ホンダ CLARITY FUEL CELL）が発売されています。あなたは、どの程度の価格（補助金を除いた実質支払額）なら購入したいと思いますか。



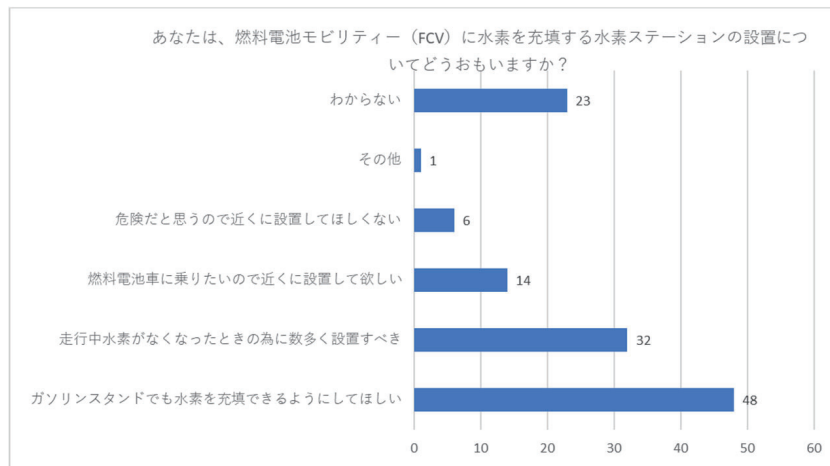
設問 2-4 あなたが燃料電池自動車を購入したいと思った理由はなんですか。  
(あてはまるものすべて)



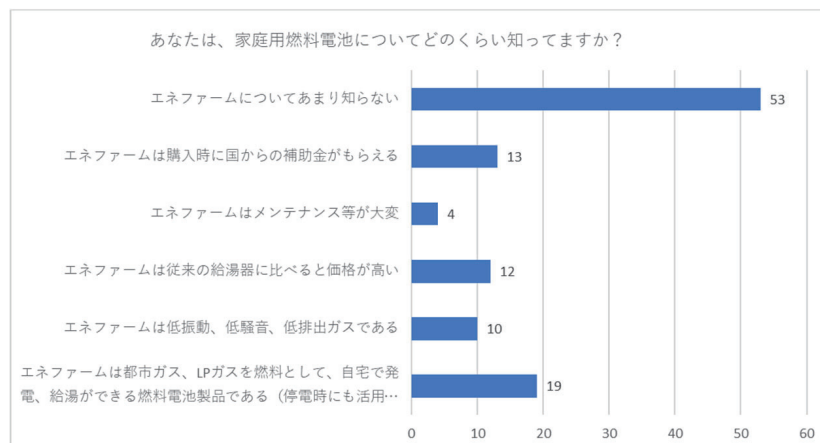
設問 2-5 あなたが燃料電池自動車を購入しないと思った理由はなんですか。  
(あてはまるものすべて)



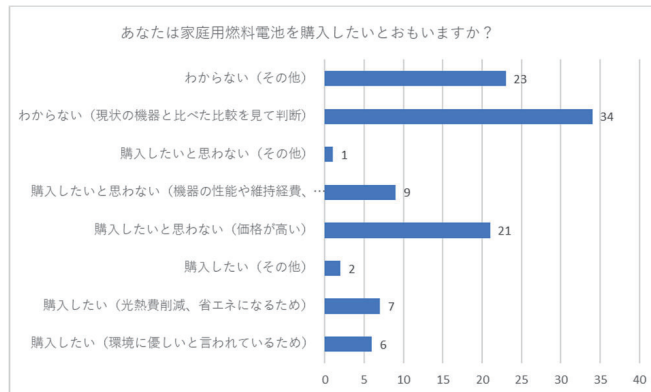
設問 2-6 あなたは、燃料電池自動車に水素を充填する水素ステーションの設置についてどう思いますか。(あてはまるものすべて)



設問 2-7 あなたは、家庭用燃料電池（エネファーム）をどのくらい知っていますか  
(あてはまるものすべて)



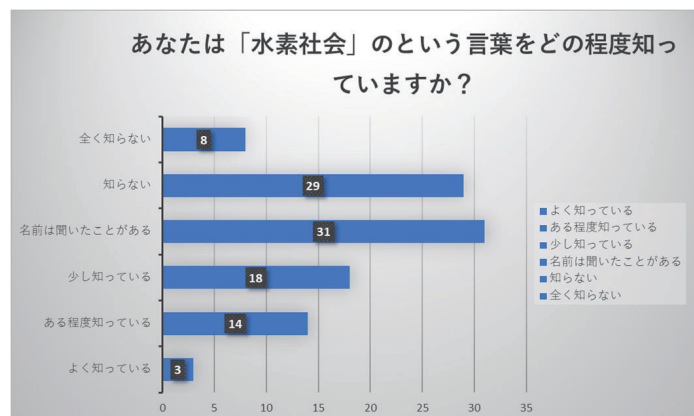
設問 2-8 あなたは、家庭用電量電池（エネファーム）を購入したいとおもいますか



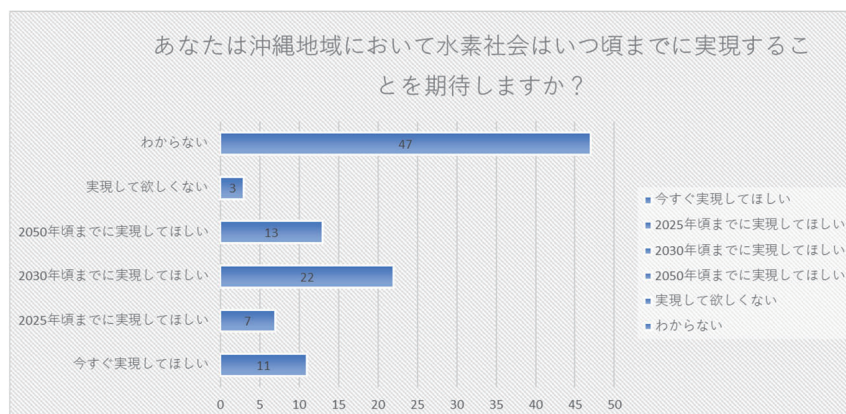
### 項目 3：水素エネルギーを活用した社会について

最後の設問では、沖縄地域における「水素エネルギー」を活用した社会についての問いでは、「水素社会」を知っているとの回答が若干多く、実現については「わからない」と回答した方が多かった。「水素社会」実現に必要なこととして、「水素ステーションの整備」と答える方が多かった。

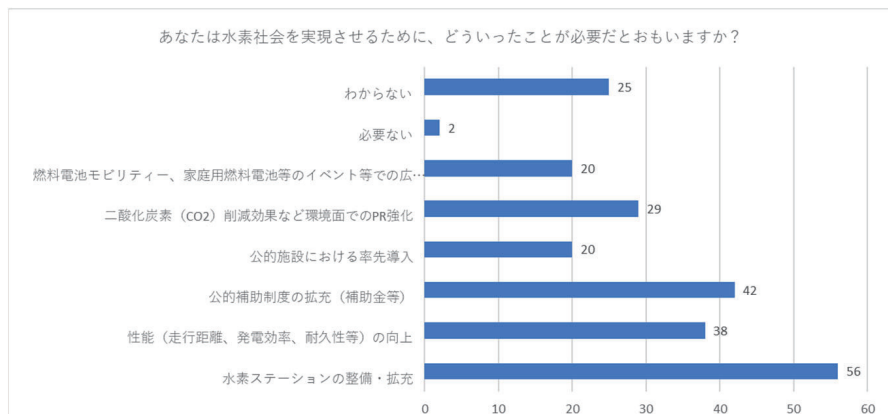
設問 3-1 あなたは、「水素社会」という言葉をどの程度知っていますか。



設問 3-2 あなたは、沖縄地域において水素社会はいつごろまでに実現することを期待しますか。



設問 3-3 水素エネルギー（燃料電池自動車や家庭用燃料電池など）を普及させ、水素社会を構築するためにはどういったことが必要だと思いますか。  
 (あてはまるものすべて)



#### ⑥アンケートのまとめ

アンケートから、「水素」に関する認識はあるものの、アバウトな認識であり、利用面（燃料電池自動車、家庭用燃料電池）では認識はあるもの、まだ利用のイメージやメリット・デメリットの判断がつかない状態であり、それ故に価格が高いイメージを持っている。「水素社会」実現には利用面での製品の周知と、製品を支えるインフラの整備が必要との認識があると思われる。

## (2) 沖縄地域における企業への水素エネルギー関心度ヒアリング

沖縄地域における、水素エネルギーの供給、利用面について、関連する企業へのヒアリングを実施し、以下のとおり取りまとめを行った。なお、新型コロナウイルス感染防止の観点から、ヒアリングは電話にて実施した。

### ①化学薬品製造企業「A社」

○本業：

- ・県内での塩素、苛性ソーダ等様々な化学薬品製造、販売

○水素製造のポテンシャル：

- ・塩素、苛性ソーダ精製時に副次水素が発生しており、一部は製造に使用され、未利用水素は年間 350k m<sup>3</sup>ある

○水素に対する意見：

- ・現在未利用の「水素」が活用できるなら良いが、それに伴う設備導入等については、自社投資は厳しい

### ②ガス販売企業「B社」

○本業：

- ・ガス類の販売（配送も含む）事業を行っている

○水素輸送、販売のポテンシャル：

- ・過去に少量の水素を販売した実績はあるが、現在取扱い無し

○水素に対する意見：

- ・水素の需要はほぼ無いので、大変厳しいと思う
- ・燃料電池自動車での需要も高まっているが、会社としては県内の情勢に応じて対応する

### ③石油販売企業「C社」

○本業：

- ・石油、ガス、輸送等の事業を幅広く行っている

○水素輸送、販売のポテンシャル：

- ・ガソリンスタンド運営や輸送等のノウハウ、資格等保有

○水素に対する意見：

- ・水素に関して、社内での関心度も高く、今後取組みたいと考えている
- ・水素関連設備導入にあたっては補助金等を活用したい

### ④燃料電池自動車販売企業「D社」

○本業：

- ・自動車の販売全般を行っている

○燃料電池自動車のポテンシャル：

- ・メーカーから車両に関する販売の指示はきているが、インフラが整っていないため、当面販売できないと考えている
- ・ユーザーから数件の電話問い合わせはある

○水素に対する意見：

- ・供給インフラが整っていないので、当面の販売は厳しいとおもわれる

⑤路線バス運営企業「E社」

○本業：

- ・県内の路線バスを運行している

○燃料電池バスのポテンシャル：

- ・燃料電池バスについては、車両価格が高いため採算性の面で導入はきびしい
- ・そもそも、水素ステーションが無いいため、運行のイメージができない

○水素に対する意見：

- ・路線バス運営は非常に厳しいため、燃料電池バスの導入については、公的な支援が必要になる

⑥タクシー運営企業「F社」

○本業：

- ・県内でタクシーを運行している

○燃料電池自動車のポテンシャル：

- ・燃料電池自動車のメリットを知らない
- ・現在、LPG車とハイブリッド車を保有しているが、燃料電池自動車との比較が必要

○水素に対する意見：

- ・新型コロナの影響により稼働が低くなっている状況で、運営費の低減に努めている。そのため、高額な車両や燃料費高騰は会社としても死活問題であり、燃料電池自動車のタクシー導入はまだまだ先だと考えている

⑦企業ヒアリングまとめ

沖縄地域で水素に関連する企業へのヒアリングを行った結果、供給面（製造・輸送・販売）では、副生水素が発生しており、現状未利用の部分も多く、その水素を供給できる可能性があることがわかった。また、輸送、販売面においても、水素に関心を持ち、輸送、販売のノウハウを活かせる企業があることがわかった。しかし、両者も新たなインフラ設備の設置にはリスクの面から公的な支援がないと取り組めない状況と語っている。

また、利用面において、販売企業では車両の販売は可能であるが、水素ステーションが無い状況から、販売できない状況であり、また、運用する路線バス、タクシー会社の意見でも、燃料電池自動車（FCバス、FCV）はインフラと導入、運用コストの検討が必要と語っている。

### 3-2 利用

沖縄における水素エネルギーの利用面でのメリット、デメリットを整理し、想定される課題を整理し、対応策と水素エネルギー利用についての想定イメージを提示する。

#### 3-2-1 水素エネルギーの利用面でのメリット、デメリットの整理

##### 燃料電池自動車

###### 《メリット》

###### ○FCV 等の環境性能：

- ・ 二酸化炭素等の汚染ガスを一切発生させない、排出されるのは水のみ

###### ○FCV の製品性能：

- ・ 燃料電池のエネルギー変換効率は、ガソリン車に比べるとおよそ倍
- ・ 充填時間が約 3 分で、ガソリン車と遜色なく、EV 車に比べ短時間
- ・ 走行距離は EV 車に比べ長く、ガソリン車と同等
- ・ 燃費は EV 車が約 4.3 円/km、ガソリン車（ハイブリッド）は 5～6 円/km、ガソリン車は約 8.1 円/km、FCV は約 6.7 円/km
- ・ 燃料となる水素は約 1,100 円/kg の販売価格で、車両により満充填で 4～5kg 入るため、ガソリン車と同程度の維持費
- ・ 静粛性は EV 車と同等で、騒音リスクはきわめて低い

###### ○FCV の経済性：

- ・ 車両価格は国の補助制度等を活用し、ガソリン高級車と同じくらいの額
- ・ 燃費については、EV 車には劣るものの、ガソリン車と同程度の燃費
- ・ ランニングコストの面では、車検毎のタンク検査のみ

###### ○沖縄地域での利用メリット：

- ・ 走行性能が高く、ガソリン車と遜色が無いことから、環境意識を高く持つ一般ユーザーや企業、行政等に最適な車両

###### 《デメリット》

###### ○FCV 製品価格、性能、水素販売価格：

- ・ FCV は国内で 3 種類（トヨタ、ホンダ、ヒュンダイ）の販売で、価格も 700 万前後、国の補助金を活用しても 500 万前後
- ・ 燃料となる水素は約 1,100 円/kg の販売価格で、あくまでも普及目的とした外販用の価格であり、将来的に同額で提供出来るか不透明

###### ○水素ステーションの少なさ：

- ・ 水素ステーションが少なく、ステーション整備費用も高額で増やすまでに時間が必要

###### ○沖縄地域での利用デメリット：

- ・ 塩害等の多い環境での FCV の信頼性の面での不安（耐久年数低下への懸念）

## 家庭用燃料電池

### 《メリット》

#### ○エネファームの環境性能：

- ・ガスや石油を使わずにエネルギーを作ることができるので、オール電化やネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）住宅等にも導入されている。また、二酸化炭素等の温室効果ガス等を一切発生させない、排出されるのは水のみ。

#### ○エネファームの製品性能：

- ・家庭用燃料電池は、都市ガスやLP ガスなどを使って発電し、同時に発電の際に発生する熱を給湯や暖房に利用できる“コジェネレーションシステム”であり、省エネルギーを実現する機器である
- ・太陽光発電と組合せによる効率的な自家発電

#### ○エネファームの経済性：

- ・エネファームの寿命は 20 年程度
- ・エネファームを設置による毎月の光熱費が削減。初期費用の回収は 8～10 年程度
- ・導入にあたり 2～4 万円程度の補助金を受けることが可能

#### ○沖縄地域での利用メリット：

- ・技術的に都市ガスやLP ガス利用からの転換が容易であり、本州で 10 年以上の実績がある
- ・LP ガスを利用する場合、家庭にガスボンベが設置されているという面で、台風等、災害時のレジリエンス（停電時の電力供給）対応性が高い

### 《デメリット》

#### ○エネファーム製品価格、性能、水素販売価格：

- ・エネファーム本体と設置工事代で、合計 150～300 万円程度
- ・一部の製品では、貯蔵しているタンク内の湯が沸くと発電しないような仕組みで、湯を使用する頻度や量により発電量が左右され、温熱需要が少ない地域では不利
- ・ランニングコストは、ガス料金の価格変動に依存

#### ○沖縄地域での利用デメリット：

- ・塩害等の多い環境での FC スタックの信頼性の面での不安（対応年数の減少）
- ・沖縄での導入実績が少なく、設備の信頼性や経済性等について評価しがたい

### 3-2-2 水素エネルギーの利用の課題の整理

#### 課題①：製品価格と採算性

##### ○燃料電池自動車製品価格

- ・燃料電池自動車の国内価格は700万円前後
- ・国の購入補助金は約200万円
- ・他府県では国の補助金に加え+100万円の助成制度有り
- ・現在の燃料電池自動車の実質購入価格は400～500万円前後となる

##### ○EV車との価格比較

- ・EVは国の購入補助を利用した場合で300万円前後、よってFCVはEV車よりも100万程高い

##### ○エネファームの価格

- ・導入コストが約100万円前後で投資コスト回収に時間を要す

#### 課題解決案

- ・自治体独自の補助制度の設置による導入促進

#### 課題②：水素ステーション

##### ○水素の供給

- ・現状、沖縄において水素を調達することは機材が揃っておらず難しい
- ・県外からの調達については、輸送コスト分割高

##### ○水素ステーション設置

- ・水素ステーション建設は、約3～4億円、一般のガソリンスタンドの約2倍
- ・保安基準等の面から、ある程度広い敷地が必要
- ・県内は燃料電池自動車が少なく、採算が合うまでに時間と費用を要す

#### 課題解決案

- ・初期施設に対し公的資金による水素ステーション整備

#### 課題③：燃料電池自動車の周知

##### ○燃料電池自動車の認知度向上

- ・燃料電池自動車が走っていない環境では、燃料電池自動車を知ることが困難
- ・県民に燃料電池自動車FCVを知る機会を多く作る必要がある

##### ○燃料電池自動車の環境性能、経済性、安全性の周知

- ・燃料電池自動車の環境性能（排ガス無し）、良燃費性（6.7円/km）のPR
- ・水素爆発、漏洩等の危険性が低いことをPR

#### 課題解決案

- ・自治体公用車等への燃料電池自動車導入による県民周知
- ・公共交通機関への燃料電池バス導入によるPR

課題④：家庭用燃料電池の経済性と信頼性

○家庭用燃料電池の価格と経済性

- ・導入コストで約 150～200 万円
- ・初期費用の回収に 8～10 年

○家庭用燃料電池の信頼性確認と周知

- ・沖縄地域における FC スタックの信頼性（耐久性）の確認
- ・家庭用燃料電池のレジリエンス力の周知

課題解決案

- ・他府県同様に自治体での導入補助制度の設置による導入促進
- ・台風等、災害時のレジリエンス機能を PR

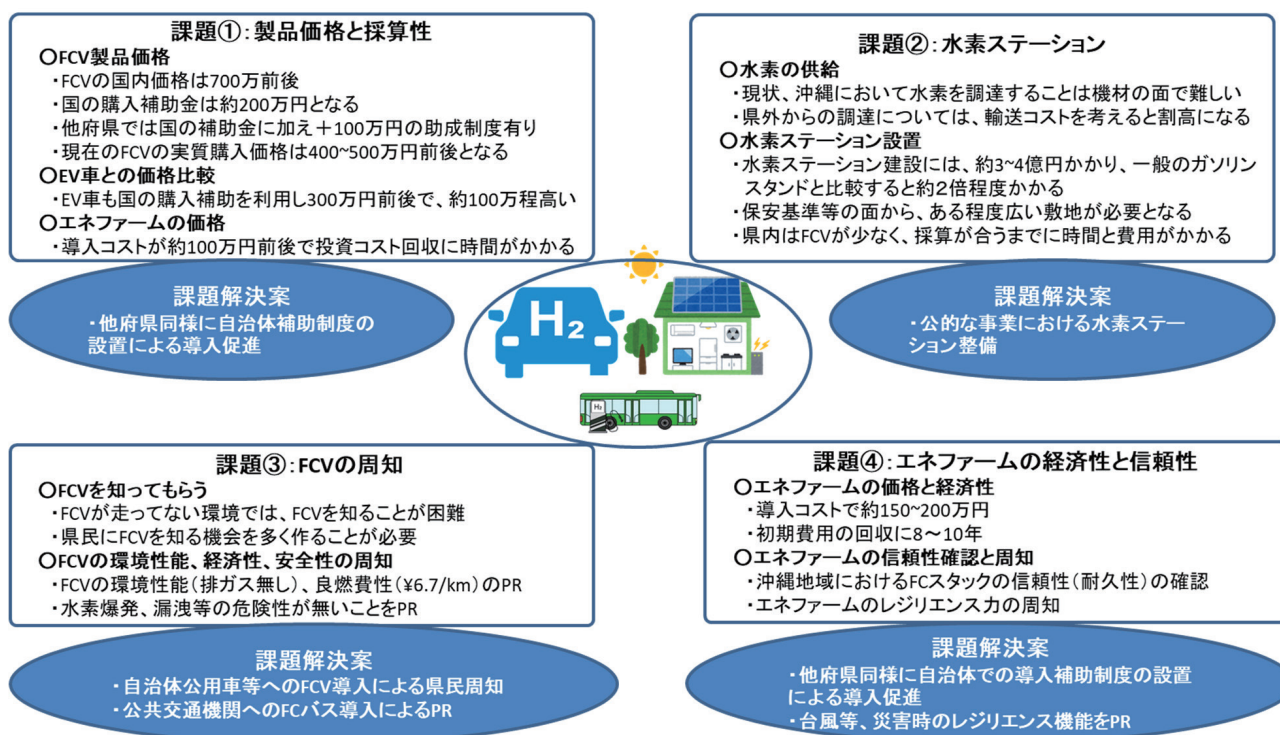


図 60 水素エネルギーの利用の課題

### 3-2-3 沖縄地域での利用想定イメージ作成

#### ○FCV

- ・FCV 導入には、はじめに水素ステーションの整備が必要
- ・FCV を県民に知ってもらうため、公用車や公共交通機関から先行し導入を進め、FCV のPRを図る。
- ・併せて、民間企業等への社用車としての普及を図りつつ、2025年には県内での副生水素の供給可能量より400台程度と算出、2030年には国の掲げる「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を参考に、2025年に比べ4倍程度の増加から沖縄地域では1,600台程度を目標に掲げ推進する。
- ・FCVの普及に当たっては、2025年の目標である400台について、副生水素供給では賅えなくなるため、FCV普及にあたっては地域外からの水素移入が前提となってくる。

#### ○エネファーム

- ・沖縄で普及が遅れているエネファームのPRを実施
- ・事業者用燃料電池システムについてもPRを行う

#### ○燃料電池（FC）船・沖縄県の地域事情も勘案し、FC船の需要も想定

表8 沖縄地域における燃料電池自動車普及想定台数

		2021年	2025年	2030年
全国	FCV将来普及台数	3,254	200,000	800,000
	水素ステーション将来整備箇所数	137	320	900
	水素ステーション1箇所あたりFCV普及台数	23.8	625.0	888.9
沖縄県	沖縄県のFCV将来普及台数	3	400	1,600
	沖縄県の水素ステーション将来整備箇所数	1	2	5
	水素ステーション1箇所あたりFCV普及台数	3	200	300

※2030年の水素ステーション整備箇所についてはFCV普及台数あたりの整備数から推計  
 (資料) METI「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版(2016年3月)」  
 (一財)自動車検査登録情報協会HP「都道府県別・車種別保有台数」

表9 沖縄地域における水素利用普及想定ロードマップ

利用者・車種	年 度	普及初期・FCVのPR期					普及中期・導入促進期				
		2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年
一般ユーザー	FCV (自家用車)										
企業	FCV (社用車)										
	FCトラック					400					1,600
	FCフォークリフト										
公共交通機関	FCバス										
行政機関	FCV (公用車)										
利用者・機種		普及初期・エネファームのPR期					普及中期・導入促進期				
一般ユーザー	家庭用エネファーム					400					1,000
企業	産業用燃料電池										
利用者・機種		FC船・研究開発期					普及初期・FC船のPR期				
漁業就労者	FC漁船										
運輸、観光	FC輸送船、観光遊覧船										

### 3-3 供給（製造・輸送・販売）

沖縄における水素エネルギーの供給面（製造・輸送・販売）でのメリット、デメリットを以下のとおり整理し、その中で想定される課題と水素エネルギー供給についての想定イメージを以下のとおり整理した。

#### 3-3-1 水素エネルギーの供給面でのメリット、デメリットの整理

##### 水素製造でのメリット

###### ○産業副生精製：

- ・様々な産業製造において発生する水素を有効利用することで、コストや環境に優しい製造が可能
- ・CO<sub>2</sub>発生量として、エネルギー利用してもカウントが制度上ゼロなので、FCVや燃料電池での活用により、沖縄県におけるCO<sub>2</sub>発生量の抑制に寄与

###### ○再エネからの精製：

- ・再生可能エネルギーを利用し、水の電気分解等により水素を精製し活用する最も環境に優しい製造

##### 水素製造でのデメリット

###### ○産業副次精製：

- ・精製時必要となる新たな設備（圧縮機、タンク等）に多額の費用がかかる

###### ○再エネからの精製：

- ・現在販売されている再エネ由来の水素製造器は非常に高価で、精製規模小さい

##### 水素輸送でのメリット

###### ○水素輸送：

- ・水素の利用先が燃料電池自動車の場合には、最終的に70MPa以上に昇圧する必要があることから、運搬時の圧縮に用いたエネルギーは無駄にならない
- ・副生水素の場合、地域内で精製される水素をタイムリーに輸送でき、コスト低減に繋がる

##### 水素輸送でのデメリット

###### ○水素輸送：

- ・専用の液化水素ローリーが高額
- ・県内に上記設備や代用設備が無い場合、初期投資が高くなる

##### 水素販売でのメリット

###### ○水素充填時間：

- ・通常の車両と同様に、水素充填時間が約3分程度

###### ○定置式水素ステーション：

- ・通常のガソリンスタンドと似たような手法、操作、充填のため、ユーザーが使いやすい

○移動式水素ステーション：

- ・複数の場所で運営が可能

水素販売でのデメリット

○イニシャルコスト：

- ・水素ステーションの建設費は現在5～6億円

○ランニングコスト：

- ・JHFCの試算では、年間の運営コストは約5千万円程度

○水素に対する危機感：

- ・「水素爆発」等、水素に対する危険なイメージ

### 3-3-2 水素の供給（製造・輸送・販売等）の課題の整理

沖縄の水素供給に関わる可能性のある企業に対し、ヒアリングを行い、水素ビジネス導入に向けての現状における課題を整理した。

県内化学薬品製造企業「A社」

○本業：

- ・県内での塩素、苛性ソーダ等様々な化学薬品製造、販売

○水素製造のポテンシャル：

- ・塩素、苛性ソーダ精製時に副次水素が発生しており、一部は製造に使用され、未利用水素は年間 350k m<sup>3</sup>程度

○水素に対する意見：

- ・現在の製造過程で発生し、未利用となっている「水素」の提供までなら対応も可能と思われるが、活用に向け移送や充填などに関わる新たな設備投資は厳しい。

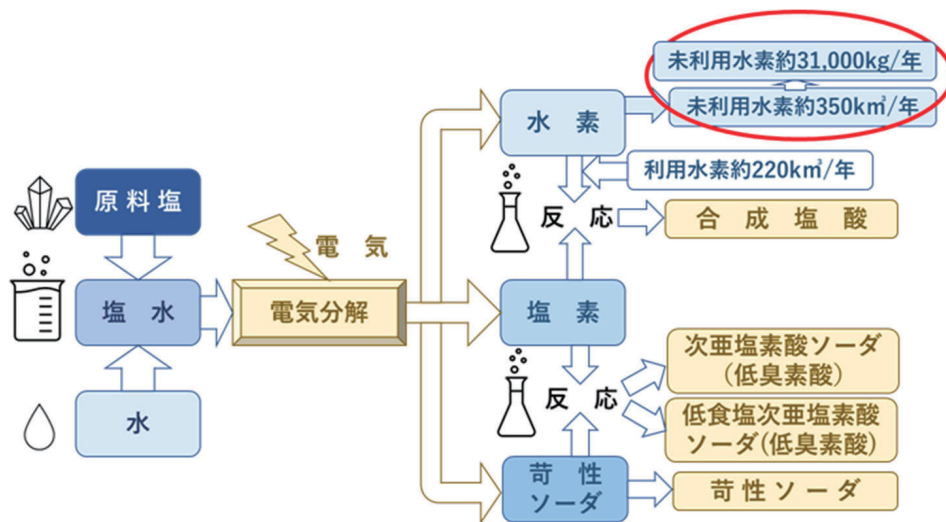


図 61 県内化学薬品製造企業の副生水素発生イメージ

県内石油製品販売企業「B社」

○本業：

- ・石油、ガス、輸送等の事業

○水素輸送、販売のポテンシャル：

- ・ガソリンスタンド運営や輸送等のノウハウ、資格等保有

○水素に対する意見：

- ・設備投資には公的資金の投入を希望

	導入初期	2016年	2025年頃
圧縮機	1.40億円	0.90億円	0.50億円 (100台/年・社)
蓄圧器	0.50億円	0.50億円	0.10億円 (500本/年・社)
ブローラー	0.30億円	0.20億円	0.10億円 (100台/年・社)
ディスペンサー	0.60億円	0.20億円	0.20億円 (100台/年・社)
その他工事費	1.80億円	1.70億円	1.10億円
<b>整備費計</b>	<b>4.60億円</b>	<b>3.50億円</b>	<b>2.00億円</b>
<b>運営費</b>	<b>4~5千万円</b>	<b>3.4千万円</b>	<b>1.5千万円</b>

図 62 水素供給に係る設備投資費用の現状と将来予測

出典：「水素・戦略エネルギーロードマップ」（経済産業省）

## 課題

沖縄県内にも化学薬品製造工程で水素が発生しており、活用の可能性があるものの、輸送・販売については、実績がない。水素活用に対して興味があるが、安定的な水素供給（製造・輸送・販売）を行う為には多額の投資が必要となる。

### 3-3-3 沖縄地域での供給想定イメージ作成

#### ○水素製造

- ・ 県内化学薬品製造企業の未利用副次水素を活用
- ・ 年間約 31,500kg の水素を県内の FCV 等に供給 (FCV で約 400 台/年、FC バスで約 8 台/年)
- ・ 自社での設備投資が厳しいため、公的事業にて必要設備を設置し活用

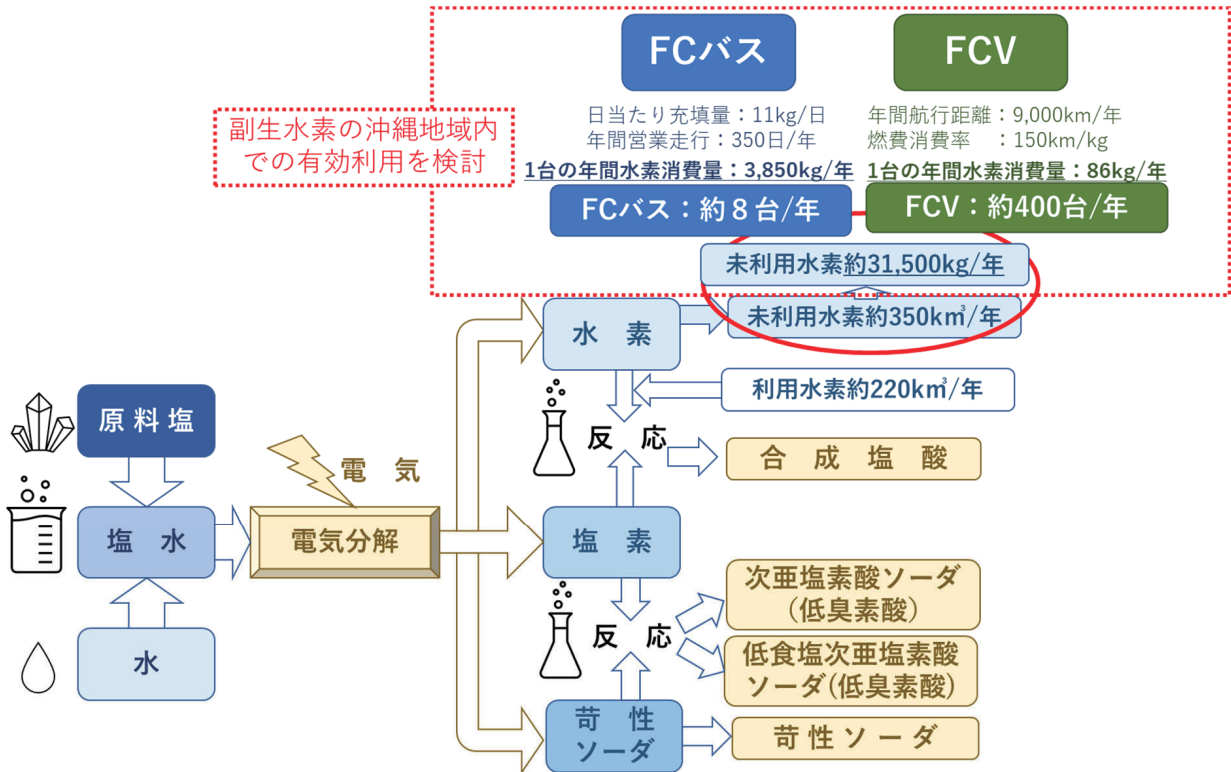


図 63 沖縄地域における水素製造と推測される利用供給イメージ

#### ○水素輸送

- ・ 県内石油製品販売企業 B 社のノウハウを活用し輸送を行う
- ・ 必要となる設備は公的事業を活用し導入を図る

#### ○水素販売

- ・ 販売についても県内石油製品販売企業 B 社のノウハウを活用し水素ステーションや、移動式水素ステーション導入を図る
- ・ 水素ステーションは沖縄本島内 2 箇所 (那覇南部、中部) に設置。また、FC フォークリフト、FC 船等への充填を考慮し可能移動式水素ステーションを導入
- ・ 沖縄本島で 2025 年に 2 箇所、2030 年に 5 箇所程度の整備を想定
- ・ 2025 年以降、燃料電池車の普及に伴い、原料の副生水素が不足する場合は、海外等からの輸入水素の移入や、オンサイト方式 (PV 等) の設備により対応



**未利用水素31,500kg/年の利用想定**

<b>FCバスだけに供給した場合</b>	<b>FCVだけに供給した場合</b>
日当たり充填量: 11kg/日 年間営業走行: 350日/年 1台の年間水素消費量: 3,850kg/年	年間航行距離: 9,000km/年 燃費消費率: 150km/kg 1台の年間水素消費量: 86kg/年
<b>FCバス: 約8台/年 に供給可能</b>	<b>FCV: 約400台/年 に供給可能</b>

**沖縄地域での水素製造、輸送、販売イメージ**

- 水素製造
  - ・うるま市の化学薬品製造メーカーA社の未利用副次水素を活用
  - ・年間約31,500kgの水素を県内のFCV等に供給
- 水素輸送
  - ・浦添市の石油製品販売企業B社のノウハウを活用し輸送を行う
- 水素販売
  - ・販売についても浦添市の石油製品販売企業B社のノウハウを活用し水素ステーションや、移動式水素ステーション導入を図る
  - ・水素ステーションは沖縄本島内2箇所(那覇南部、中部)に設置が望ましい。
  - ・また、移動式水素ステーションもあるとFCフォークリフト、FC船等への充填も可能となり需要が高まる

		2021年	2025年	2030年
沖縄県	沖縄県のFCV将来普及台数	3	400	1,600
	沖縄県の水素ステーション将来整備箇所数	1	2	5
	水素ステーション1箇所あたりFCV普及台数	3	200	300

図 64 沖縄地域における水素供給（製造・輸送・販売）展開イメージ図

表 10 沖縄地域における水素供給想定ロードマップ

利用者・車種		普及初期・水素供給整備期					普及中期・水素供給運用期				
		2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年
副次水素利用FS調査			➡								
水素製造	主体企業との調整			➡							
	バッファードラム整備				➡						
	圧縮機整備				➡						
	供給開始				31,000kg/年を製造、供給		➡ 移入による水素と併せて供給				
水素輸送	主体企業との調整			➡							
	カードル整備				➡						
	水素ローリー整備				➡						
	輸送開始				➡						
水素販売	主体企業との調整			➡							
	定置式ステーション整備				➡	➡ 燃料電池自動車の普及に伴いステーションを拡充(+3箇所)					
	移動式ステーション整備					➡					
	運用開始				➡						

### 3-4 普及に向けた行政方策

沖縄における水素エネルギーの普及に向けた行政方策でのメリット、デメリットを以下のとおり整理し、その中で想定される課題と水素エネルギー普及支援方策についての想定イメージを以下のとおり整理した。

#### 3-4-1 水素エネルギー普及支援面でのメリット、デメリットの整理

水素普及にむけた方策（国）でのメリット

○環境政策：

- ・地球温暖化を起因とした環境問題に対し、ひとつの有効策としての水素エネルギー利用を位置づけ

○新エネルギー政策：

- ・エネルギーの多様化に伴い、水素を用いたクリーンエネルギー利用とセキュリティー、レジリエンスへの貢献

○水素産業育成：

- ・これまで培ってきた水素エネルギー技術とその成果を活用した製品を用いた新産業育成と推進

水素普及に向けた方策（国）でのデメリット

○水素社会づくり：

- ・水素社会構築に向け、様々な仕組みづくり、法規改定、学術・民間との連携が必要となり、併せて、国民に対しての周知が必要

○限られた予算：

- ・令和2年度予算において、経済省関連で約700億、環境省関連で約60億が計上されており、今後も膨大な予算投資が必要

○普及と開発：

- ・水素エネルギーは高度な技術と管理が必要であり、その技術を普及させるために研究開発と時間が必要

水素普及にむけた方策（県）でのメリット

○エネルギー政策：

- ・沖縄県において、島しょ地域特有のエネルギー自給率の向上の面から、水素エネルギーについても非常に有望視されており、特に交通面、電力供給の観点で「沖縄県クリーンエネルギー・イニシアチブ」においても位置づけられている

○環境政策：

- ・CO2排出がなく、環境への影響が少ないことから、燃料電池自動車も有望視されている

○レジリエンス：

- ・台風等の自然災害の面でエネルギー供給は重要視され、災害時でも迅速に供給可能な再

生可能エネルギーの有効利用が求められている

水素普及に向けた方策（県）でのデメリット

○施策での位置づけ：

- ・「沖縄県クリーンエネルギー・イニシアチブ」では、2050年の将来像にエネルギーの脱炭素化を目指し水素エネルギー（水素発電の導入）利用が位置づけられ、チャレンジプロジェクトとして、2030年までに利用戦略の策定や供給体制の構築等が検討されているが、ここ数年以内の取り組みは想定されていない。

水素普及にむけた方策（市町村）メリット

○エネルギー政策：

- ・県内の市町村において、エネルギーを政策に掲げる自治体も少しずつ増えてきており、その施策の一つとして水素エネルギー利用が含まれると、エネルギー自給率向上に貢献出来る可能性がある

○地域サービス：

- ・地域コミュニティーバス等を運営する市町村も多く、その車両に、よりクリーンな燃料電池バスの活用を行うことで、環境面や燃料電池自動車のPRにも繋げることができる

水素普及に向けた方策（市町村）でのデメリット

○エネルギー・環境政策：

- ・各市町村が掲げるエネルギーや環境政策に基づき施策に反映されるが、現状エネルギーや環境を掲げ「水素エネルギー」をとりあげる市町村は少ない

### 3-4-2 水素エネルギー普及拡大に向けた課題の整理

水素普及に向けた方策での課題（国）

○水素社会：

- ・水素社会構築に向け、様々な施策を実施しているが、一般への普及にはまだ時間がかかる

○水素予算：

- ・毎年度多額の水素関連予算を投じているが、研究開発や普及促進の補助金等多額の予算が必要となる

○水素研究開発：

- ・水素社会実現に向け、必要となる技術にプライオリティーを持たせ、その研究開発を実施しているが、実現までに時間がかかる

水素普及に向けた方策での課題（県）

○エネルギー施策：

- ・沖縄県ではエネルギー施策に基づき、様々な再生可能エネルギー事業を展開しているが、水素エネルギーに関しては社会展開の時期に時間を要する観点から、直近の施策に位置づけられていない

水素普及に向けた方策での課題（市町村）

○エネルギー施策：

- ・エネルギー施策の所管を定めている沖縄地域の市町村は少なく、そのような中で自治体独自の水素エネルギー普及支援施策については、必要性や妥当性、財源の確保の面から厳しい状況にある

### 3-4-3 水素エネルギー普及拡大に向けた支援想定イメージ作成

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と思われる。

その中で、水素エネルギー普及拡大に向けては、沖縄地域の事情を勘案しつつ、観光立県の立場から、環境貢献可能な水素エネルギー導入を促進し、そのための支援について他の先進地（都道府県、市町村等）の事例を参考に実施することが望ましい。

現在、先進地が実施している支援を参考に、沖縄地域における水素エネルギー普及拡大に向けた支援想定イメージを以下のとおりまとめてみた。

(1) 水素供給インフラ整備に向けた支援

現在、国（経済産業省や環境省等）が実施する水素エネルギー導入実証事業等を活用し、沖縄地域における水素エネルギー供給インフラのモデル実証を官民で提案し、今後の水素社会構築に向けた検討を図る。

①沖縄地域における水素エネルギー供給 FS 調査

県内における水素エネルギー供給に関する FS 調査が必要と考えられる。FS 調査では特に水素供給（製造・輸送・販売）における詳細な現状調査、経済性調査、必要設備調査、法規制等の調査を実施する。

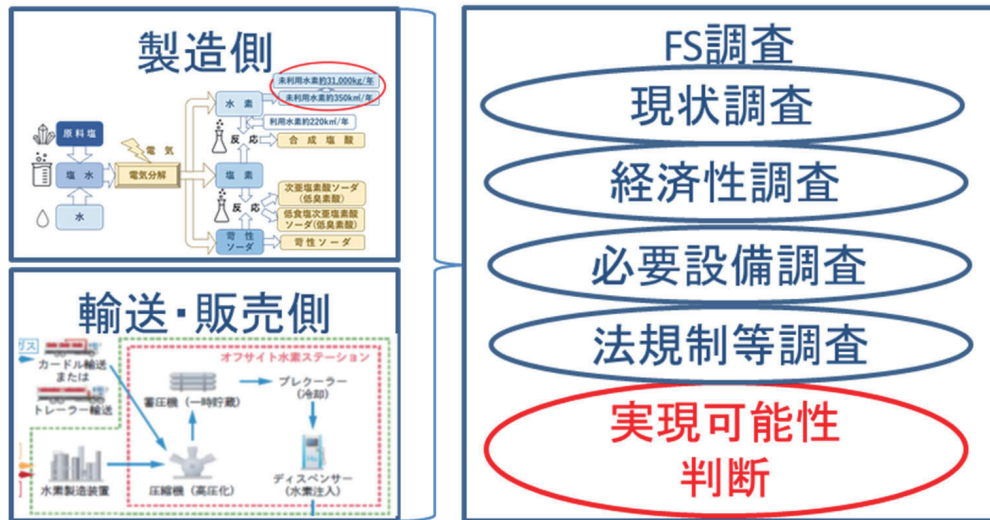


図 65 水素エネルギー供給 FS 調査イメージ

②沖縄地域における水素エネルギー供給実証事業

上記の FS 調査の結果を踏まえ、沖縄地域における副生水素の有効利用に関する実証事業等を立上げ、供給側の負担軽減を図るため国等の事業を活用し、水素供給（製造・輸送・販売）に伴う機器導入による供給可能実証試験を行う。水素供給に関する効果の検証、島しょ地域における副生水素有効利用の可能性を検証し、水素社会実装へのプロセス実証を図る。

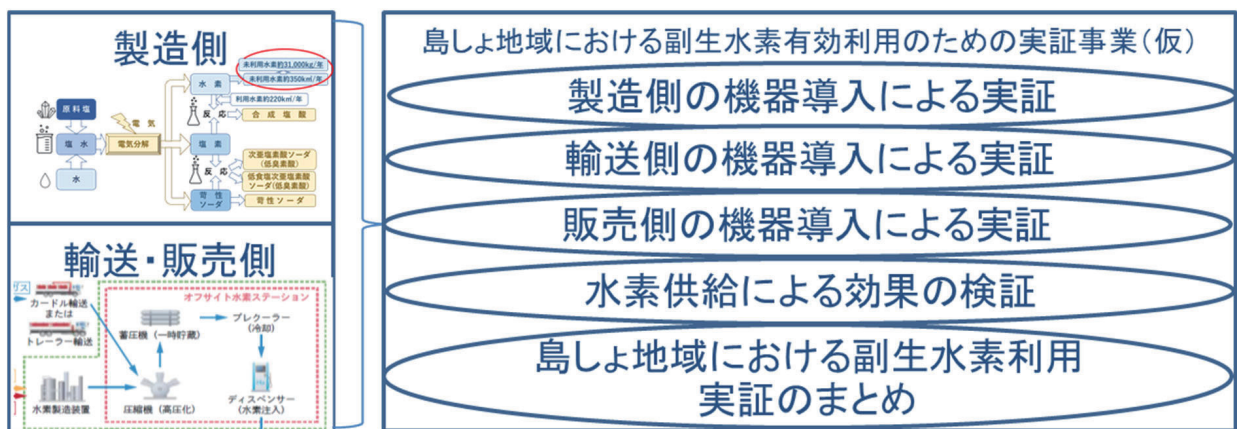


図 66 水素エネルギー供給実証事業イメージ

## (2) 水素関連製品、インフラ導入支援

沖縄地域における水素供給体制が上記取組により整った段階で、水素利用に関する展開が必要になると思われる。そのため、燃料電池自動車や水素ステーションの導入促進に向け、水素社会実現に向けた支援として、利用製品導入、インフラ整備等支援策が必要と考える。

### ①水素エネルギー製品に対する導入補助金等の設置

#### ○目的

沖縄県において、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を構築する。

#### ○対象者

- ・ 県内企業

#### ○補助対象

- ・ 水素ステーション設置に関する設備

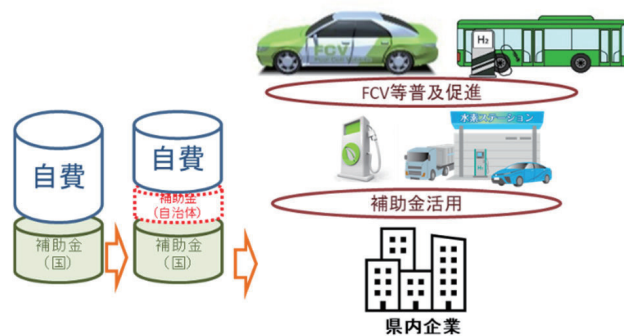


図 67 水素エネルギー製品に対する導入補助金イメージ

### ②水素エネルギーインフラ整備に対する導入補助金等の設置

#### ○目的

沖縄県では、環境問題とレジリエンスに強い次世代自動車について、普及拡大を目的に、車両購入時の負担軽減を行い、次世代自動車及び災害時にも電力を供給可能な外部給電器、EV・PHV への充電ならびに EV・PHV から施設へ放電(給電)ができる装置である V2H 充放電設備への導入を支援する。

#### ○対象者

- ・ 県内企業及び県民

#### ○補助対象

- ・ 例：EV 車 (〇〇万円)、FCV 車 (〇〇万円)、FC バス (〇〇〇万円)

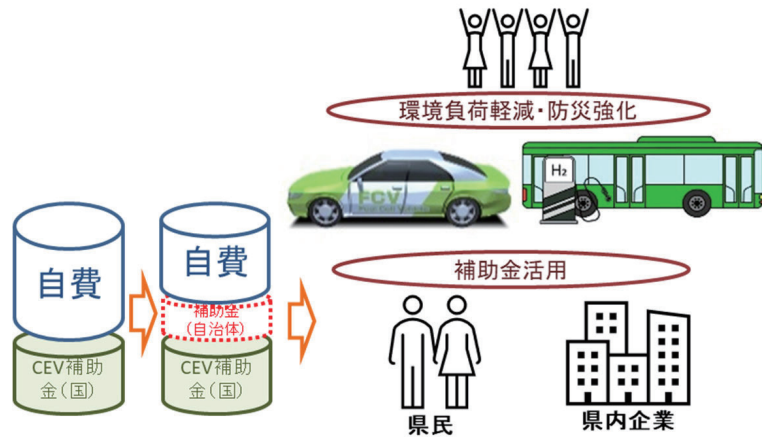


図 68 水素エネルギーインフラ整備に対する導入補助金イメージ

### (3) 沖縄地域の水素エネルギー普及等を検討する会議体の設置

水素エネルギーを活用に先進的な取り組みを行っている地域は「水素エネルギー」の普及拡大を進めるために国や地方自治体に施策提言を行う会議体等がある。

沖縄県のエネルギー施策を考えていく中では、再生可能エネルギーの普及に向けた施策提言を検討する会議体を設置し、「水素エネルギー」は分科会として取上げ、沖縄地域での再生可能エネルギー普及促進の一環として水素を採り上げる必要があると思われる。

#### ○目的

- ・ 沖縄県における再生可能エネルギー普及を目指した産学官連携の推進組織
- ・ 再生可能エネルギー普及に向けた政策提言を行う

#### ○構成

- ・ 沖縄県内の再エネに関連する企業、団体、自治体、大学等の有識者から構成される

#### ○運営、活動等

- ・ 当面は、行政機関主導により運営を図る
- ・ 自立が見込めた段階で、民営で行う
- ・ 構成員は沖縄における再生エネルギー普及に向けた活動を行う
- ・ 再エネ普及に向け、様々な検討を行う
- ・ 各活動方針に対し、分科会（水素エネ等）を設け検討や活動を行う

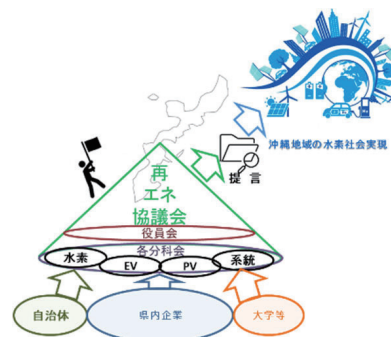


図 69 沖縄地域の水素エネルギー普及等を検討する会議体イメージ

### 3-5 全体のロードマップ

#### 3-5-1 県内企業の水素エネルギー関連マップ

これまでの調査結果を基に、沖縄地域での水素製造、輸送、販売イメージを検討した結果、以下の様な展開が考えられる。

##### ○水素製造

- ・うるま市の化学薬品製造企業 A 社の未利用副次水素を活用
- ・年間約 31,500kg の水素を県内の FCV 等に供給

##### ○水素輸送

- ・浦添市の石油製品販売企業 B 社のノウハウを活用し輸送を行う

##### ○水素販売

- ・販売についても浦添市の石油製品販売企業 B 社のノウハウを活用し水素ステーションや、移動式水素ステーション導入を図る
- ・当面（2025 年）の目標として、水素ステーションを沖縄本島内 2 箇所（那覇南部、中部）に設置。また、FC フォークリフトや FC 船等への充填を想定し、移動式水素ステーションも導入



図 70 県内における供給（製造・輸送・販売）展開想定イメージ

上記の供給体制を基に、県内における燃料電池自動車への供給可能性について推定したところ、FCV のみであれば年間約 400 台、FC バスのみの場合年間約 8 台に供給することが可能と見込まれる。

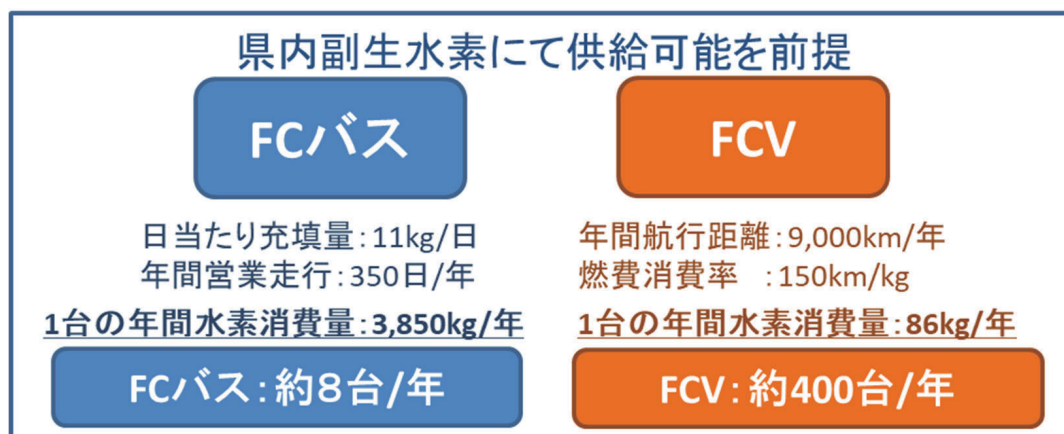


図 71 沖縄地域における副生水素からの燃料電池自動車への供給推定数

また、これら推計値を基に、沖縄地域における水素エネルギーが十分に活用出来た場合の、環境への効果について検討を行った。その結果、2025年の燃料電池自動車の普及想定台数400台程度（FCV：390台、FCバス：10台）を換算すると、年間約705トンのCO2削減効果がみこまれ、さらに、2030年の普及想定台数はロードマップ上で2025年に4倍になっていることから、県内での普及も4倍とし、1,600台（FCV：1,560台、FCバス：40台）換算の場合、年間約2,826トンのCO2削減効果が見込まれる。これは、2018年の沖縄県の二酸化炭素排出量（自動車部門）の2,192,000トンからすると、2025年換算で約0.03%、2030年換算で約0.12%であるが、水素供給体制が整い燃料電池自動車の普及が広がれば、県内のCO2削減に水素が貢献できる役割は大きいと考えられる。

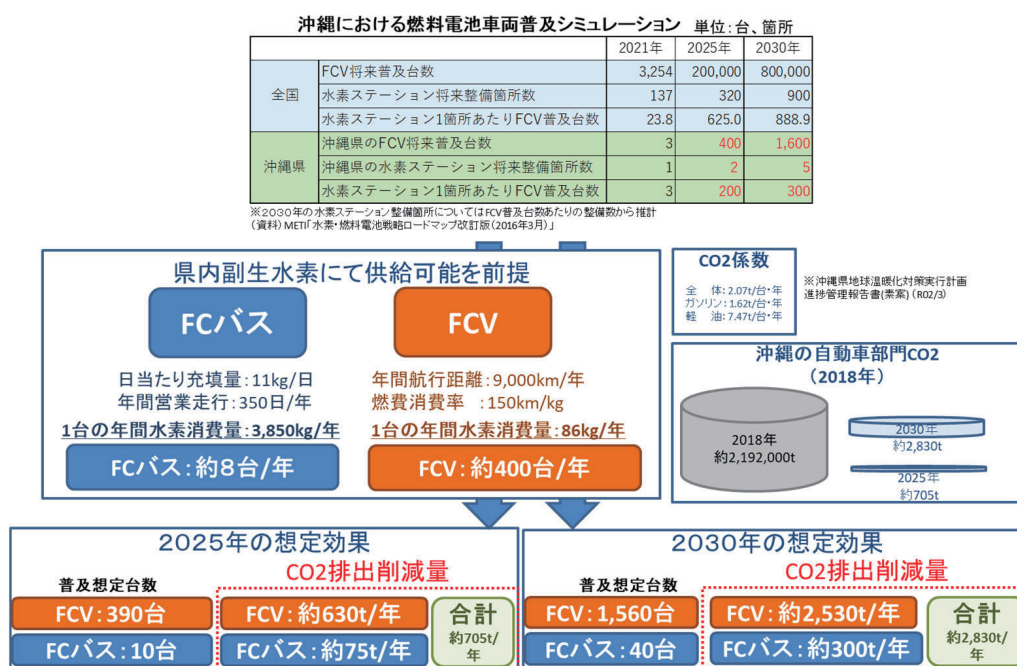


図 72 沖縄地域における水素エネルギーの環境貢献イメージ

このことから、沖縄地域において水素エネルギー利用可能性については十分なポテンシャルを持ち、環境効果も期待されることから、水素エネルギーの沖縄地域での展開に期待が持たれる。

### 3-5-2 水素エネルギーマップからの導入方策

沖縄地域において、水素エネルギーの展開を考えるにあたり、その役割と位置づけが必要であり、これまでの調査結果を踏まえ以下の様な役割で展開することが必要と考えられる。

《沖縄地域での水素エネルギーの役割》

○エネルギー自給率向上

- ・県内において水素の自給自足が実現することで、エネルギー自給率の向上に繋がる

○環境負荷軽減

- ・県内において水素エネルギーを活用することにより、排出ガス軽減に繋がる

○SDGs の実現

- ・水素エネルギー社会を実現することにより、クリーンエネルギー利用等 SDGs の実現に繋がる

《水素社会の実現により、県民の安全と安心な暮らしを確保することができる》

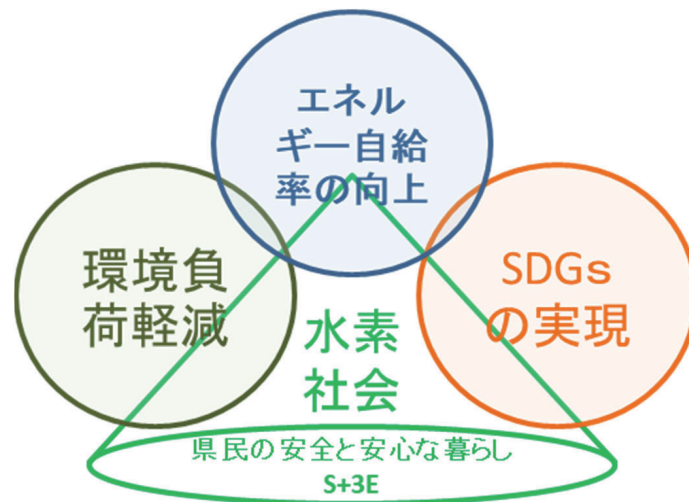


図 73 沖縄地域における水素エネルギーの役割イメージ

これら役割から、沖縄地域での水素社会実現に向けた取組をステージ別で以下のとおり整理した。

《沖縄地域での水素社会実現に向けた取組（短期）》

○県内における副生水素利用の早期検討

- ・県内で精製される副生水素の利用 FS 調査の実施により、現実的な供給や経済性を検討

○副生水素を活用するための補助金等プロジェクトの実施

- ・副生水素を有効利用するための実証事業等を立ち上げ早期実施

○県内における水素ステーションの設置及びFCV、FCバス導入による水素エネのPR

- ・県内において水素ステーション及びFCV、FCバス等、多くの県民に触れる機会を作り水素を周知

《沖縄地域での水素社会実現に向けた取組（中長期）》

○県内の水素エネルギー利用を検討する会議の設立

- ・県内での水素エネルギー政策について産官学で検討し推進する会議を設置し推進

○水素エネルギー製品に対する導入補助金等の設置

- ・水素エネルギー製品（FCV、FCバス、エネファーム等）の導入促進のための補助金制度の設置

○水素エネルギー利用者へのインセンティブの検討

- ・水素エネルギー製品のみならず、クリーンエネルギー利用者（一般県民、企業等）へのインセンティブ導入

※例：FCV等のバスレーン使用許可、県民駐車場等無料化等

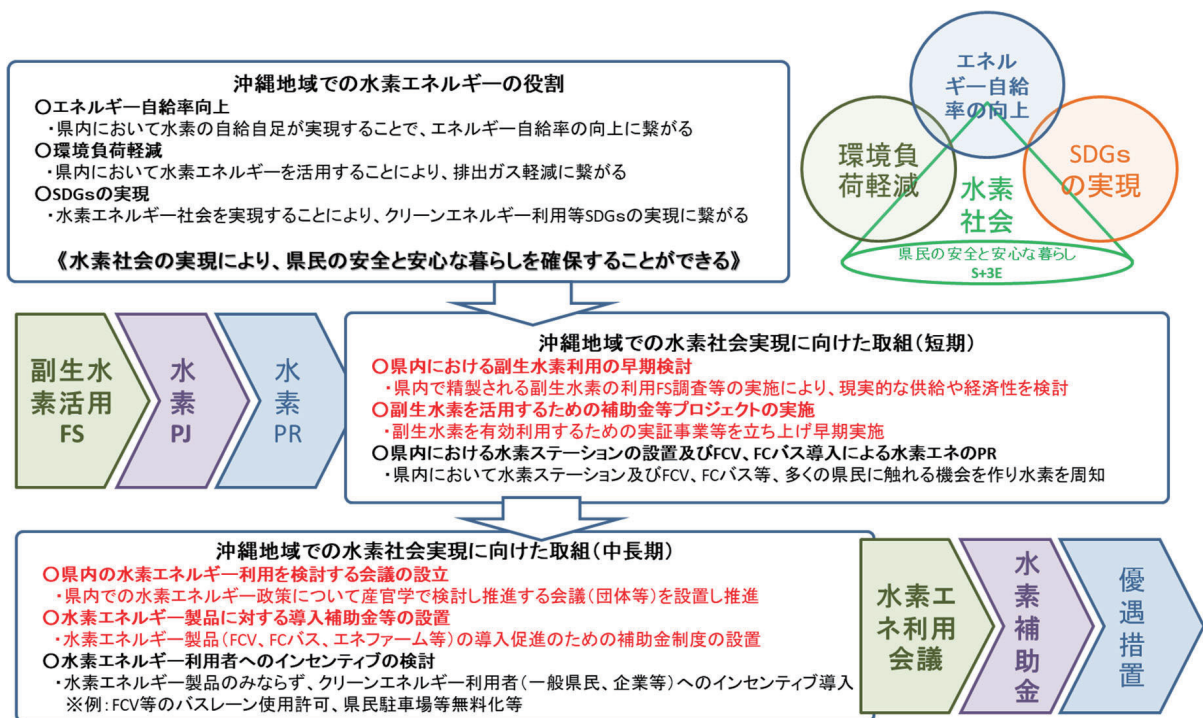


図 74 沖縄地域における水素エネルギーの役割と水素社会実現に向けた取組イメージ

まず、沖縄地域での水素社会実現に向けた取組の短期的な内容として、県内における副生水素の利用に関する FS 調査が必要と考えられる。FS 調査では特に水素供給（製造・輸送・販売）における詳細な現状調査、経済性調査、必要設備調査、法規制等の調査を実施することで、水素供給実現可能性を主体起業と一緒に判断することが必要になると思われる。

また、その FS 調査の結果を踏まえ、沖縄地域における副生水素の有効利用に関する実証事業等を立ち上げ、供給側の負担軽減を図るため行政等の事業を活用し、製造、輸送、販売に伴う機器導入による供給可能実証試験を行う。水素供給に関する効果の検証、島しょ地域における副生水素有効利用の可能性を検証し、水素社会実装へのプロセスを踏む必要があると思われる。

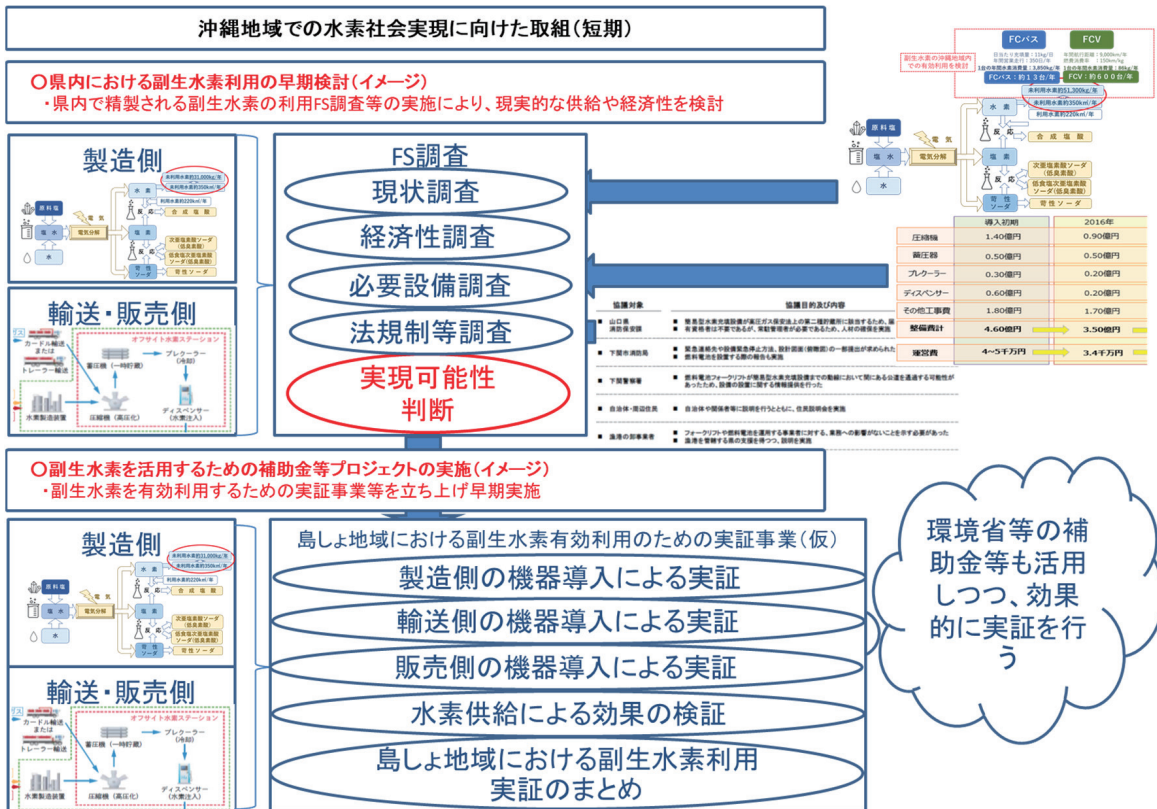


図 75 沖縄地域での水素社会実現に向けた取組(短期)イメージ

なお、沖縄地域における水素供給体制が上記取組により整った段階で、水素利用に関する展開が必要になると思われる。そのため、水素社会実現に向けた取組(中長期)として、利用製品導入支援策が必要と考える。これは、他府県や県外の自治体を実施しているような燃料電池自動車や家庭用燃料電池導入支援策、また、インフラ支援として水素ステーション導入支援策が考えられる。

さらに、水素エネルギーを活用に先進的な取り組みを行っている地域は「水素エネルギー」の普及拡大を進めるために国や地方自治体に施策提言を行う会議体等がある。

今後の沖縄県のエネルギー施策を考えていく中で、「水素エネルギー」は「再生可能エネルギー」の一つとして捉えることが必要と考えられる。沖縄県における再生可能エネルギーの普及と、そのための施策提言を検討する会議体に「水素エネルギー」の分科会を設置し、再生可能エネルギー全体として水素エネルギーを展開することで、沖縄地域における水素社会実現が見えてくるとと思われる。

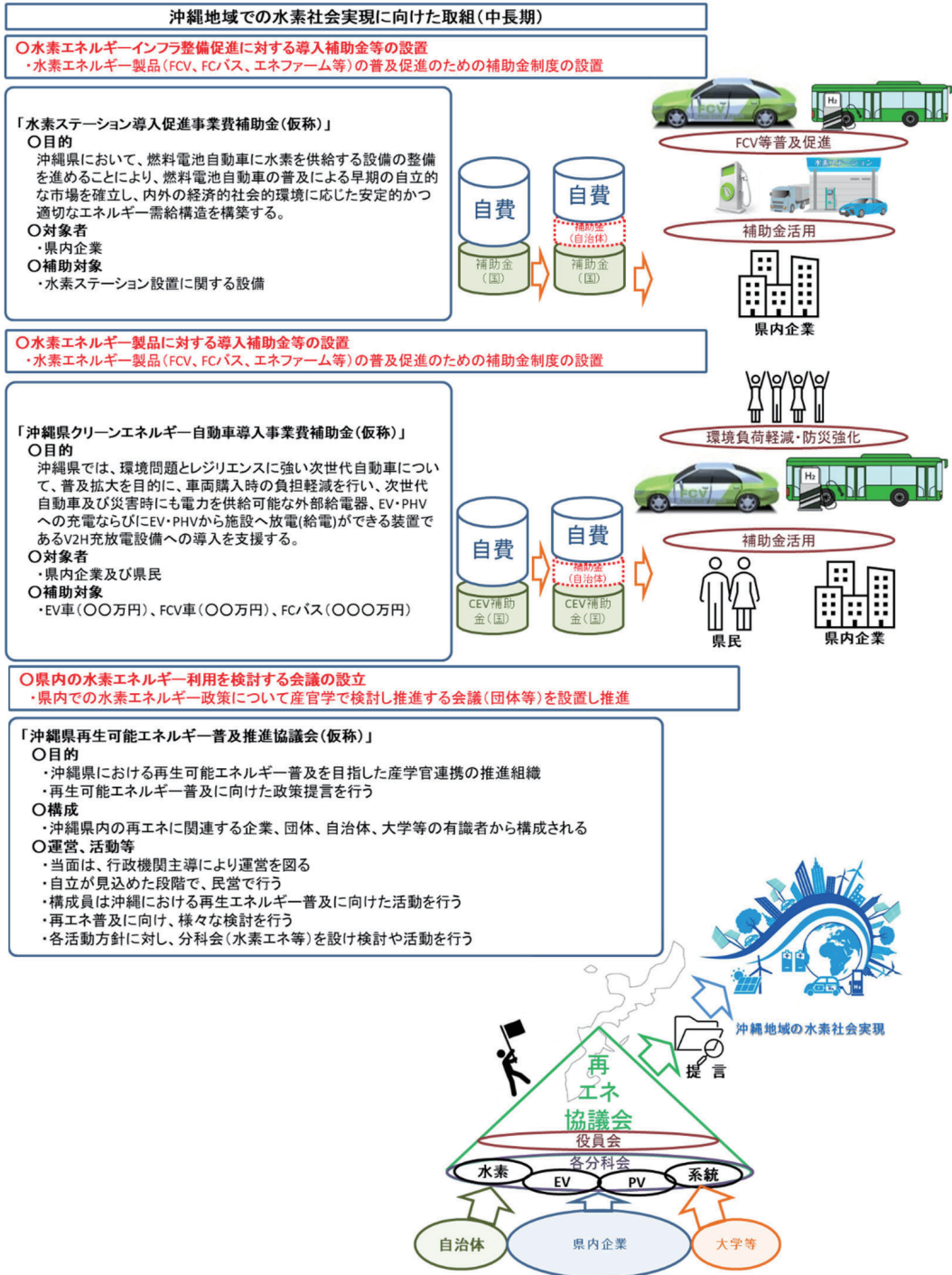


図 76 沖縄地域での水素社会実現に向けた取組(中長期)イメージ

### 3-5-3 ロードマップ作成

本調査における様々な結果を総合し、沖縄地域における水素エネルギー展開のロードマップを以下のとおり作成した。

まず、利用面においては、燃料電池自動車の導入にあたり、はじめに水素ステーションの整備が必要となることから、早期に水素供給体制の構築が求められる。また、燃料電池自動車を広く県民に知ってもらうため、公用車や公共交通機関等から先行し導入を進め、燃料電池自動車の環境に対する優位性を周知する。併せて、民間企業等への社用車としての普及を図りつつ、2025年には400台、2030年には1,600台を目標に推進する想定である。

また、家庭用燃料電池（エネファーム）については、沖縄では普及が遅れており、家庭用燃料電池（エネファーム）のメリット等を県民に広くPR活動を実施しつつ、今後、省エネ意識の面から、事業者用燃料電池についても検討を図り企業等へPR活動を行い普及展開する想定である。

さらに、現在国内では、燃料電池推進船の研究開発が行われている。沖縄の地域事情も勘案すると、燃料電池船舶（漁船、遊覧船、定期船等）の需要促進も想定できる。

表 11 沖縄地域における水素利用普及想定ロードマップ

利用者・車種	年 度	普及初期・FCVのPR期					普及中期・導入促進期				
		2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年
一般ユーザー	FCV（自家用車）										
企業	FCV（社用車）										
	FCトラック					400					1,600
	FCフォークリフト										
	公共交通機関	FCバス									
行政機関	FCV（公用車）										
利用者・機種		普及初期・エネファームのPR期					普及中期・導入促進期				
一般ユーザー	家庭用エネファーム					400					1,000
企業	産業用燃料電池										
利用者・機種		FC船・研究開発期					普及初期・FC船のPR期				
漁業就労者	FC漁船										
運輸、観光	FC輸送船、観光遊覧船										

また、供給面においては、県内での副生水素利用に関するFS調査や副生水素活用実証等を実施し、その結果を踏まえ展開を図る必要がある。水素製造においては、県内化学薬品製造企業の未利用副生水素を活用することで、年間約31,000kgの水素を県内の燃料電池自動車等への供給が可能である。しかし、自社での設備投資が厳しいため、公的事業にて必要設備を設置し活用し、製造体制を整える必要がある。さらに、県内における副生水素供給は燃料電池自動車約400台分の供給量であり、これ以上の普及については、海外等からの水素移入で供給する必要がある。

水素輸送・販売についても、県内石油製品販売企業のノウハウを活用し輸送・販売を行うことで、水素輸送や水素ステーションの運用は可能と考えられる。燃料電池自動車の想定普及台数から算出した水素ステーション本島内2箇所（那覇南部、中部）水素ステーションに加え、今後の普及が見込まれる燃料電池フォークリフトや燃料電池推進船等への充填を想定し移動式水素ステーションの導入も想定する。



#### 4. 沖縄地域の水素エネルギー導入可能性まとめ

沖縄地域は、島しょ地域であり日本本土と異なり、隣り合う県が海を隔てており、電力融通や物資、エネルギー原料の輸送などの面で不利な状況下にある。また、気候環境の面では、温暖な気候から日本屈指の観光立県であるが、台風等の災害も多く、環境保全やレジリエンスの面からエネルギー自給率の向上が求められており、再生可能エネルギーへの期待が高い地域である。

また、日本も同様に島しょ国がゆえに、エネルギー・セキュリティーや環境対策、産業振興の3つの観点から「水素エネルギー」の推進が図られており、水素社会を実現すべく、「水素基本戦略」が策定された。基本戦略に基づき「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を策定し水素社会に繋がる様々な研究や実証、普及支援策を推進している。

他府県においては、クリーンエネルギーの推進を主目的とし、各々のエネルギー施策に基づき、主に普及支援策（クリーン車両導入補助金やEV充電、水素ステーション等の整備）の展開も見られる。

沖縄県は、令和2年度に「沖縄県クリーンエネルギー・イニシアチブ」を公表し、その中で、島しょ地域特有のエネルギー自給率の向上の面から、水素エネルギーについても非常に有望視されており、特に交通面、電力供給の観点で「水素エネルギー」も位置づけられている。

そのような状況の中、国内においては燃料電池自動車（FCV、FCバス、FCフォークリフト等）や家庭用燃料電池（エネファーム）の市場展開が進んでいる。燃料電池自動車（FCV）については、国内で4車種の販売展開が図られ、走行性能もEV車に比べ高く、現状のガソリンエンジン車やハイブリッド車と遜色ない使い勝手が得られている。水素ステーションが整備された首都圏や地域において、公用車や社用車を中心に普及が進み、東京においては一般ユーザーの所有も進んでいる状況である。しかし、車両価格が高額なため、導入補助制度を活用することが一般的である。沖縄県においては3台の登録はあるものの、普及は進んでいない。

国内では、燃料電池バス（FCバス）の最新の車両が商用化され、東京都では「東京オリンピック」開催に併せ、燃料電池バス約90台が運用されている。燃料電池バスは、よりクリーンな公共交通機関として運用され、乗り心地、運用性の面から高評価されている。また、燃料電池フォークリフト（FCフォークリフト）についても、環境と使用用途（密閉空間：倉庫等）の面から注目されており、現在、運用試験等が全国各地で行われている。利用面においては、燃料電池自動車以外にも、LPガスや都市ガスを燃料とした家庭用燃料電池（エネファーム）が普及している。給湯と電気を供給できるメリットを活かし、太陽光発電との併用によるゼロエネルギーハウス（ZEH）等でも期待されている。全国でもエネファームの導入は進んでいるが、沖縄県内での導入は大変少ない現状である。さらに、事業者用燃料電池も高額ではあるものの、徐々に市場展開が進んでおり、環境面に意識の高い企業等での導入が見込まれている。発電所における水素利用の研究開発も国内では注目されており、水素単体もしくは、他の原料と併せ混焼する発電に関する機器開発も行われており、CO<sub>2</sub>等の排ガス削減に向けた大規模発電における水素の需要も見込まれている。沖縄地域においては、LNG発電での水素混焼等の可能性も期待できる。

水素の供給（製造・輸送・販売）においては、様々な手法で水素を製造する方法があるが、現

在の主流は化学薬品工場や製鉄所から発生する水素の利用である。しかし、その手法では国内で必要とされる水素の需要に対応出来ないことから、国のプロジェクトとして、東南アジアやオーストラリアからの水素輸入に関する輸送技術の開発に注力している。国内の造船メーカーが協力し、水素の特性（高圧力下や他の媒体に混ぜたりすることで、大量輸送が可能）を活かした輸送船、輸送トラック等の開発も進んでいる。

沖縄県内でも、化学薬品製造企業から副生水素が発生しており、現在未利用なことから利用可能性の検討が必要と思われる。また、販売においては、国内における水素は現在 100 円/N m<sup>3</sup>程度で取引されており、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」では将来的に 20 円/N m<sup>3</sup>（現在の 1/5 以下）にすることで、水素の利用価値を高め、普及展開にはずみをつける戦略を示している。

その中で、水素ステーションの役割も大きく、現在全国で 137 箇所ある水素ステーションを 2025 年には 320 箇所、2030 年には 900 箇所整備することが示されている。しかし、水素ステーション整備には多額の費用がかかり、従来のガソリンスタンドの 2～3 倍となる。国内においても需要（燃料電池自動車の普及）が少ない故に、設置に伴う各種法令、規制等もガソリンスタンドよりも厳しく、様々な支援策や規制緩和等が必要となってくる。

水素エネルギー普及に向けた施策においては、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に基づき、経済産業省（NEDO やエネ庁も含む）や環境省は、様々な水素に係る研究開発、実証事業、普及促進事業等の施策を展開している。また、全国の自治体においても、環境面から水素に限らずクリーン車両（電気自動車や燃料電池自動車等）の導入補助や、それに係る充電、充填設備（水素ステーションも含む）の整備補助制度などが展開されている。

これらの調査結果を基に、沖縄地域における水素エネルギー導入を検討した結果、将来必要なエネルギー源となり得るひとつの要素であることがわかる。そのためにも、沖縄県内において水素エネルギーの活用事例を早々に立ち上げ、水素エネルギー利用のイメージ作りと水素社会のメリットを広く県民に周知することが必要となってくる。沖縄地域において水素エネルギーの活用事例を作る第一歩としては、県内で発生する副生水素を利用した水素供給体制の構築であり、そのために必要な FS 調査や実証事業等を経て、水素を県内に供給する必要があると思われる。

また、供給体制が整い次第、燃料電池自動車や燃料電池バス等を公用車、公共交通機関に導入し、水素エネルギー利用のイメージやメリットを広く県民に周知することにより、沖縄地域における水素社会構築も可能と考える。

最後に、環境・観光立県として沖縄地域における水素エネルギーの役割は大きく、水素について産学官が連携し、より効果的、効率的に利用促進を考えていく必要がある。