

# 水素エネルギーの実用化に向けた 地方公共団体の役割についての考察

[キーワード] 水素エネルギー、経営管理、戦略マップ、  
地方公共団体、社会的受容性

東京大学公共政策教育部  
公共政策学専攻 公共管理コース 2年  
51-228009 林 まり

## 要 旨

国際社会は 2050 年にカーボンニュートラルを達成することを共通目標としている。これに向けて、我が国政府はエネルギーの需給構造を変革し、2030 年をめぐりに我が国におけるクリーンエネルギーの導入量を倍増することを明言している。

エネルギーの転換は、脱炭素の問題だけでなく社会インフラの再整備や産業構造の変革、燃料費の変動による物価への影響等、社会に多様な影響を及ぼす。脱炭素のために経済社会システム全体でなされる変革を、政府は産業競争力・経済成長を強化する機会と位置づけ、2023 年からの 10 年間で官民合わせて 150 兆円のグリーントランスフォーメーション（以下「GX」という）投資を行う計画<sup>1</sup>を発表した。計画の中で、政府は約 20 兆円の先行投資を行い、民間企業の 100 兆円超の投資を引き出すという狙いを明記している<sup>2</sup>。政府の投資対象は、産業競争力強化・経済成長及び二酸化炭素（以下「CO<sub>2</sub>」という）排出削減の双方のいずれの実現にも貢献するもので、革新的または効果的だとみなされる研究開発や設備導入、主要物品の国内需要等<sup>3</sup>が想定されている。

ここで、民間企業から多額の投資を引き出すほど脱炭素分野の市場が順調に成長するためには、脱炭素製品の開発と普及だけに注力するのではなく、経済効率性を備えたサプライチェーンを形成することが必須である。このため、筆者は脱炭素化社会の実現の方法の一つとして、「クリーンエネルギーの実用化を達成し得るサプライチェーンの在り方」を提案したいと考えた。具体的な考察を行うために、本稿では「クリーンエネルギー」は「水素エネルギー」に絞り、「サプライチェーンの在り方」はサプライチェーンを構築する企業だけでなく、企業および水素活用事業が立地する地域の住民、公共団体との関係を含めて分析を行った。この結果、水素の実用化を達成するには、社会におけるステークホルダーの役割の明確化や利害調整が必要になると考えるに至った。このため、本稿では、水素の活用事業においてステークホルダー間で調整すべき利害の内容および事業を推進するための地方公共団体の役割について提言することを試みる。

第 1 章では、本稿の根底にある問題意識「地球温暖化対策と経済成長の背反」を示し、水素の導入がこの解決策になり得ることを述べる。第 2 章では、2.1 および 2.2 で、現代社会で脱炭素化という潮流が形成された背景と、この潮流が実現されるべき必要性を示す。2.3 では、脱炭素化の手段としてエネルギー転換を論じ、エネルギー源別に脱炭素適性と経済合理性の双方の観点で分析し、水素は我が国の脱炭素化と経済成長の双方を実現するために有益なエネルギーであると結論付ける。第 3 章では、社会における水素の評価と水素の活用状況を確認する。3.1 から 3.3 で、官民ともに水素の性質を高く評価しているにも関わらず、水素の活用が進んでいない状況を明らかにする。これに対して、3.4 では国際標準制度を紹介し、日本企業の水素関連製品が国際市場に流通するためには、日本企業にとって有利な国際標準を制定する必要があることを説明する。このことにより、水素の普及を停滞させず、早期に実用化を実現すべき状況を示している。

---

<sup>1</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「GX 実現に向けた基本方針 ～今後 10 年を見据えたロードマップ～」  
[https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf) 最終閲覧 2023.12.7

<sup>2</sup> 上記 1 に同じ

<sup>3</sup> 上記 1 に同じ

第4章では、4.1で、水素活用事業を進める公共団体や企業への聞き取り調査を元に、水素エネルギーの普及が停滞する原因を分析した。第一の原因は水素の活用コストが高いことだとし、第二の原因は水素の社会的受容性が低いこととした。4.2では、これら二つの原因を克服して水素の活用を実証実験から実用段階へ進めるための条件を考察した。まずコスト高の問題については、水素活用事業のサプライチェーンに参加する全企業が協力して、同事業から得られる利益率を可能な限り削減して、各社の資本コストより少し高い程度の利益率とすることが条件であり、このことにより、水素の活用コストが低減され、水素の普及促進に繋がり得ると述べた。次に社会的受容性の問題については、水素活用事業を計画する事業者と地域の住民の間で、手続き的正義、分配的正義および信頼を形成することが条件であり、このことにより、地域における水素活用事業への理解が深まり、社会的受容性の問題を克服し得ると述べた。この2つの条件は、単独組織の取組みで完結できず複数のステークホルダー間の連携および利害調整を必要とするという特徴がある。このため、水素を実用化する方法を更に具体的に考察するために、水素活用事業のステークホルダーを正確に把握することおよび事業の推進役を明確にすることが求められると考えた。そこで、4.3で、水素活用事業の推進役を考え、地方公共団体が民間企業と協力体制をとることにより、有益な役割を果たし得ることを述べた。

第5章では、第4章までの分析を元に、水素の実用化を考察することを目指す。5.1では、考察を具体的に行うために、水素を活用する具体的なモデル事業を設定した。技術的な実現可能性および水素の性質上の適正の観点から、火力発電所での水素混焼事業を適切なモデル事業とした。5.2では、当該事業のサプライチェーンを担い得る実在の企業を挙げ、各企業の資本コストを算出することにより、各企業が火力発電所の水素混焼事業において協力可能と考えられる利益の最低限の水準を具体的に示している。5.3は、5.2で導いた利益率で水素混焼事業を実施するための方法を考察し、ステークホルダー間を調整する手法として戦略マップを挙げ、これを作成するという地方公共団体の役割を提案している。5.4では、4.2で提示した水素の社会的受容性を高めるための条件から、具体的な事業を3つ提示して、それぞれ安全性への理解、地域経済の活性化および環境的価値の実現としている。各事業を実現するためにステークホルダー間の連携が必要であることから、改めて3つの事業の戦略マップを作成した。5.5では、火力発電所における水素混焼事業を推進するための地方公共団体の役割をまとめ、これを戦略マップの作成および戦略マップ内の業務とした。

第6章は、今後の課題として、水素活用事業の計画段階で民間企業が主体性をもって事業に参画するために地方公共団体が行うべき環境づくりを提示した。

## 目次

第1章 問題の所在 .....	4
第2章 脱炭素化社会に向けて .....	5
2.1 脱炭素化に向けた国際的な合意形成 .....	5
2.2 脱炭素化を巡る日本の状況 .....	5
2.3 脱炭素化とエネルギー源別適性 .....	7
第3章 水素を巡る現状 .....	10
3.1 政府の方針 .....	10
3.2 民間企業の方針 .....	11
3.3 社会での水素の活用状況 .....	13
3.4 水素産業の便益と国際競争 .....	15
第4章 水素を実用化するための課題 .....	17
4.1 水素が普及しない原因について .....	17
4.1.1 水素の活用コストが高いという問題 .....	18
4.1.2 水素の安全性に対する理解の問題 .....	20
4.2 水素の活用が実証実験から実用化へ踏み出す条件の整理 .....	23
4.2.1 水素活用コストを下げるための条件の確認 .....	23
4.2.2 水素の社会的受容性を高めるための条件の確認 .....	28
4.3 水素活用事業の推進役の確認 .....	32
第5章 考察 .....	39
5.1 水素活用事業のモデル設定：火力発電所における水素混焼事業 .....	39
5.1.1 モデル選定の理由 .....	39
5.1.2 ステークホルダー企業の整理 .....	42
5.2 火力発電所における水素混焼事業での事業利益率の試算－資本コストとの関係－ .....	43
5.3 事業を実現するための連携スキーム .....	47
5.3.1 サプライチェーンの連携スキームと企業間の合意内容 .....	47
5.3.2 共通価値創出のための手段－戦略マップ－ .....	49
5.3.3 事業の推進役としての地方公共団体の役割 .....	51
5.4 社会的受容性を高めるための取組み .....	51
5.4.1 安全性への適切な理解を得る .....	52
5.4.2 地域経済の活性化に繋げる .....	53
5.4.3 環境的価値を実現する .....	58
5.4.4 社会的受容性と戦略マップと地方公共団体の役割 .....	59
5.5 小結・水素エネルギーを実用化するための地方公共団体の役割の確認 .....	60
第6章 まとめと今後の課題 .....	62
謝辞 .....	65
引用文献／参考文献 .....	66

## 第1章 問題の所在

2023年、北半球の夏季は異常な猛暑であった。日本は1898年の観測開始以降、最も平均気温が高い夏<sup>4</sup>となり、北大西洋と地中海でも過去最高気温を記録<sup>5</sup>している。国際連合（以下「国連」という。）のアントニオ・グテーレス事務総長は、「地球温暖化」ではなく「地球沸騰化<sup>6</sup>」という表現を用いて気候変動への危機感を表した。これらの気候変動の原因は、二酸化炭素（以下「CO<sub>2</sub>」とする）を主とする温室効果ガスの排出による地球温暖化の結果だとされている<sup>7</sup>。

地球温暖化は、近年国際社会の主要なテーマとなっている。特に2015年の国連気候変動枠組条約締約国会議（以下「COP」という。）や国連総会を通して、「カーボンニュートラル<sup>8</sup>」や「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals）（以下「SDGs<sup>9</sup>」という。）」等、脱炭素化に向けた共通意識が形成され、国際社会を挙げて実現方法が検討・宣言されてきた。これを背景に、我が国は「第6次エネルギー基本計画<sup>10</sup>」で、エネルギー供給源における化石燃料の比重を減らし、原子力や再生可能エネルギー、水素・アンモニア等のクリーンエネルギーの活用を進めることで脱炭素を実現して行くことを表明している。

しかし、エネルギー転換による脱炭素に向けた取組は、地球温暖化の改善という明らかな便益がある一方で経済活動に負担をかける面がある。第一に、地球温暖化対策のためにCO<sub>2</sub>の削減を努力義務とした場合は、経済活動の規制や施設の根本的見直し等、経済成長の阻害要因に繋がりがねない。第二に、非化石燃料の導入を促進すると、従来の化石燃料のサプライチェーンから移行できない企業は存続できなくなる。

脱炭素が社会の持続可能性を守るための取組ならば、その過程で経済活動の阻害に終始するようないことがあってはならない。このような地球温暖化対策と経済成長が背反する問題に対して、水素の導入は有力な解決策になり得ると筆者は考えた。水素は、地球温暖化対策という点では燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出せず有効であり、経済成長への貢献という点では産業構造を温存しながら技術革新や新製品の市場商用化が可能である。脱炭素と経済成長の両立の実現に向けて、筆者は本稿で水素の実用化を達成する方法について一つのモデルを提示することを目指す。その内容は、水素の実用化を進めるために適切だと思われる具体的な事業を仮定した上で、この事業のサプライチェーンが効果的に機能するための条件を提示し、その中で地方公共団体が果たし得る役割を明らかにすることである。

次章では、昨今の脱炭素化を巡る状況について概説する。

---

<sup>4</sup> 気象庁 HP「夏（6～8月の天候）」 [vhttps://www.jma.go.jp/jma/press/2309/01b/tenko230608.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/2309/01b/tenko230608.html) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>5</sup> UNEP HP” The ocean is hotter than ever. Here’s why.”  
<https://www.unep.org/news-and-stories/story/ocean-hotter-ever-heres-why> 最終閲覧 2023.12.8

<sup>6</sup> United Nations HP” Secretary-General’s press conference on climate”  
<https://www.un.org/sg/en/content/sg/press-encounter/2023-07-27/secretary-generals-press-conference-climate>最終閲覧 2023.12.8

<sup>7</sup> IPCC HP” Special report “Global Warming of 1.5°C”.2018 <https://www.ipcc.ch/sr15/> 最終閲覧 2023.8.8

<sup>8</sup> COPP HP” COP26 Facts and Figures” <https://unfccc.int/news/cop26-facts-and-figures> 最終閲覧 2023.12.8

<sup>9</sup> UN HP” What are the Sustainable Development Goals?” <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>最終閲覧 2023.12.8

<sup>10</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「第6次エネルギー基本計画」  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf> 最終閲覧 2023.7.26

## 第2章 脱炭素化社会に向けて

本章では、2.1で「脱炭素」という社会的潮流の起源と社会的な影響力を確認する。2.2で2.1を受けた日本の「脱炭素」の取組として「エネルギー需給構造の変革」を紹介する。2.3でいずれのエネルギーの性質が脱炭素に適しているのかを確認する。

### 2.1 脱炭素化に向けた国際的な合意形成

環境問題は、1972年の国連人間環境会議（ストックホルム会議）で初めて全地球的な規模のアジェンダとして扱われた（高岡, 1973）。その後も環境保護に関する国際的な取組みは続き、1992年の国連持続可能な開発会議（リオ+20）で今日に通じる地球環境保護の考え方が形成され<sup>11</sup>、1997年の京都議定書（COP3）では、地球温暖化対策の為に法的拘束力を持ったCO2削減目標が先進国および市場経済移行国の間で締約された<sup>12</sup>。地球温暖化に向けた対策が年々具体化される一方で、京都議定書にも表れているように協力姿勢は国や地域によって対応が異なっていた。「脱炭素」について国際社会の方針に決定的な影響を与えたのは、2018年のIPCC（気候変動に関する政府間パネル）による「1.5°C特別報告書」である。IPCCは、各国の科学者が気候変動に関する科学的調査を行い政治的に中立な見解を示す機関であり、IPCCの調査結果は国連気候変動枠組み条約の議論の土台として扱われる。

同報告書では、温室効果ガスの排出・地球温暖化・異常気象の関連性を科学的に分析し、「今世紀末の気温上昇状況を産業革命前に比べて2°Cから1.5°C以内に抑えることは、地球環境にとって明らかな便益がある」こと、そしてこれを実現するためには「世界のCO2排出量を2050年頃に実質0にすることを目指すことが必要である<sup>13</sup>」ことが示された。

この報告書を強力な根拠として、国連においても脱炭素に向けた合意形成が加速した。2015年のCOP21パリ協定から脱炭素に向けた宣言はされていたが、2021年のCOP26<sup>14</sup>で「2050年にカーボンニュートラルを目指す」ためのグラスゴー気候合意が採択され、発展途上国を含めた全締約国が脱炭素のための目標設定をすることが取り決められた。

### 2.2 脱炭素化を巡る日本の状況

2.1のような国際的潮流を受けて、我が国政府でも脱炭素に向けた取組みが本格化した。

菅内閣総理大臣は2020年10月26日の所信表明演説において「2050年までのカーボンニュートラル実現を目指す」ことを宣言し、2021年4月のCOP26では、「2050年目標と統合的で、野心的な目標として、2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さ

---

<sup>11</sup> 外務省 HP 「国連持続可能な開発会議（リオ+20）」  
[https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/rio\\_p20/gaiyo.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/rio_p20/gaiyo.html) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>12</sup> 環境省 HP 「気候変動に関する国際連合枠組条約京都議定書（和文）」  
<https://www.env.go.jp/earth/cop3/kaigi/kyoto01.html> 最終閲覧 2023.12.8

<sup>13</sup> IPCC HP "Special report "Global Warming of 1.5°C".2018 <https://www.ipcc.ch/sr15/> 最終閲覧 2023.8.8

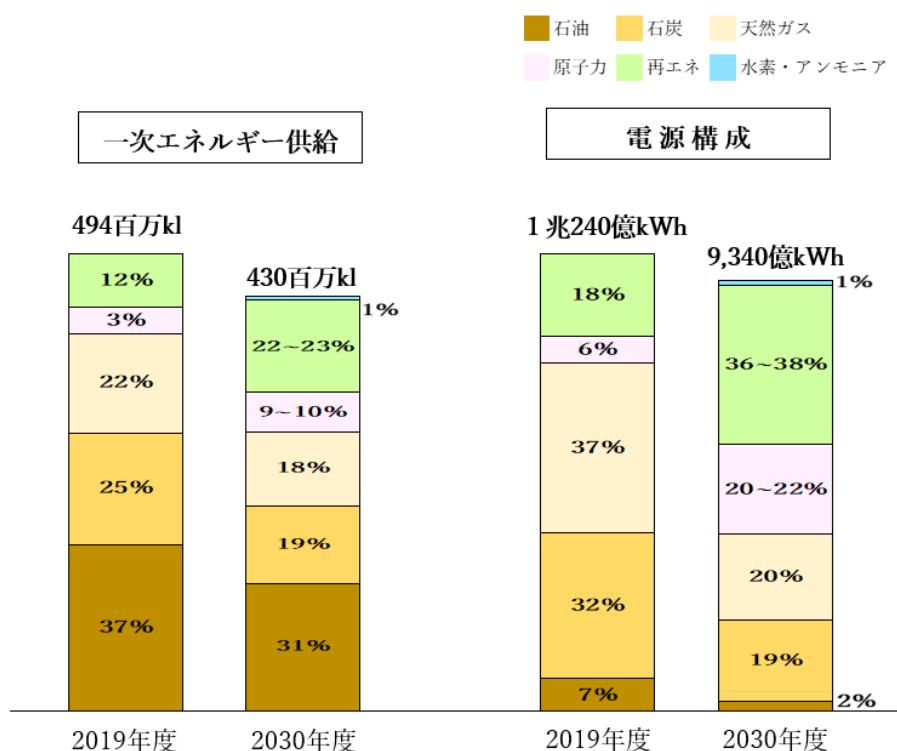
<sup>14</sup> COP26 HP "COP26 Facts and Figures" <https://unfccc.int/news/cop26-facts-and-figures> 最終閲覧 2023.12.8



らに、50%の高みに向けて、挑戦を続けていく」ことを表明した<sup>15</sup>。

政府は、脱炭素化実現のための大きな鍵を握るのは、エネルギーの需給構造を変革しクリーンエネルギーを導入すること<sup>16</sup>だとして、2030年度までの導入目標を図1のように設定している。一次エネルギーおよび電源構成のいずれも、現状（2019年度）は燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出する化石燃料が大きな割合を占めているが、2030年度は原子力や再生可能エネルギー<sup>17</sup>のように発電時にCO<sub>2</sub>を排出しないエネルギーの導入量を2倍近くに増やす目標を掲げている。更に、水素およびアンモニアといった高度な技術を要する新しきクリーンエネルギーも、2030年度には実用化することを目指している。

(図1) クリーンエネルギーの導入計画



出典 経済産業省資源エネルギー庁（2019<sup>18</sup>、2021<sup>19</sup>）を元に筆者作成

<sup>15</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「エネルギー白書 2021」  
[https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/1\\_2.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/1_2.pdf) 最終閲覧 2023.8.8

<sup>16</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「第6次エネルギー基本計画」  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf> 最終閲覧 2024.2.24

<sup>17</sup> ここでは太陽光発電、風力、地熱、水力、バイオマスを指す。  
 (参考) 経済産業省資源エネルギー庁 HP「2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-3.pdf> 最終閲覧 2024.2.24

<sup>18</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「総合エネルギー統計」2019年度  
[https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/results.html#headline7](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline7) 最終閲覧 2024.2.24

<sup>19</sup> 16および17に同じ

## 2.3 脱炭素化とエネルギー源別適性

2.2 で、脱炭素化を実現する重要な手段としてクリーンエネルギーの導入促進を、政府が企図していることを述べた。本節では、エネルギー源別の性質を分析することで、どのクリーンエネルギーを社会に導入することが脱炭素化の実現にとって有益であるか確認したい。

エネルギー源を比較する方法は、次のとおりである。

### ① 比較の対象の選定

最初に、エネルギー源を社会での主な活用方法に基づいて「燃料」（表1）と「発電エネルギー」（表2）に分ける。次に、「燃料」は、化石エネルギーとクリーンエネルギーの性質比較をするために、既存の燃料の代表として化石燃料の主力でありかつ比較的環境負荷が低い天然ガスを選び、新しいエネルギーの代表として燃焼性で環境負荷が低い水素を選んだ。「発電エネルギー」は、クリーンエネルギー同士の性質を比較するために、今後産業としての成長が期待されている水素・太陽光・洋上風力を選んだ。

### ② 適性を考察する基準

エネルギー源を社会で実用化する際の適性を考えるために、我が国がエネルギー政策で重要視している指針「S+3E<sup>20</sup>」を基準に、3Eについて次のような視点から評価した。Energy security（安定供給）：エネルギー源を安定供給する方法はあるか。特に自給が可能な場合は高評価とする。Economic efficiency（経済効率性）：エネルギー源を使うことに経済効率性はあるか。エネルギーの単純比較が難しいため、1単位当たりの価格および発電コストを記載する。Environment（環境）：環境負荷が低いエネルギー源であるか。特に燃焼時および発電時のCO<sub>2</sub>排出量で評価する。

なお Safety（安全性）については、今後クリーンエネルギーの導入を拡大するという政府の発言から、いずれのエネルギー源も等し並みに安全性向上に向けた対策がなされると考えたため、本稿では比較の基準から除外した。

### ③ 比較結果の分析

エネルギー源を比較した結果は次のとおりである。

燃料（表1）について、水素は無尽蔵に生産できるため Energy security を高く評価でき、燃焼してもCO<sub>2</sub>を発生しないため Environment の評価も高い。ただし、Economic efficiency は既存の天然ガスの4倍の供給価格、9倍の発電コストがかかるため、現状のままで水素が市場で普及することは難しいと考える。

発電エネルギー（表2）について、太陽光および洋上風力発電は総合的に適性が高いと言える。発電燃料が自然エネルギーであるため、需給調整の不確実性が否めず Energy security が懸念されるものの、電力源を自然から入手できるため Economic efficiency および Environment では高評価である。水素は、燃料の場合と同様 Energy security および Environment の評価は高いが、Economic efficiency が弱点となる。

<sup>20</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「第6次エネルギー基本計画」

<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf> 最終閲覧 2023.7.26



(表1) 燃料としてのエネルギー源の性質比較

		水素	天然ガス
3E	Energy security 安定供給	○ ・国内製造が可能 ・多様な供給源が想定できる	△ ・資源国の政情が影響する ・将来的に資源が枯渇する
	Economic efficiency 経済効率性	× ・供給価格 約100円/Nm <sup>3</sup> (2022年) ・発電コスト 約97.3円/kWh (2020年試算)	○ ・供給価格 24円/Nm <sup>3</sup> (2023年) ・発電コスト 約10.7円/kWh (2020年)
	Environment 環境適合	○ ・燃焼時 0	× ・燃焼時 2.7kg-CO <sub>2</sub> /kg

出典 経済産業省資源エネルギー庁 (2021<sup>21</sup>, 2023<sup>22</sup>)、環境省 (2008)<sup>23</sup>を元に筆者作成

(表2) 発電エネルギーとしてのエネルギー源性質比較

		水素	太陽光(事業用)	洋上風力
3E	Energy security 安定供給	○ ・国内製造が可能 ・供給源が多角化され得る	△ ・国内製造が可能 ・気象条件の影響を受ける	△ ・国内製造が可能 ・気象条件の影響を受ける
	Economic efficiency 経済効率性	× ・約97.3円/kWh (2020年試算)	○ ・約12.9円/kWh (2020年)	○ ・約30.0円/kWh (2020年)
	Environment 環境適合	○ ・発電時 0	○ ・発電時 0	○ ・発電時 0

出典 経済産業省資源エネルギー庁 (2021<sup>24</sup>, 2023<sup>25</sup>)を元に筆者作成

<sup>21</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/pdf/cost\\_wg\\_20210908\\_01.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_20210908_01.pdf) 最終閲覧 2024.2.25

経済産業省資源エネルギー庁 HP「アンモニアが“燃料”になる?! (前編) ~身近だけど実は知らないアンモニアの利用先」

[https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia\\_01.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_01.html) 最終閲覧 2024.2.25

なお、水素を燃料にした発電は2024年2月時点で商用化が始まっていないため、経産省の試算コストを用いた。仮定は水素を燃料として専焼した場合の発電コストである。輸送コストの見積もりが162円/Nm<sup>3</sup>のため、2020年時点で実現可能な技術を活用することを前提に試算したとみられる。

(参考) 経済産業省資源エネルギー庁 HP「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理(案)」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/025\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/025_01_00.pdf) 最終閲覧 2024.2.25

<sup>22</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「水素基本戦略」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_2.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_2.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>23</sup> 環境省 HP「燃料別の二酸化炭素排出量の例」

<https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf> 最終閲覧 2023.8.8

<sup>24</sup> 20に同じ

<sup>25</sup> 21に同じ

エネルギー源毎の性質比較は上記のとおりだが、社会における実用化の適性を評価する場合は、エネルギー源単体の性質で適不適を断じることが正確ではない。例えば、あるエネルギー源が単体としてデメリットがあるとしても、他のエネルギー源とメリットデメリットの補完関係をつくることのできるならば、両方のエネルギー源をバランスよく導入することがエネルギーの安定供給のレジリエンスに繋がると言えるためである。

クリーンエネルギーの例で言うと、太陽光および洋上風力で懸念される Energy security は水素の蓄電能力<sup>26</sup>で補うことができる。晴天・強風のときに発生した余剰電力を水素蓄電で貯蔵し、天候不順で発電量が不足する際はこの電力を活用するというものである。しかし、水素が多様な能力を持つからと言って水素をエネルギー源として偏重した場合、Economic efficiency の弱点から少なくとも短期的には社会の光熱費や物価を大きく上昇させる懸念があるため、発電コストの低い太陽光および洋上風力の活用割合も維持した方がエネルギー転換による経済的な影響を抑制できる。

このように、クリーンエネルギー単体として一定の有用性がありなおかつ他のエネルギーとの補完関係を見込めるエネルギー源ならば、社会に導入することが我が国の安定的な脱炭素化に有益だと言える。

以上をまとめると、2.3 ではクリーンエネルギー源ごとに性質を分析し、実用化に向けた適性を考察した。その上で、社会全体として安定的な脱炭素化を進めるためには特定のエネルギー源にかたよらずに供給枠を維持することが必要だと述べた。このことから、水素の実用化は脱炭素化を推進するための適切なエネルギー転換の一つであると位置づけられる。この上で、次章では水素の活用状況について確認したい。

---

<sup>26</sup> 公益財団法人 東京都環境公社東京都環境科学研究所 HP「水素蓄電の意義」  
<https://www.tokyokankyo.jp/kankyoken/profile/organization/field09/significance> 最終閲覧 2023.12.8

### 第3章 水素を巡る現状

前章では、2.1 で脱炭素化に向けた国際社会と我が国の状況を確認し、2.2 で我が国の脱炭素化の鍵はエネルギー需給構造の変革だとされていることを紹介した。これを踏まえて、2.3 では太陽光・洋上風力・水素といったクリーンエネルギー源の性質を比較し、脱炭素化社会を実現するためにいずれのエネルギー源が適しているかを分析した。いずれのエネルギー源にもメリットデメリットがあることを確認した結果、安定的に脱炭素化を進めるためには、特定のエネルギー源の導入に偏ることなく、エネルギー源単体として脱炭素化についてのメリットがありかつ他のエネルギー源と長所短所の補完性のあるエネルギー源を複数種類導入することが有益であると述べた。この考えに基づくと、水素は燃料でも電源でも、導入を進めることで社会の脱炭素化の実現に有益であることを確認した。

本章では、脱炭素化に向けて、我が国で水素の導入を推進してきた過程を確認する。3.1 で政府の方針について、3.2 で民間企業の取組みについて述べ、3.3 では水素の活用状況を確認し、3.4 で水素の実用化と国際競争について言及する。

#### 3.1 政府の方針

水素の実用化について、我が国政府は高い優先度を設定していると見られる。2023年6月に改訂した「水素基本戦略<sup>27</sup>」では、ウクライナ戦争を機にEUがエネルギー供給の自立化志向を強め、水素の活用が世界的に加速したことに触れて「水素社会の実現の成否は、我が国の競争力を左右する<sup>28</sup>」と強い表現で見解を述べている。同戦略の中で、水素は2030年に1%程度の電源構成<sup>29</sup>を担う位置づけをしており、技術開発のためのグリーンイノベーション（以下「GI」という）基金2兆円の4割<sup>30</sup>を水素関連に割り当てることとしている。また同基金とは別に、水素の技術開発を含むGXの推進のために今後10年間で20兆円<sup>31</sup>の政府投資を行うことを記載した。

このように、近年の政府文書で水素の活用促進に力を入れる政府の姿勢が明らかにされているが、我が国の水素政策は一時的な盛り上がりではなく世界に先駆けて取り組んできた経緯を持つ。我が国は、2017年に世界で初めて水素の国家戦略「水素基本戦略」を策定し2018年に水素閣僚会議を主催することで、国際的な水素社会構築の牽引役となってきた。2020年10月、菅総理（当時）が2050年カーボンニュートラル宣言をした後、水素は2021年策定の第6次エネルギー基本計画に将来の電源構成として明記されGI基金も創設されたように、脱炭素化政策の中で明確な役割を有して来たのである。

次に、地方では水素をどのように位置づけているのか確認したい。環境省は、「水素導入を進め

---

<sup>27</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「水素基本戦略」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_2.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_2.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>28</sup> 同上

<sup>29</sup> 同上

<sup>30</sup> 同上

<sup>31</sup> 同上

ていくためには多様なステークホルダーとの連携が必要」であるため、「地方公共団体が水素にかかる方針を提示する」（地方公共団体の上位計画に記載する）ことで、「事業者をはじめステークホルダーとの連携が進みやすくなる」としており、水素の導入を計画する地方公共団体には、その内容を各地方公共団体の上位計画に記載することを地方公共団体に求めている<sup>32</sup>。このため、筆者は2023年8月8日に、全都道府県の環境に関する上位計画（環境基本計画や水素社会推進構想等）を確認した。その結果、公共団体によって水素を導入する規模や計画の密度は異なるが、全ての都道府県が何らかの形で水素の活用について言及していた。

水素の活用に向けた地方公共団体の取組み内容は、実に多様である。地方公共団体と大企業が「水素の活用を通じた地域振興」という価値観を共有しビジネスモデルの構築を見据えて実証実験を始めたケース<sup>33</sup>や、地方公共団体が環境省の委託を受けて採算性は問わずに地域資源の有効活用方法を模索するための実証実験を行ったケース<sup>34</sup>がある。

このように、地方公共団体が水素という新しいエネルギーについて関心を持ち、実証実験を行える背景には、政府による直接の補助金および NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）を通じた技術開発支援、情報提供等のバックアップがあることは確かであろう。しかし、地方公共団体によっては、早くから主体的に水素の可能性に着目し、政府が2018年に第一次水素基本戦略を制定するより前に水素の活用計画を策定していた<sup>35</sup>。それぞれが、社会の脱炭素化の潮流や地域の産業の特徴を踏まえた上で、水素を一つの解決策として想定していたのである。このことから、水素の活用は、政府の支援を待たずとも、地方公共団体が自主性をもって推進できる政策でもあると考えられる。

### 3.2 民間企業の方針

一般社団法人 日本経済団体連合会（以下「経団連」とする。）は、水素を「多様な技術進展を伴う」上に「既存設備を継続活用できる」ため、経済成長に資するエネルギー源だと評価<sup>36</sup>している。一方で、技術の進展は充分でなく市場も整備されていない現状があるため、製品の開発や実証実験のために複数の企業が協力し合う体制が築かれている。この例として、水素の社会実装を推進するために産官学が技術連携や提言を行う「水素バリューチェーン推進協議会」がある。同協議会は2020年に創設され、2023年11月13日現在413団体<sup>37</sup>が加盟している。

---

<sup>32</sup> 環境省 HP 「地方公共団体の皆様へ」

[https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka\\_saisei/lowcarbon-h2-sc/company/local.html](https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/company/local.html) 最終閲覧 2023.8.8

<sup>33</sup> 福島県 HP 「福島での未来のまちづくりに向けた水素の社会実装を開始」

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/523095.pdf> 最終閲覧 2023.8.8

<sup>34</sup> 北海道 HP 「家畜ふん尿由来水素を活用した水素サプライチェーン実証事業」

[https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/1/1/7/0/8/6/\\_/demonstration\\_02\\_20190208.pdf](https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/1/1/7/0/8/6/_/demonstration_02_20190208.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>35</sup> 徳島県の「水素グリッド構想」、神奈川県「神奈川の水素社会実現ロードマップ」は2015年策定。島根県「島根県 地域新エネルギー 導入促進計画」（2008年策定）、大分県「大分県新エネルギービジョン」・山梨県「やまなしエネルギービジョン」（各2016年策定）の中でそれぞれ、水素の活用について言及している。

<sup>36</sup> （一社）日本経済団体連合会 HP 「GX にむけて」

[https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/043\\_honbun.pdf](https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/043_honbun.pdf) 最終閲覧 2023.8.8

<sup>37</sup> 水素バリューチェーン推進協議会 HP

[https://www.japanh2association.jp/pages/5769365/page\\_202202031627](https://www.japanh2association.jp/pages/5769365/page_202202031627) 最終閲覧 2023.12.8

大手企業による水素の商用化の起源として筆者が見つけた最も古い例は、1990年の三洋電機(株) (当時社名。現在はパナソニック(株))によるニッケル水素電池販売開始<sup>38</sup>である。水素は環境配慮とエネルギー安全保障のメリットがあることから、水素の実用化に向けた技術開発はより多くの熱と電気を扱う燃料電池の分野でも進み、2002年、トヨタ自動車(株)は自社開発の燃料電池を搭載した自動車を限定販売ながら日米の市場に出し<sup>39</sup>、2009年、パナソニック(株)は家庭用燃料電池エネファームの販売を開始した<sup>40</sup>。

水素が市場に登場して以来、水素を活用するための実証実験や製品化の試みは全国で盛んに行われており、我が国の水素技術は特許数を見ても世界の中でもトップ層に位置する<sup>41</sup>と評することができる。更に近年の世界的な脱炭素化の潮流は水素市場の開発にも追い風となっている様子であり、2023年の「FC EXPO【春】第19回国際水素・燃料電池展<sup>42</sup>」を筆者が訪問した際は、国内外から226の企業・法人が参加して、水素の製造から輸送/貯蔵、利用まで幅広い分野で自社製品の技術をPRし、多くの来場者が訪れて活況を呈していた。東証一部上場企業のような大企業だけでなく、地域の中小企業やベンチャー企業も独自の水素関連技術を堂々と展示し、売り込みをかけていたことが印象的であった。水素の実用化に向けては、第4章で詳述するようにいくつかの課題があるが、技術・規模ともに幅広い民間企業が水素の効率的な実用化とサプライチェーンの構築を模索している印象を得た。

このような機運の中で、2022年にHySTRA(技術研究組合CO<sub>2</sub>フリー水素サプライチェーン推進機構)が水素を-253°Cで液化し体積を800分の1に圧縮して、水素を安価に生産できる外国から大量運搬する実証実験に世界で初めて成功<sup>43</sup>した。このことは、水素の大量消費を支える技術や体制の実現性を示すものであり、水素の実用化に向けた大きな推進力になったと言える。

なお、経団連が経済成長の促進剤と見込んでいる革新的技術の例<sup>44</sup>は、次のとおりであり、水素が多様な産業で、大規模かつ継続的に活用されることへの期待が示されている。

炭素化・エネルギー部門：蓄電池、水素アンモニア発電、ガス自体の水素化

- ・産業部門：水素還元製鉄、水電解水素製造、水素アンモニア混焼
- ・運輸部門：FCモビリティ(自動車、バス、電車)水素燃料船舶

---

<sup>38</sup> パナソニックエナジー(株)「電池事業の歴史」

<https://www.panasonic.com/jp/energy/business-details/history.html> 最終閲覧 2024.3.4

<sup>39</sup> トヨタ自動車(株)HP「トヨタ自動車75年史第3部第8節第2項電気自動車、燃料電池車の開発」

[https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/text/leaping\\_forward\\_as\\_a\\_global\\_corporation/chapter4/section8/item2.html](https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/text/leaping_forward_as_a_global_corporation/chapter4/section8/item2.html) 最終閲覧 2023.8.8

<sup>40</sup> パナソニック(株)「燃料電池開発のあゆみ」

<https://panasonic.biz/appliance/FC/enefarm/history.html> 最終閲覧 2024.3.4

<sup>41</sup> 経済産業省資源エネルギー庁HP「『水素エネルギー』は何がどのようにすごいのか？」

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteiky/suiso.html> 最終閲覧 2023.12.8

<sup>42</sup> (一社)水素エネルギー協会、(一社)燃料電池開発情報センター、(一社)水素バリューチェーン推進協議会(JH2A)共催による、水素の社会実装に向けたあらゆる技術の展示会。参加企業数は主催者発表。

<sup>43</sup> 神戸新聞HP「世界初の『液化水素運搬船』実証成功、神戸で記念式典『カーボンニュートラル社会へ大きな一歩』」

<https://www.kobe-np.co.jp/news/sougou/202204/0015206954.shtml> 最終閲覧 2023.12.8

<sup>44</sup> (一社)日本経済団体連合会「経団連カーボンニュートラル行動計画」

[https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/095\\_honbun.pdf](https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/095_honbun.pdf) 最終閲覧 2023.8.8



### 3.3 社会での水素の活用状況

本章の3.1 および3.2で、国・地方公共団体・企業が水素の活用に積極姿勢を示していることを述べた。3.3では社会での水素の活用状況を確認したい。

水素のサプライチェーンは図2のとおり、「製造」「輸送・貯蔵」「利用」の3工程に大きく分けられる。日本の技術は全工程で発揮することができるため、水素を活用すればするほど産業振興の機会になると言える。特に政府が期待している活用用途は「発電」、「モビリティ」、「FC（燃料電池）活用」である。これらについては、水素基本戦略でもそれぞれの導入目標数が決められており（図3）、政府は購入補助金や投資政策<sup>45</sup>により普及の促進を図っている。しかし、2023年8月現在、実際に市場化に成功しているのは、エネファームとモビリティのみであり、普及も成功したとは言い難い。

特にモビリティからこの現象を分析すると、2017年度の水素基本戦略では政府が目標とした2020年の燃料電池自動車（以下「FCV」とする）導入台数は4万台<sup>46</sup>だったが、実績では2022年ですら7,418台に留まっている<sup>47</sup>。この原因として、FCVと水素ST（以下「水素ST」とする）のそれぞれの普及の確実性を巡って、「鶏と卵」（Joseph2004）の問題が起きていると指摘される。FCVの普及量の低さが水素STの設置を抑制しているという説に基づく、次のとおりになる。FCVの価格は同種・同格のガソリン自動車の価格より約300万円<sup>48</sup>高いため、一般的な消費者はFCVの買い控えを行う。この状況を受けて、水素STの事業者も水素STへの投資回収ができるだけの十分なFCV利用者数を確保する予見性が低いために、水素STの展開を躊躇するというものである。一方で、水素STの設置数の少なさがFCVの普及を妨げているという説に基づく、次のとおりである。水素STの建設費は3.5億円<sup>49</sup>で、ガソリンスタンドの建設費は7千万円から8千万円<sup>50</sup>であることに比べると事業者にとって開設は容易ではなく、我が国全体における水素STの設置数は161箇所<sup>51</sup>しかない。ガソリンスタンドの設置数が2万8千箇所<sup>52</sup>であることを考えると、FCVの走行を支えるインフラ機能は低いことがわかる。このことが、消費者にFCVの購入を躊躇させる一因になっているというものである。

水素製品を普及させるためには、製品単体だけでなく水素インフラも同時に普及拡大せねばなら

---

<sup>45</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「GX 実現に向けた基本方針 ～今後 10 年を見据えたロードマップ～」  
[https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf) 最終閲覧 2023.12.7

<sup>46</sup> 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 HP「水素基本戦略」（2017 年度版）  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei\\_energy/pdf/hydrogen\\_basic\\_strategy.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>47</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「モビリティのカーボンニュートラル実現に向けた水素燃料電池車の普及について」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/mobility\\_hydrogen/pdf/001\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mobility_hydrogen/pdf/001_04_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>48</sup> 技術情報協会（2022）『水素の製造、輸送・貯蔵技術と材料開発事例集』技術情報協会

<sup>49</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金について」  
[https://www.meti.go.jp/information\\_2/publicoffer/review2021/kokai/overview6.pdf](https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2021/kokai/overview6.pdf) 最終閲覧 2024.1.24

<sup>50</sup> 新電力ネット HP「年々と減少していくガソリンスタンド、EV 充電器や水素ステーションのメリットとは」  
<https://pps-net.org/column/61172> 最終閲覧 2024.1.24

<sup>51</sup> （一社）次世代自動車振興センターHP「充電スポット／水素ステーション」  
[https://www.cev-pc.or.jp/lp\\_clean/spot/](https://www.cev-pc.or.jp/lp_clean/spot/) 最終閲覧 2024.1.24

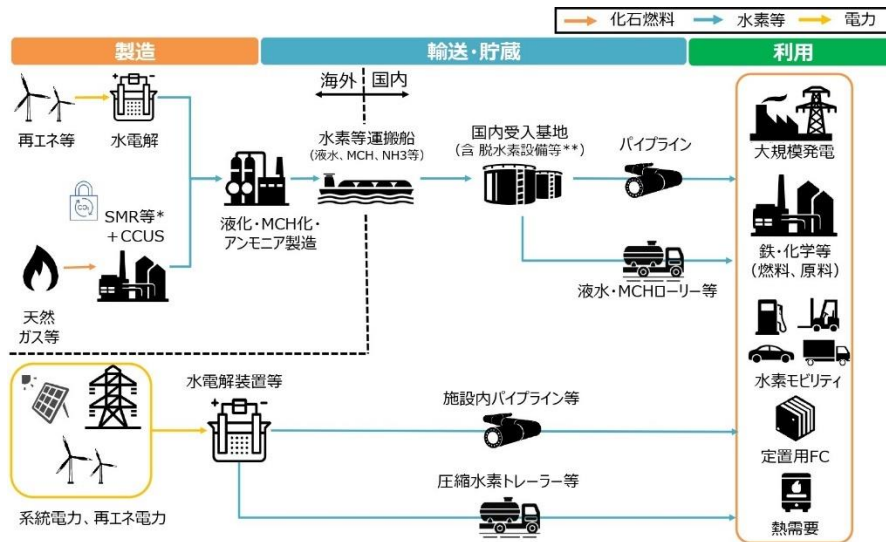
<sup>52</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「令和3年度末揮発油販売業者数及び給油所数を取りまとめました」  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/distribution/hinnkakuhou/220729a.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/hinnkakuhou/220729a.html) 最終閲覧 2024.1.24



ないこと、この基盤として水素サプライチェーンの確立が求められることがうかがえる。

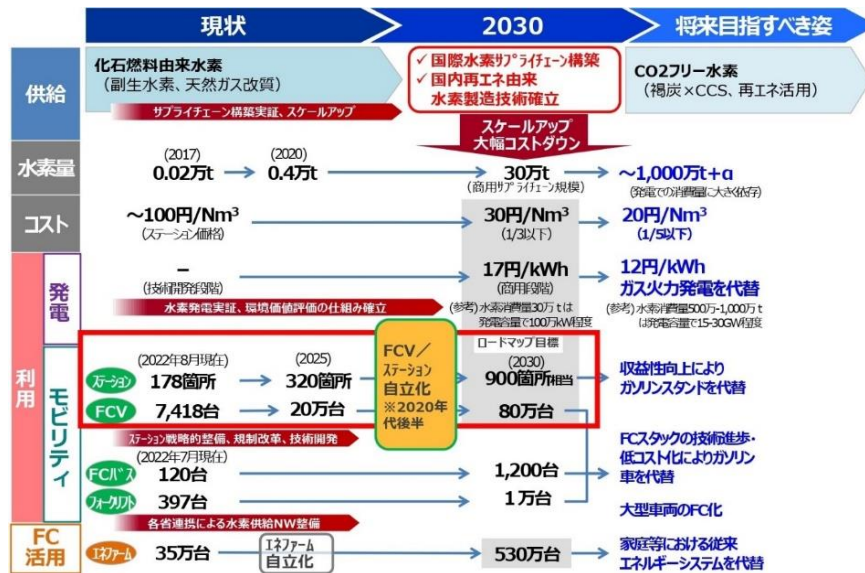
3.1 から 3.3 までで、官民を挙げて水素産業に注目し実用化を推進すべく水素技術の開発や製品の普及に取り組んできたにも関わらず、水素の活用を進めることは容易ではないという状況を示した。この過程で、政府の補助金制度のみならず製品開発の当事者たる民間企業も、莫大な費用を投入し続けている。本章の最後の次節で、水素の実用化により得られる便益について確認したい。

(図2) 水素のサプライチェーン



出典 経済産業省資源エネルギー庁 HP (2023)<sup>53</sup>

(図3) 水素の活用方法と導入目標数



出典 経済産業省資源エネルギー庁 HP (2022)<sup>54</sup>

<sup>53</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP 「水素を取り巻く国内外情勢と水素政策の現状について」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/energy\\_structure/pdf/014\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/014_04_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>54</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP 「モビリティのカーボンニュートラル実現に向けた水素燃料電池車の普及について」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/mobility\\_hydrogen/pdf/001\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mobility_hydrogen/pdf/001_04_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

### 3.4 水素産業の便益と国際競争

前節までで、水素の実用化は官民を挙げて目指しているがごく限られた規模しか実現していない状況を示した。本節では、水素の実用化により得られる便益を確認することで、水素の実用化を早期に実現すべき必要性について言及したい。

水素の実用化により得られる便益は、第一に、2.3 で確認したとおり、社会の脱炭素化に貢献できることである。水素は燃料としても発電エネルギーとしても有用性が認められることから、多様な産業部門の脱炭素化を推進し得ると見込まれる。

便益の第二は、水素市場を開拓し水素産業を育成することにより、我が国の企業の経済成長が見込めることである。水素市場は 2050 年までに、国内で 35 兆円世界全体では 374 兆円<sup>55</sup>の規模に成長することが期待されている。3.3 で述べたとおり、日本企業は水素サプライチェーンの全工程で技術や製品を供給する技術があるため、国内外で水素の実用化が目指される潮流の中、時代の進行とともに日本企業の水素市場は順当に成長するかのように見える。しかし、国際市場で製品を流通させるためには、いくつかの条件を満たさなければならない。その一つとして確実に必要なのは、製品の規格が国際標準を満たすことである。

国際標準とは、製品の品質や性能、安全性、寸法、試験方法などに関して国際的に定めた取極めのことである。これによって製品やサービスの国・地域間での相互運用が可能になり、国際貿易で円滑に経済取引を行うことができる。この国際標準を決める主な組織は三つある。一つ目は国際標準化機構（International Organization for Standardization）である。電気・通信以外の全分野を対象としており、25,083 件の国際標準を有している。スイスのジュネーブに本部をおく国際非政府組織で 169 カ国が加盟<sup>56</sup>している。二つ目は、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission）である。電気技術分野を対象として 7,424 件の国際標準を有している。スイスのジュネーブに本部をおく非営利組織で 89 カ国が加盟<sup>57</sup>している。三つ目は国際電気通信連合電気通信標準化部門（International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector）であり、通信分野を対象として 4,000 以上の国際標準を国連で勧告している。国連の専門機関であり 193 カ国が加盟<sup>58</sup>している。

製品の国際的な販路を確保するためには、製品が国際標準を満たすという無視できない前提があるため、国際標準制度が持つ影響は大きい。更に、経済のグローバル化が進展した現在では「国際的に優れた新技术を国際標準化することにより、新たな製品・サービスの国際的な需要を喚起し、グローバルな市場の創出・市場の拡大につなげることができる」とされている（高山 2011）。

国際標準で制定する内容如何により自社製品の市場での影響力が懸かっているが、制定基準は客観的に設けられていないため、各国の代表が自国企業にとって有利な内容を制定できるように

---

<sup>55</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「水素基本戦略の個別論点と水素産業戦略について」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/031\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/031_03_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>56</sup> ISO HP "About us" <https://www.iso.org/about-us.html> 最終閲覧 2023.12.7

<sup>57</sup> IEC HP "Standards development" <https://www.iec.ch/standards-development> 最終閲覧 2023.12.7

<sup>58</sup> ITC-T HP "Setting the standard" <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-t-setting-the-standard.aspx> 最終閲覧 2023.12.7

戦略的な活動を行っている<sup>59</sup>。特に EU は、EU 域内での地域標準化を実現してきたノウハウを持ち、国際標準制定の際の多数決では組織票を發揮して他の地域よりも強く国際標準の策定に関与して来たことが指摘される（高山 2011）。水素は既存の産業構造を温存し、設備を継続使用したままエネルギー転換を実施できるというメリットがあるのだが、このことは同時に、水素技術や水素製品に関する国際規格が日本企業ではなく外国企業と親和性の高い内容になった場合、既存の産業構造の中で水素を活用する度に、日本市場が外国企業に席卷されることを意味する。

日本企業の水素技術や水素製品が国際市場で競争をリードするためには、この国際規格を形成する時点で、日本企業や日本政府が発言力を持たなければならない。そのためには、日本企業が他国に先んじて水素技術や水素製品を実用化し国内の水素市場を育てることによって、日本の技術や製品の規格のプレゼンスを国際交渉の場で示さなければならないのである。

本節では、以上のように、水素を実用化することによる便益と、実用化を急ぐ必要性について述べた。次章では水素の実用化における課題を分析する。

---

<sup>59</sup> 首相官邸 HP「国際標準に関する基礎概念の整理」

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/tyousakai/cycle/dai6/6sankou1.pdf> 最終閲覧 2023.12.7

## 第4章 水素を実用化するための課題

前章では、政府、地方公共団体、民間企業の間で水素の価値が広く認められ、いずれも水素の活用について積極的な姿勢を示しているにも関わらず、実際には水素の市場化が進まない現状を確認した。このように、水素の実用化に向けたスタートラインに政府、地方公共団体、民間企業といった主要な社会的主体が揃い、政策上の後押しや水素製品の製造および販売について具体的な事業者が想定できるが実用化に向けた本格的な第一歩が踏み出せていないという状況には、原因があるはずである。本章では、4.1 でこの状況の背景の原因について分析し、4.2 で解決策を提案し、第5章における考察に繋げたい。

### 4.1 水素が普及しない原因について

前章で確認した水素の普及が進まない状況に対して、行政や企業はどのように水素の普及を実現しようとしているのかを知るために、筆者は2023年2月から9月にかけて、水素の実証実験や導入促進に取り組む地方公共団体および企業にインタビュー<sup>60</sup>を行った。インタビュー先は、表3のとおり兵庫県、福島県浪江町、デンソー福島(株)、神戸市の10組織16名である。ここで水素の普及を妨げる原因を問うたところ、「水素のコストが高いこと」（インタビューを行った10組中10組<sup>61</sup>回答）および「水素の安全性に関する理解が足りないこと」（同じく10組中6組回答）が主な要因として挙げられた。そこで、4.1.1 では、原因の第一として挙げられた水素のコストが高いことが、水素の普及をどのように妨げているのか状況を分析し、4.1.2 では、原因の第二として挙げられた水素の安全性に関する理解が足りないことが、水素の普及についてどのような問題に繋がっているのかについて述べる。

なお、水素の普及を妨げる原因を問うインタビューの中で、「水素のコストが高いこと」と「水素の安全性に関する理解が足りないこと」に続いて、「水素を活用する必要性やメリットについて企業側の実感が足りないこと」という見解も複数の組織に共通して挙げられた。第三の点は、水素を普及する過程で必要となる水素サプライチェーンの構築に関する文脈の中で得られた回答である。水素サプライチェーンの構築と企業の参入については、水素の安全性の理解促進についてのアプローチから始まる社会的受容性の一要素として5.4.2で詳述する。

(表3) インタビュー先一覧

年月日	組織名	回答者（敬称略）
2023年2月17日	兵庫県企画部計画課エネルギー・水資源班	班長 T 氏
2023年2月24日	兵庫県環境部水・大気課大気班	担当 3 名
2023年6月15日	福島県浪江町産業振興課新エネルギー推進係 同住民課	係長 K 氏、担当 1 名 課長 S 氏

<sup>60</sup> 本稿に引用したインタビュー内容はインタビューに協力いただいた各位の見解に基づくものであり、所属組織を代表する意見ではないことを付言する。なお、組織名および職位はインタビュー当時のものを用いている。

<sup>61</sup> 回答の集計の単位を「組」とした理由について、本インタビューは対話形式で展開したため、インタビューに回答者として同席した人数ではなく一組織毎に計数する方が正確だと考えた。ただし、回答者に教示いただいた見解は回答者の所属する組織を代表する意見ではないため「組織」は用いず、「組」で計数した。

2023年6月15日	(株)デンソーエネルギーソリューション開発部	担当次長 H 氏
2023年8月18日	兵庫県土木部港湾課港湾計画班	班長 O 氏、担当 1 名
2023年8月18日	兵庫県企画部総合政策課	水素・エネルギー企画官 O 氏
2023年8月24日	兵庫県産業労働部新産業課情報・成長産業振興班長	班長 I 氏、担当 1 名
2023年8月24日	兵庫県環境部環境政策課温暖化対策班	班長兼副課長 M 氏
2023年9月11日	神戸市環境局環境創造課エネルギー政策担当	班長 U 氏、担当 1 名

出典 筆者作成

#### 4.1.1 水素の活用コストが高いという問題

水素が社会に普及しない原因として全てのインタビュー先が挙げたのは、「水素を扱うためのコストが高い」というものである。水素のサプライチェーンは、3.3の図2で見たとおり「製造」「輸送・貯蔵」「利用」から成り立つ。「製造」について、水素の製造方法は化石燃料の燃焼や再生可能エネルギーを用いた水電気分解があり、方法によっては水素の製造過程でCO<sub>2</sub>を排出する<sup>62</sup>。脱炭素化をより確実に実践するために全くCO<sub>2</sub>を排出しないグリーン水素を製造する場合は、一旦再エネで生成された電力を水素に置き換えるためにエネルギーの変換効率が悪く、製造者にとっては余分なコストが発生する。また、「輸送・貯蔵」について、現在水素を大量調達するために最も効率の良い輸送方法は3.2の実証実験で紹介した-253°Cで冷却した液化水素を海外から輸送するものだが、超低温を維持するための電気代が非常にかかる。また、貯蔵する際にも、水素が素材を通過して発散しないような特殊な加工を要する。このように水素エネルギーは、既存の化石燃料を扱うよりも事業者にとっては高いコストを要する。更に、水素は普及量が少なく一製品当たりの生産コストが高いため、「利用」段階でも水素製品は高くなっている。例えばFCVは、3.3で見たように同格のガソリン車よりも300万円高い。

このように、水素のサプライチェーンの構成側にとっても消費側にとっても、水素を扱うためのコストは既存の同格の物を扱うよりも高くなることになる。本稿では、水素のサプライチェーンにおける水素の製造費、水素の運搬・貯蔵に要する費用、利用時の水素製品または水素エネルギーの販売価格（消費者にとっての購入費）を一般化した総称を、「水素活用コスト」とする。

水素活用コストが高いため水素が社会に普及しないという認識は政策現場も有していると思われ、例えば経済産業省はFCVおよび水素STの普及促進のために、それぞれガソリン車の販売価格およびガソリンスタンドの建設費との値差を埋める補助金政策<sup>63</sup>をとっている。しかし3.3で述べたとおり、FCVの普及と水素STの普及については「鶏と卵」の関係が働くこともあり、補助金政策の効果はあまり捗々しくない。水素製品の販売価格が高いことがその普及を停滞させている原因だという認識は広く共有されながら、水素製品の販売価格を下げるだけでは水素製品の普及には直結しないという、エネルギー転換の実践の難しさを改めて示している。

<sup>62</sup> 水素は、脱炭素化の観点からグレー水素（化石燃料を精製する過程で抽出するため製造時にCO<sub>2</sub>を排出する）、ブルー水素（グレー水素にCCS(捕集・地中貯留)処理をしてCO<sub>2</sub>の大気排出を伴わないようにする）、グリーン水素（再生可能エネルギーを用いて水電気分解するため製造時にCO<sub>2</sub>を排出しない）に大別できる。

<sup>63</sup> 経済産業省「CEV補助金」および「クリーンエネルギー自動車の普及促進に向けた充電・充電インフラ等導入促進補助金」



ここで筆者は、水素の社会実装を実現するために民間企業が描く戦略を知りたいと考え、実際に水素活用の実証実験に取り組む(株)デンソー福島へ 2023 年 6 月 15 日にインタビューを行った。

(株)デンソー福島の実証実験は、水素の活用による工場の脱炭素化と水素の地産地消モデルの検証を目的としている。実証は、部品製造ラインにおいて、従来、LPG を利用している工業炉のうち、ろう付け炉は電気炉に置き換え、高温で短時間に排出ガス加熱が必要な排気無害化炉は、工場内の太陽光発電電力を用いて工場内で製造したグリーン水素に置き換えるというものである。水素エネルギーの性質<sup>64</sup>として高温での燃焼が可能であるため、排出ガスを確実に燃焼するために電気炉よりも水素の燃焼を選んだと、同社のエネルギーソリューション開発部担当次長である H 氏は話した。

H 氏によると、水素社会を実現するために大切なことは、何でも水素にするというのではなく水素の性質を活かして経済合理性を発揮できる用途を見つけること、そして、一企業の技術と製品のみで水素サプライチェーンは構築できないため企業間が得意な技術を持ち寄って水素社会の形成に向けた仲間づくりをすることである。

一方で課題と考えられるのは、やはり水素を活用するコストが高いままでは、水素を使うための技術や製品を企業が一生懸命開発したり、製品のコストダウンを心がけたりしても社会への普及が進み難いという点を挙げた。この度の実証実験に要する一連の設計費や水素製造設備および水素タンク等のコスト総額は明言されなかったため、東京都の「グリーン水素製造・利用の実機実装等支援事業」を参考に筆者が実験コストを推定すると、高くして 2 億 5 千万円程度<sup>65</sup>のコストがかかることが見込まれる。工場の一工程を脱炭素化することと引き換えに企業がこのような高額な追加コストを選択することは現実的に想定し難い。

本件の実証実験では、施設内で水素の製造と小規模活用を可能にするモデルを立て、水素社会の一端を実現したことに大きな意味があるが、再エネ電力を購入した場合において、従来の LPG を再エネ電力で水電気分解したグリーン水素に置き換えると、同様の加熱処理を行うために、3 倍程度コストアップする試算となるため、やはり水素活用コストを下げなければモデルが経済合理性を保ちつつ社会に浸透して行くのは難しいというのが現実である。

以上のとおり、4.1.1 では水素活用コストの高さが水素技術および水素製品の普及の妨げになっていると見る水素活用現場の見解を紹介した。その上で、第一に水素製品に関する既存の補助金事業の一例を確認したところ、FCV と水素 ST の普及については既存の同格のガソリン製品との価格差だけが問題になっているのではなく、製品とインフラの普及過程に「鶏と卵」という問題が付随することが明らかになった。第二に、水素の活用を試みる民間企業の実証実験の一つを訪ねたところ、グリーン水素の施設内製造と利用というモデルを実用化するためには、水素活用コストを低減することは元より経済合理性を備えた水素の利用方法を見定めることも重要であると示された。

---

<sup>64</sup> 水素は高温で燃焼するため、窒素酸化物が発生しやすくなるという懸念点もある。

<sup>65</sup> 事業所等でグリーン水素の製造を行い、貯蔵し、エネルギー活用し、更にグリーン水素の普及啓発活動に協力する事業者に対して、設計費・設備費・工事費・諸経費を補助するもの。補助率は 10 分の 10 で、補助の上限額が 2 億 5 千 300 万円であることから、一般的に想定される総額は 2 億 5 千万円程度と考えた。

(参考) 東京都 HP「グリーン水素製造・利用の実機実装等支援事業」

[https://www.tokyo-co2down.jp/subsidy/green\\_hydrogen](https://www.tokyo-co2down.jp/subsidy/green_hydrogen) 最終閲覧 2024.1.22



これらのことから、水素の普及を実現するためには、特定の製品や事業への補助を行うだけでなく、水素活用コストを根本的に下げ得るような水素サプライチェーンを横断した取組が期待されると筆者は考えた。この取組については4.2.2で省察するとして、4.1.2では、水素の普及を阻害する第二の原因として挙げられた水素の安全性に対する理解の問題について述べる。

#### 4.1.2 水素の安全性に対する理解の問題

水素の普及を妨げる原因を更に探究すると、インタビューの中で「コスト高」に次いで多く挙げられたのは、「水素の安全性を地域住民が正しく理解しないことへの懸念」である（インタビューを行った10組中6組が回答）。具体的な想定は、仮に水素の活用が企画されたとしても、事業者が地域住民に水素の安全性を十分に説明できずに地元の理解を得ることができない場合、水素施設の建設や事業の展開について地元の反対運動等により事業の進行が滞るリスクがあり、事業者はこの不確実性を避けるために水素事業の導入に消極的になってしまうというものである。

水素の安全性について理解を得られるか否かの不透明さが水素の普及を妨げる原因になり得るとされる状況について正確に分析するために、4.1.2では第一に一般的な地域住民の水素に対する認識を確認し、第二に水素の安全基準に関する法制度を確認したい。

##### a 水素の安全性に関する一般的な住民の認識

一般的な地域住民の水素に対する認識の具体例について、NEDOが15歳から69歳の600人を対象に、2019年に行ったインターネット調査「水素社会構築技術開発事業／総合調査研究／水素に対する社会受容性向上に向けた調査」（NEDO,2020）によると、NEDOが新エネルギーとして示した11種類のエネルギー<sup>66</sup>のうち、水素の認知度は7番目であり、アンケート回答者の57%<sup>67</sup>が水素の存在を認識している。同じ新エネルギーの対象の中から関心のあるエネルギーを全て選ぶ設問では、水素は5番目に注目度が高い結果であった。しかし、割合で言うと回答者の23.3%<sup>68</sup>のため、水素は社会の半数程度に認知されていても関心を持っているのは4分の1以下であることがうかがえる。更に、水素のイメージを15の選択肢の中から複数回答可で尋ねた項目では、回答数が多いものから順に「環境に良い(34.3%)、高い技術力が必要(30.7%)、料金が高そう(23.8%)、普及するのが難しそう(20.5%)、期待できる・楽しみだ(17.3%)」となり、安全に関するものは「事故が起きやすそう・危険(16.5%)<sup>69</sup>」で6番目に回答数が多かった。以上のアンケート結果から、一般的な地域住民は、水素への関心が低いと言うことができて、安全性への意識は、水素

---

<sup>66</sup> NEDOがアンケートで示した新エネルギーは、回答者の認知度が高い順に次のとおり（「その他」で具体的な記載のない回答を除く。）内はアンケート回答者の認知度であり、複数選択可のため、和は100%にならない。太陽光発電（88.7%）、風力発電（86.5%）、天然ガス（76.2%）、クリーンエネルギー自動車（電気自動車・天然ガス自動車）（67.2%）、太陽熱利用（61.2%）、燃料電池（59.7%）、水素エネルギー（57%）、バイオマス発電・熱利用（55.7%）、廃棄物発電・熱利用（46.0%）、FCV（42.3%）、温度差熱利用（13.0%）である。

<sup>67</sup> NEDO HP「水素社会構築技術開発事業／総合調査研究／水素に対する社会受容性向上に向けた調査」  
<https://www.nedo.go.jp/content/100903959.pdf> 最終閲覧 2023.12.7

<sup>68</sup> 同上

<sup>69</sup> 同上

の導入を妨げる程大きいとは言い難い。

これに対して、水素の導入を推進する行政および民間企業の担当者のインタビューを通して得られた現場の意見では、一般的な地域住民が抱く水素への認識は、もう少し厳しいものであった。インタビュー先のおよそ半数は、日本の社会では水素というと爆発するもの危険なものというイメージがあると話し、そのようなエネルギーを地域に導入するために住民の理解を得て用地を確保し、施設を建設することは多くの困難が見込まれると予測していた。

住民のこのような感情が想定される背景の一例として挙げられたのは、2011年の東日本大震災で引き起こされた福島第一原子力発電所の原発事故である。大震災の津波による浸水で、原子力発電所の原子炉建屋は全電源を喪失した。建屋では炉心の温度を圧力容器でコントロールし、炉心を内包する圧力容器を更に格納容器で覆うことで放射性物質の飛散を防いでいたが、停電により炉心の冷却機能が失われたために、炉心の内部の核燃料は温度上昇を続けた。この結果、高温になった核燃料は、水蒸気と反応して水素を作り出すと同時に、次第に圧力容器・格納容器の損傷を進めた。最終的には、原子炉建屋内に水素や放射性物質が漏れだすことになり、水素が蓄積した第一号機・第三号機では水素爆発が起り<sup>70</sup>、原子炉建屋を吹き飛ばして放射性物質が拡散するに至った。この原発事故における水素爆発が、日本社会の中で水素の安全性について否定的な印象を形成している可能性について、水素の活用を推進する現場の担当者は述べていた<sup>71</sup>。

4.1.2.a で、NEDO のアンケート結果を確認することで社会一般の水素の安全性への理解については一見問題がないように見えるが、水素の活用を推進する現場の意見では、我が国は原発事故の経験があるために地域住民に対して水素の安全性の理解を得ることは容易ならざる想定もあることを述べた。4.1.2.b では、水素を活用するための実際の安全基準について確認し、これが地域住民に対して水素の安全性の理解をどのよう助長しているのかを確認したい。

## b 水素の法的な安全基準の設定状況

4.1.2.a で、福島原発における水素爆発について触れた。ここで水素の安全面の性質に関する基本事項を確認すると、水素エネルギー協会によると水素は「水素は漏れやすく、着火しやすい性質」だが、同時に「体積エネルギー密度が小さく、拡散速度が速いという性質」がある。このため、「少量の水素が開放空間に漏洩した場合には、深刻な事故が起こる可能性はほとんどない」一方で、「大量の水素が閉鎖空間に放出される、あるいは高圧で貯蔵するタンクや配管の破断時には周辺への影響がきわめて大きな事故に繋がる」とされている。このことから、同協会は、水素を安全に扱うための原則を、「①水素を漏らさない、②漏れたら早期に検知し、拡大を防ぐ、③水素が漏れても溜めない、④漏れた水素に着火させない<sup>72</sup>」と提示している。

<sup>70</sup> TEPCO HP 「福島第一原子力発電所 1～3 号機の事故の経過の概要」

[https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2\\_1-j.html](https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2_1-j.html) 最終閲覧 2024.1.19

<sup>71</sup> インタビュー内では、福島原発事故で起きた水素爆発の原因について、水素の性質のみならず多方面の議論があることを前提にした上で、当事務が社会一般の水素の見方に与えた影響を例示している。

<sup>72</sup> 高木英行(2019)『水素と安全・社会受容性』(水素エネルギー協会 編(2019)『水素エネルギーの事典』第6章)朝倉書店 p.152

このことを踏まえた上で、4.1.2.b では水素を安全に使うための法的基準の整備状況について確認し、現状の法制度は水素の安全性への理解を得るための訴求力が充分か否かを考察したい。

現在の我が国には、水素の活用に特化した法制度は整備されていない。水素の貯蔵や供給のための規制を設計する際は、水素の性質に正確に基づいた必要最小限の規制を設定しているのではなく、水素を活用する際の水素の状態に応じて既存の高圧ガスや石油の安全基準を準用している。

具体例として、水素の市場化が最も進んでいる FC モビリティと水素 ST に関して安全基準を取り上げる。FC モビリティおよび水素 ST で活用する水素は 70Mpa<sup>73</sup> のガスの状態であるため、両事業において水素は高圧ガスに分類され、水素 ST には高圧ガス保安法が適用される。次に、水素が可燃性であることを鑑みて、労働安全衛生法やその他の法令が適用されており、水素 ST の導入を目指す事業者は表 4 に記載した全ての許認可をとる必要がある。更に、水素 ST を含む水素インフラには業界の自主基準で施設の保安検査や備品の技術基準を設置<sup>74</sup>していることも合わせれば、水素 ST は上述した①から④を満たすような漏洩防止・滞留防止・着火防止・周囲への影響防止の設備を備えている<sup>75</sup>と期待できる。

(表 4) 水素 ST の事業者が必要な許認可

根拠法	国の窓口	地方自治体の窓口
高圧ガス保安法	提出不要 (所管：経済産業省)	都道府県消防関係課
消防法	提出不要 (所管：総務省)	市町村消防関係課
建築基準法	提出不要 (所管：国土交通省)	都道府県土木事務所
労働安全衛生法	厚生労働省	提出不要
石油コンビナート等災害防止法	経済産業省	都道府県、市町村へ写し提出
道路運送車両法・道路交通法・港則法	国土交通省 (土地管理者が国の場合)	都道府県土木事務所 (土地管理者が都道府県の場合)

出典 各法令より筆者作成

しかし、水素の活用に際して法的な安全基準があることと、その基準が住民の理解を得るための訴求力を備えているか否かは別の問題である。現況の水素 ST の法制度は、水素の性質を適切に踏まえた「適正なリスクベースの評価基準」になっていない。例えば、労働安全衛生法の中で可燃性

<sup>73</sup> Pa は、1 m<sup>2</sup>あたりに 1N (約 100g) の圧力がかかることを示す単位である。1Pa=1N/m<sup>2</sup>、1MPa=1,000,000N/m<sup>2</sup>

<sup>74</sup> 技術情報協会 (2022)『水素の製造・輸送・貯蔵技術と材料開発事例集』技術情報協会 p.227

水素供給利用技術協会の助成により、(一財)石油エネルギー技術センターが「水素ステーションに係る自主基準制定維持管理事業」として制定している。水素関係業界のニーズを踏まえつつ、最新の技術的知見等に基づいて基準を検討し、基準委員会等での審議を経て制定、管理している。

<sup>75</sup> 高木英行(2019)『水素と安全・社会受容性』(水素エネルギー協会 編(2019)『水素エネルギーの事典』第 6 章)朝倉書店 p.161

ガスとして同じ規制を受けても、ガソリンの発火点は 300°C<sup>76</sup>だが、水素の発火温度は 500°Cから 571°C<sup>77</sup>である。同法に基づく規制は、水素にとっては過剰な安全基準になる。更に複数の法律が入り組んでいる「分かり難い保安規制」は、「『事業者から消費者に対する円滑なリスクコミュニケーション』の阻害要因となる」と、水素バリューチェーン推進協議会は指摘している<sup>78</sup>。このため、我が国に水素の法的な安全基準はあるものの、地域住民の理解を得るためには必ずしも効果的ではないということが推察される。

以上のとおり、地域社会で水素を活用する際に、水素の安全性について、地域住民の理解を得ることは重要だが、我が国では原発事故があったこと、また、水素の性質に適正に則した法的な安全基準がないことから、地域住民の理解を得ることは必ずしも容易ではないことが想定される。そしてこのことが、水素活用の推進部署においては、事業者の水素事業への参入の阻害要因になり得るという共通認識があることを示した。

## 4.2 水素の活用が実証実験から実用化へ踏み出す条件の整理

4.1 から、水素の実用化が進まない原因は、第一に「水素活用コストが高いこと」であり、第二に、「水素の安全性について正しい理解を得るのが難しいこと」だと確認した。

4.2 をとおして水素の実用化に向けた解決策を模索するために、4.2.1 で、水素活用コストを下げるための条件を確認し、4.2.2 で、水素の安全性の理解を得るための条件を確認する。

### 4.2.1 水素活用コストを下げるための条件の確認

水素活用コストの高止まりは、水素の普及量の停滞と「鶏と卵」の関係だと言える。水素を使うためのコストが高い故に水素の普及は進まず、水素の普及量が少ないからこそ水素を使うための一単位当たりのコストも高いままになる。普及量が少ない商品のコストを減減するための一般的な経済理論は「規模の経済」である。概要は商品の生産・消費量が十分に増えれば、商品にかけた初期投資を回収し運営費も均すことができ商品一単位当たりのコストを低くできるというものである。政府の「水素基本戦略<sup>79</sup>」でも「量産効果」を発揮することが水素活用コストを低減するための前提として戦略が立てられている。

4.1.1 より、水素製品の量産を実現するためには水素の大規模な需要創出とサプライチェーンの構築が不可欠だと考える。水素の需要を開拓するための既存の政策は、4.1.1 で見たように FCV や水素 ST、グリーン水素の製造・利用事業等、特定の製品や事業に対する補助金事業があるが、い

---

<sup>76</sup> 危険物保安技術協会 HP「危険物関係用語の解説」Safety & Tomorrow No.135. 2011, 1, p.63  
<https://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/guide/magazine/glossary/15.pdf> 最終閲覧 2024.1.22

<sup>77</sup> 天尾豊 (2019)『水素の基本物性』(水素エネルギー協会 編 (2019)『水素エネルギーの事典』第4章) 朝倉書店 p. 57

<sup>78</sup> 水素バリューチェーン推進協議会 HP「水素バリューチェーン構築に向けた保安規制・制度の課題と提案」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/safety\\_security/suiso\\_hoan/pdf/002\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/suiso_hoan/pdf/002_05_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>79</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議『水素基本戦略』」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_2.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_2.pdf) 最終閲覧 2023.12.8



ずれのケースも、製品とインフラ間の「鶏と卵」の関係や経済合理性の難点といった、水素活用コストが高いが故に付随する問題によってコスト低減を足止めされる状態が見られる。このため筆者は、水素の需要を喚起し水素の普及を促進するためには、特定の製品や事業に対する部分的な補助事業ではなく、水素活用コストを根本的に下げ得るようなサプライチェーンを横断した取組みが期待されると考えた。具体的には、「水素の大量需要を確保できるビジネスモデルの中で、サプライチェーン内のコスト最適化を達成すること」が必要になると考える。

この考察を深める初めに、ここでいう「コスト最適化」の定義について考える。まず「コスト」については、4.1.1 で定めた「水素活用コスト」の定義と同じく、「水素のサプライチェーンにおける水素の製造費、水素の運搬・貯蔵に要する費用、利用時の水素製品または水素エネルギーの販売価格（消費者にとっての購入費）を一般化した総称」とする。次にこのコストの「最適」な値は、これまでの本論の展開から「サプライチェーンをとおして水素活用コストを極力低く抑えられる額」だと言えるが、内容を更に具体化したい。本稿で定義した「水素活用コスト」の内容はサプライチェーンの各工程における水素の製造費や水素製品の販売価格等であり、それぞれのコストの内訳は原価だけでなくサプライチェーンを維持するための予備費や自社企業の利益を含んでいる。そしてこのコストが次工程のコスト設定に反映される。このことから、「サプライチェーンをとおして水素活用コストを極力低く抑え」るためには、「サプライチェーンの各工程で企業がコストを設定する際に、企業にとっての利益を最低限度に設定することが必要」だと言える。一方で、企業においてもコスト削減は外部の言うに及ばぬ真剣さで自主的に取り組んでいると推測できるため、本稿でやみくもなコスト削減を迫ることは現実性や持続可能性に欠ける。このため、筆者は「最適」なコストとは「企業の利益を維持できる範囲内で最低限度の利益を乗せた額」だと考えた。

この「企業の利益を維持できる範囲内で最低限度の利益」の考え方を提示するために、4.1.1.a および 4.1.1.b で二通りの利益の考え方を紹介し、それぞれが「サプライチェーンをとおして水素活用コストを極力低く抑え」ることに結実し得る利益の設定か否かを分析する。

#### a 水素活用コストの最適化の構想① 利益を水素供給価格の「基準価格」から設定する場合

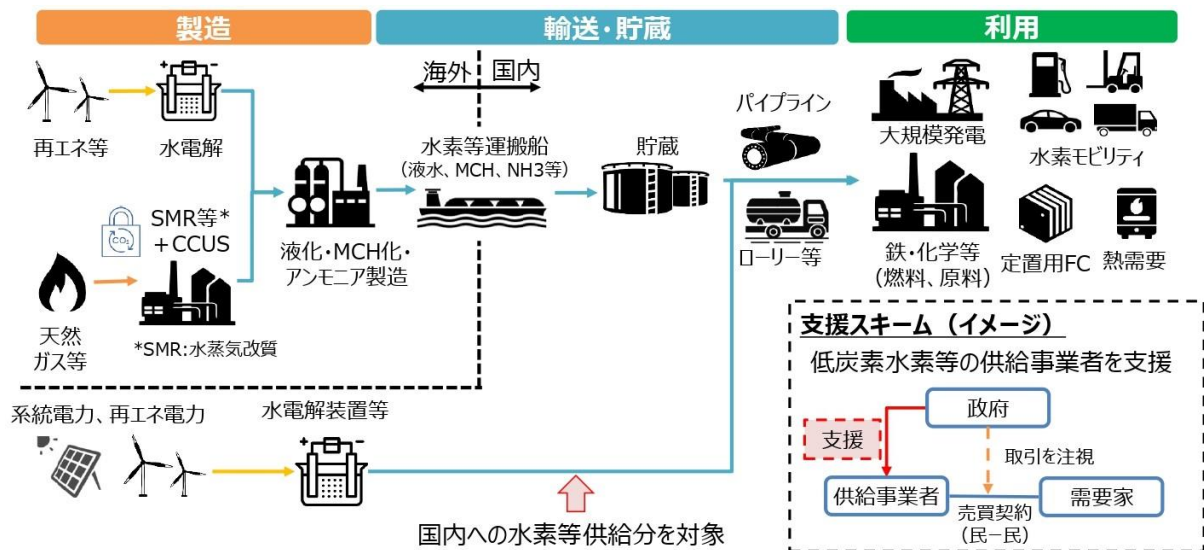
規模の経済を実現して水素活用コストを低減するという目標の下に大規模な需要の創出と効率的なサプライチェーンの構築を試みる政策として、経済産業省が 2024 年度の施行めどを立てている「水素・アンモニアの商用サプライチェーン支援制度」が挙げられる。4.1.1.a では、この制度における利益の内容を確認し、「企業の利益を維持できる範囲内で最低限度の利益」か否かという観点から評価する。

水素・アンモニアの商用サプライチェーン支援制度とは、図 4 のとおり我が国の国際競争力を高め得る事業性を備えた地域を「カーボンニュートラル燃料拠点」として選定し、当該拠点の事業における水素の「基準価格」と「参照価格」の値差の全額または一部を水素供給事業者に支援することで、水素供給事業者の負担軽減と水素の廉価販売を図り、水素の活用の拡大を促すものである<sup>80</sup>。

<sup>80</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「低炭素水素等の供給・利用の促進に向けて」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/011\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/011_03_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.7

(図4) 水素・アンモニアの商用サプライチェーン支援制度



出典 経済産業省資源エネルギー庁 (2023)<sup>81</sup>

ここで、同制度の理解を深めるために基準価格と参照価格の定義を確認したい。まず水素の「基準価格」とは、「事業者が、プロジェクトコストを回収できる水準」として水素供給事業者が提示する価格である。具体的には、「日本着時点における単位量当たりの水素等の製造・供給に関するコストとプロジェクト費用、妥当な利益を回収できる水準」の価格だとしている。この価格は表5「基準価格の内訳」の3つの項目IRR、OPEXおよびCAPEXの和からなる。表5に、各項目の内容および算定方法を記載する。

(表5) 基準価格

基準価格の内訳	図6中の番号、内容	算定方法
IRR (内部利益率)	①一定の利益	事業者算定に基づく。
OPEX (事業運営費)	②水素製造やキャリア変換等、原料価格に基づくOPEX	為替相場の変動を調整するために、原料価格に依存するOPEX×OPEXで算定する。
	③オペレーション、メンテナンス、保険、委託費等	事業者算定に基づく。
CAPEX (設備投資)	④予備費	事業者算定に基づく。
	⑤製造、輸送、キャリア変換、CCS等に必要設備費や、EP費用等	事業者算定に基づく。

出典 経済産業省資源エネルギー庁 (2023)<sup>82</sup>より筆者作成

<sup>81</sup> 80に同じ

<sup>82</sup> 同上



次に水素の「参照価格」とは、「水素等の実販売価格と、代替物（天然ガス等）の市場価格の高い方」の価格である。具体的には次の表6の案 i), ii), iii)のいずれか高い方を選ぶことを提案しつつ審議中である。各案の内容および算定方法は表のとおりである。

(表6) 参照価格

案	図6中の番号、内容	算定方法
i)	⑥代替される既存原燃料の日本着時点における価格	一般的に公表されている参照可能な指標
	⑦環境価値	非公表（事業者間で取り決めか）
ii)	⑧日本着時点における水素等の実販売価格	実績額。※環境価値を含む
iii)	⑨既存の水素・アンモニア市場での用途に用いる場合、その用途の取引実績に基づく価格	実績額。※環境価値を含む

出典 経済産業省資源エネルギー庁 HP (2023)<sup>83</sup>より筆者作成

基準価格および参照価格の定義は上述のとおりであり、水素・アンモニアの商用サプライチェーン支援制度で両価格の値差を水素供給事業者に支援するということは、水素供給事業者が市場から回収を目指す元来のコストを補助金で補填することによって、水素供給事業者が既存の天然ガス等の燃料に近い価格で水素を市場に安定的に販売できる環境を整備するということである。この結果、水素の普及量が次第に増加し規模の経済に結びつくという効果が期待できる。

当サプライチェーン支援制度の値差支援を図5に表し内容を改めて確認すると、値差の元値となる基準価格には水素を活用するために不可欠なコストとは言えない①IRR や④予備費が含まれている。基準価格は、水素供給事業者がプロジェクトコストを回収できる水準の価格であるため、事業者の利益や状況変化への保険を含んでいることは当然とも言える。しかし、この前提で設定された価格は、「企業の利益を維持できる範囲内で最低限度の利益」であることは肯定し難い。サプライチェーン支援制度の対象となる場合、この価格を基準にした値差支援は水素の製造・供給工程における水素活用コストを直接下げるわけではない。また、仮にサプライチェーン支援制度の対象外になった場合は、水素供給事業者は市場からコストを回収すべく①IRR や④予備費の割合を多く残した販売価格で水素を供給せざるを得ないと考えられ、この価格設定はサプライチェーンの次工程に反映されるため、サプライチェーンをとおして水素活用コストを漸増させざるを得ないのではないかと考える。

大規模で効率的なサプライチェーンを構築することにより水素活用コストの削減を早期に実現することを目指す場合には、水素の供給価格だけに目を向けた値差支援によるのではなく、サプライチェーン全体で水素活用コストの圧縮に取り組むことが必要だと考えられる。具体的には、水素を活用するために不可欠なコストとは言えない①IRR や④予備費の削減を目指してはどうかと考

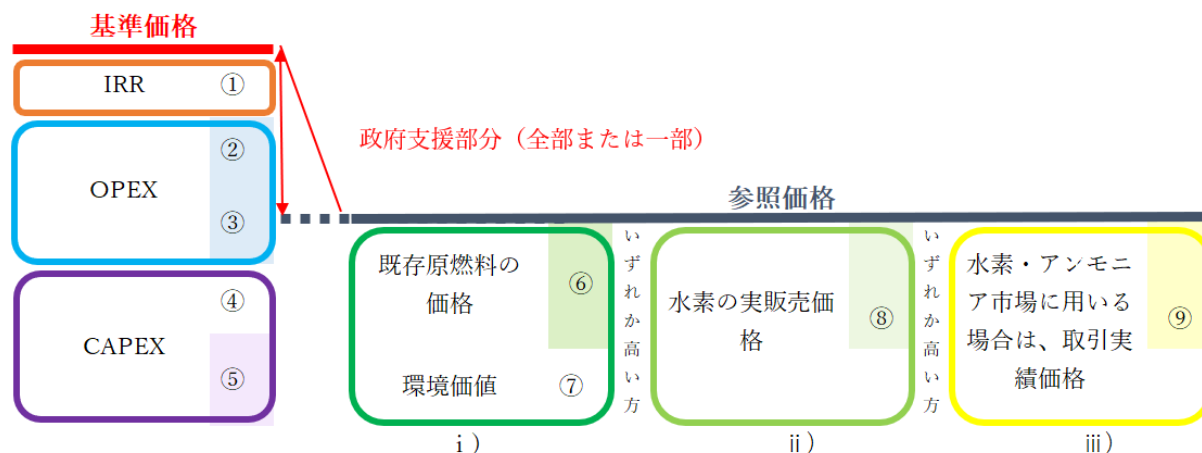
<sup>83</sup> 80に同じ。なお、環境価値とは、実際に発生したコストではないが、「CO2を排出しない」という価値を評価して、脱炭素エネルギーの参照価格に上乘せられていると見込まれる価格のことである。

(参考) 東京都環境局 HP「環境価値」とは

[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/renewable\\_energy/solar\\_energy/value\\_environmental.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/renewable_energy/solar_energy/value_environmental.html) 最終閲覧2023.12.8

案する。しかし、企業側も事業をとおして最低限の利益を確保しなければ、事業を運営するために必要な投資家からの資金調達や株主の支持の獲得を得ることができない。そこで4.2.1.bの考察において、サプライチェーンをとおして水素活用コストを極力低く抑えられるように、企業の利益を維持できる範囲内で最低限度の利益についての考え方を具体的に述べることにしたい。

(図5) 基準価格と参照価格の値差



出典 経済産業省資源エネルギー庁 (2023)<sup>84</sup>より筆者作成

#### b 水素活用コストの最適化の構想② 利益を「資本コストを上回る程度の事業利益率」とする場合

大規模な需要の創出と効率的なサプライチェーンの構築により、規模の経済を実現して水素活用コストを低減するという目標を再認識した場合、このようなサプライチェーンの中で各工程の企業が水素活用コストに内包する事業利益は、「企業の利益を維持できる範囲内で最低限度の利益」で考えてはどうかと思われる。民間企業にとってのこのような利益の基準を考えるに当たり、筆者は企業にとって実施可能な内容であることを要件にして、民間企業が意思決定に用いる経営管理の観点から考えたい。

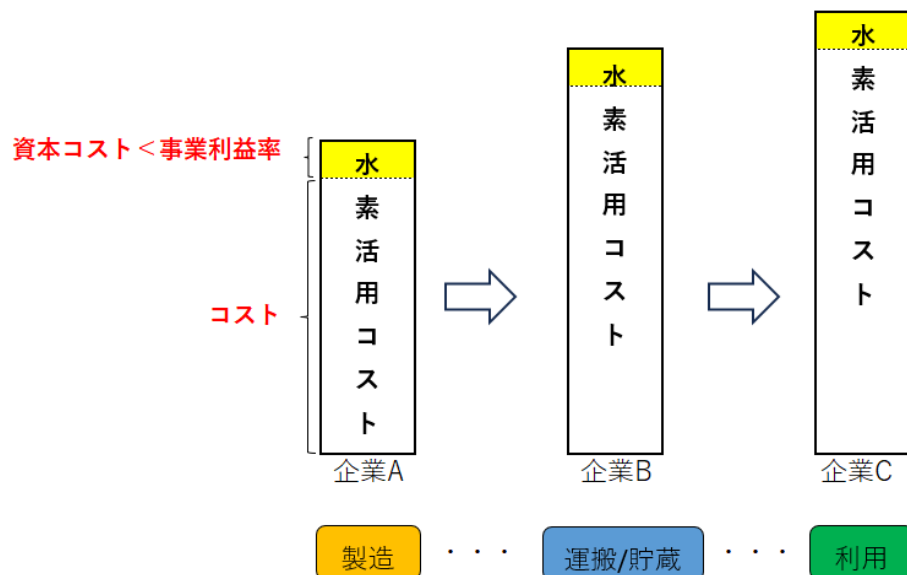
企業を経営するためには、銀行や株主のような投資家から資本を調達する必要がある。投資家が投資をする際の基準は、企業が価値を創造できるか否かであり、その鍵は、一企業の経営において資本利益率が資本コストを上回ることにある。具体的に言うと、ある企業において、経営成果である資本利益率が投資家の期待収益率である資本コストを上回る場合、投資家は当該企業の価値を認めて投資を行うという構造ができる。この下で、企業は投資家からの出融資を確保できる。

この考え方の原則を、水素を活用するという一つの事業について当てはめて考える。事業から得られる利益率が各企業に固有の資本コストを上回る場合、事業を通して価値を創造できることになるため、上述の構図に則して利益率が資本コストを上回ることにより投資家からの出融資を確保することもできると言える。更に、企業の主たるステークホルダーには株主および債権者並びに従業員の他にはサプライヤーや消費者などがいるが、資本利益率は従業員への給与支払い後の数字であるので、資本コストを上回る水準の事業利益率であれば、企業は株主および債権者並びに従業員の利益を確保した事業活動をしていることになる。

<sup>84</sup> 80に同じ

このことから、本稿では、「企業の利益を維持できる範囲内で最低限度の利益」は、「企業が水素の活用を通して得られる事業利益率が、資本コストを多少上回る程度の水準」だと設定する。図6のとおり、サプライチェーンを構成する全企業が元来のコストを極力低く抑えることに加え事業利益率を資本コストより多少高い程度に抑えた水素活用コストに設定することにより、水素の流通量の増大やスケールメリットの達成をより効率的に実現できると考える。

(図6) 水素活用コストにおける事業利益率



出典 筆者作成

以上から筆者は、水素のコストを下げるための条件を、次のように考える。

#### 水素のコストを下げるための条件

水素活用事業のサプライチェーンの全工程（【製造】【運搬/貯蔵】【利用】）で、  
 参入企業が資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営する。

「資本コストを上回る程度の事業利益率」の考え方と「全工程の参入企業がこのようなサプライチェーンの形成するための方法」は、第5章でサプライチェーンのモデルを設定した上で考察する。

#### 4.2.2 水素の社会的受容性を高めるための条件の確認

水素の導入を促進するために、水素の安全性について地域住民の正しい理解を獲得することが重要であることを4.1.2で述べた。4.2.2ではこれに基づき、4.2.2.aで水素の安全性への理解を得るための条件を考える。この考察を通して水素の安全性について住民の理解の獲得を目指す根本には、水素エネルギー事業が地域社会に理解され受け入れられることが必要だという「社会的受容性」（丸山 2022）の構造があることに言及する。これを受けて4.2.2.bで、水素事業が地域で社会的受容性を得るための条件について考えたい。

#### a 水素事業の安全性について地域住民の理解を得るための条件

水素の安全性について地域住民の十分な理解を得るためには、4.1.2 より水素の性質を適切に踏まえた法的な安全基準を設けることが効果的だと言える。法的な安全基準を設置することの有意義さを補足すると、仮に水素事業を通して住民の安全性が脅かされる事態になった場合、法的な責任を負うべき主体が事前に特定できるため地域住民にとって水素事業を受容しやすくなるという効果が見込める。

しかし、法律に基づいた適切な安全基準と責任制度を設けたとしても、住民の理解を完全に得ることは難しい。このことは、原子力発電所の建設計画に対する住民運動の事例で確認することができる。我が国の原子力政策は、1954年に内閣が原子力利用準備調査会を設置したことから始まり、1955年、原子力基本法で原子力の利用推進を掲げ、1957年、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律において公共の安全を図るための基準を制定し、1961年、原子力損害の賠償に関する法律で原子力損害における賠償制度<sup>85</sup>を制定した。法整備がこれほど進んだ状況にも関わらず、1971年5月に東北電力が新潟県旧港町（現・新潟県新潟市西蒲区）の港町角海浜地区に原子力発電所建設計画を発表した際は、原発の建設について地元の十分な理解を得ることができず、原発建設用地の取得プロセスの正統性を巡る住民訴訟や、原発建設の賛否に関する住民投票が続いて事業着手の展望が見えないまま、2003年12月18日に東北電力は原子力発電所の建設計画を白紙撤回することになった。このように、事業について早期段階に住民の理解を得られなかった根本的な要因を、「わが国の原子力分野における住民参加<sup>86</sup>制度の不備に求めることができるように思われる」（宮森 2022）と分析する研究もある。

このように、事業の安全性に対して地域住民の理解を求めるためには、技術的な安全基準や法的な補償制度を制定することが必要だが、事業の意思決定プロセスに住民が自らの意思を表明する機会を設置することが充分条件として考えられる。住民参加については、4.2.2.b の社会的受容性の中で探究することとして、4.2.2.a では、水素の安全性に関して地域住民の理解を得るための条件を、次のように考える。

#### 水素の安全性に関して地域住民の理解を得るための条件

水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する。

#### b 水素活用事業に対する社会的受容性を高めるための条件

4.2.2.a で、水素活用事業を地域社会に導入する際に安全性への理解を正しく得ることが重要だ

<sup>85</sup> (一財)日本原子力文化財団 HP「7章 原子力の利用に関する法令 原子力施設と法律」  
<https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-07-01.html> 最終閲覧 2024.1.23

<sup>86</sup> 引用元の定義に従い「行政や原子力事業者の意思決定プロセスにおいて住民が直接・間接に自らの意思を表明すること」とする。田中良弘（2022）『原子力利用に関する住民参加の現状と課題』（田中 良弘 編著（2022）『原子力政策と住民参加 日本の経験と東アジアからの示唆』第1部第1章） 第一法規 p.6

が、安全性の説明をするだけでは地域住民が事業の実施について十分な理解を示しがたく、これを緩和するために住民が意思決定プロセスに参加することの効果について述べた。

地域住民が、地域に導入される計画のある事業について理解を示し受け入れるという構造を、「社会的受容性」（丸山 2022）という。社会的受容性の構成は、様々な定義があるが、特にエネルギー事業に関して国際エネルギー機関（IEA）の風力発電の社会的受容に関する研究（task28）でも採用されている Wüstenhagen ら（2007）の分類を見ると、社会的受容性は「①社会的・政治的受容、②コミュニティ的受容、③市場的受容」<sup>87</sup>の3つの領域から構成される。地域社会における受容性と関連が強いのは、3つの領域のうち特に②コミュニティ的受容だが、Wüstenhagen らはこの要素として「手続き的正義、分配的正義、信頼」を挙げている。手続き的正義は、「事業に関わる意思決定」において発揮すること、分配的正義は「事業によって利益が適切に分配され」ること、信頼は「地域社会の住民と事業者など地域外の部外者との」関係によって形成されることが尺度となっている（丸山 2022）。

ここで、Wüstenhagen らの分類を、改めて水素活用事業の社会的受容性を高めるための条件と照合する。まず「手続き的正義」は、まさしく本項の冒頭で提示した「（住民が）意思決定プロセスに参加する」という内容と重なる。住民が正しく意思決定をするためには事業に関して正確な情報が公開されていることが前提となるため、4.2.2.a で扱った水素の安全性について適正な基準が法定されていることも、手続き的正義に欠かせない一要素だと言える。

次に「信頼」について、Wüstenhagen らは地域住民と地域外の事業者との関係を指しているが、水素活用事業に関して言えば事業者は地域外の大企業に限らず、地域に在する企業や地域の公共団体も含むことになる。よって、地域住民が信頼を結ぶべき相手を、水素活用事業を主導する事業者として定義したい。

最後に「分配的正義」で重視される住民にとっての利益は、住民の権利意識に基づき多様な想定ができる。この多様性を尊重した上で住民の利益保護を具現化し受容性を高める方法として、丸山・西城戸（2022）は、事業に「多様な文脈」（価値）を持たせることを提唱している。水素活用事業に住民を内包し、住民が事業を通してそれぞれの価値感を実現する機会を共有することで、事業者と住民の対立関係を解消することを示唆している。水素活用事業の一義的な価値は3.4で述べたとおり、第一には産業の脱炭素を推進し持続可能な社会を形成することである。第二には水素市場を開拓することにより、経済的な利益を得ることである。この「経済的な利益」について水素の固有の特徴を更に分析すると、水素はエネルギー転換という社会的な変革に際しても既存の産業構造を温存できるという利点がある。これは、地域の目線からすると「地域のこれまでの産業を守ることができるという価値」に繋げることができる。筆者はこの点に着目し、水素活用事業における「分配的正義」の利益を、地元の中小企業が水素のサプライチェーンに参入することで地域経済を発展させる価値と設定したい。

以上から、4.2.2.a および 4.2.2.b を合わせた水素活用事業に対する社会的受容性を高めるための条件を、次のように導いた。

---

<sup>87</sup> Wüstenhagen, Rolf, Maarten Wolsink and Mary Jean Bürer [2007], “Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept,” *Energy Policy*, 35: 2684-2686



水素活用事業に対する社会的受容性を高めるための条件

- ・ 事業の意思決定プロセスに住民が参加する機会がある。（手続き的正義①）
- ・ 水素活用事業の安全性が住民に充分理解されるように、水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する。（手続き的正義②）
- ・ 地元の中小企業が水素のサプライチェーンに参入し地域経済を発展させる機会がある。  
（分配的正義）
- ・ 地域社会の住民と、事業者など地域外の部外者との信頼関係を形成できる。（信頼）

4.2 で考察した水素が実証実験から実用化へ踏み出す条件を、次の表 7 にまとめる。

（表 7）水素が実証実験から実用化へ踏み出す条件

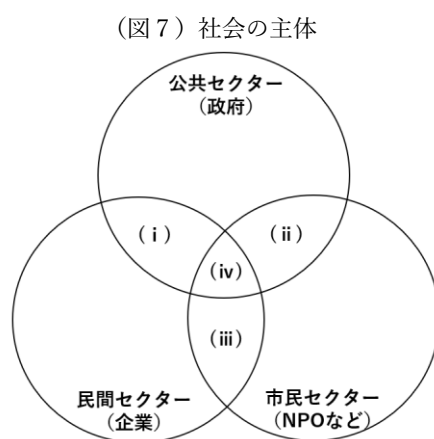
<p>条件①（§ 4.2.1）</p> <p>水素活用事業のサプライチェーンの全工程で、参入企業が資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営する。</p>
<p>● 効果（§ 4.1.1）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ サプライチェーン全体で水素活用コストを下げることに繋がり、水素の普及促進とスケールメリットの達成が期待できる。</li></ul> <p>● 検討課題（§ 5.2 および § 5.3）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 全工程の参入企業がこのようなサプライチェーンを形成するための方法は何か。</li></ul>
<p>条件②（§ 4.2.2. a および § 4.2.2. b）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 事業の意思決定プロセスに住民が参加する機会がある。（手続き的正義①）</li><li>・ 水素活用事業の安全性が住民に充分理解されるように、水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する。（手続き的正義②）</li><li>・ 地元の中小企業が水素のサプライチェーンに参入し地域経済を発展させる機会がある。 （分配的正義）</li><li>・ 地域社会の住民と、事業者など地域外の部外者との信頼関係を形成できる。（信頼）</li></ul> <p>● 効果</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 水素の社会的受容性を高めることが期待できる。（§ 4.1.2）</li></ul> <p>● 検討課題（§ 5.4）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 手続き的正義、分配的正義および信頼は、誰がどのように具体化するのか。</li></ul>

出典 筆者作成

### 4.3 水素活用事業の推進役の確認

4.2.1 および 4.2.2 で、水素を実用化するための条件①および②を挙げた。2つの条件は水素活用事業の進展を支えると同時に、条件自体が事業を通して具現化される。条件の具現化つまり水素活用事業の実施については、複数のステークホルダー間の連携および利害調整が不可欠だという特徴がある。それ故に、水素活用事業の推進方法について考察するためには実用化の条件を挙げるに留まらず、水素活用事業のステークホルダーを正確に把握することおよび事業の推進役を明確にすることが求められると言える。ステークホルダーは第5章でモデル事業を設定した後に確認するものとして、4.3 では水素活用事業の推進役を明確にしたい。

水素活用事業の推進役について、社会の主体を公共セクター（政府）、民間セクター（企業）、市民セクター（NPO など）の3分類に基づき検討する。図7のとおり、それぞれのセクターに固有の役割および共有する役割（(i)から(iv)<sup>88</sup>）があるため、以下の4.3.a から4.3.c を通して水素の活用事業の目的や、条件①および②の実行主体に求められる性質を客観的に挙げることにより、いずれのセクターが事業の推進役として適切であるかを絞り込むこととする。



出典（西尾 2016）を元に筆者作成

#### a 水素の実用化を推進する目的の観点

まず、水素の実用化を推進する目的と各セクターの適性を確認する。第一の目的は 3.1 で記載したとおり脱炭素化の実現である。国際的な脱炭素化の潮流を受けて、2021 年に我が国政府は水素の導入を脱炭素化の実現手段として明確に位置づけた。第二の目的は 3.4 で記載したとおり、水素産業の育成である。水素の実用化を進めることで、水素製品の国際標準を日本企業にとって有利になるよう策定することができれば、水素が普及するにつれて我が国の水素産業の成長に繋げることができる。

このように、水素を実用化する目的は、脱炭素化の実現という公共目的と、社会の幅広い企業に

<sup>88</sup>（西尾 2016）は、固有の役割の例として、公共セクターは公権力の行使、民間セクターは純粋な営利活動、民間セクターは趣味のサークル活動を挙げ、重なり合う役割として、それぞれ次の例を挙げている。(i)公企業、(ii)子育て支援や自殺対策のNPO、(iii)企業による市民活動支援(iv)企業が中心となって設立した地雷除去支援のNPO。

経済成長の機会をもたらすという産業振興目的がある。これらの事業目的に一義的に合うのは、公共セクターと民間セクターである。ただし、社会のニーズが多様化する中で、市民セクターも行政では十分に手が届かない公共目的のサービスの実施まで活動範囲を広げているため、市民セクターが主体となる可能性も排除できない。

## b 条件①および②の実行能力の観点

次に、各セクターの条件の実行能力について検討する。表7の条件①および②を実行する前提として、水素活用事業のサプライチェーンや地域における多様なステークホルダー間の連携および利害調整をなすことが求められる。各ステークホルダーへ説得力のある呼びかけを行うためには、水素活用事業の形成および推進の為に大きなウェイトを占める役割を有していることが期待されるが、これを満たし得るのは水素の導入を政策として地域で実施計画を立てられる公共セクター、または、水素の導入を自らの事業として実施することのできる民間セクターである。市民セクターは政策または資本の投入を本来業務としないため、実行能力において市民セクターの固有の役割は適性が低いと言わざるを得ない。

続いて、具体的に公共セクターまたは民間セクターを対象に、条件①および②を実行する能力があるか否かを考える。具体的に、条件①および②の実行の為に求められる能力を、表8のとおり整理した。条件①では、サプライチェーンを構成する全企業にコスト削減を求めることから、推進役はサプライチェーン内で偏りなくリーダーシップを発揮し組織間の連携を促す能力（能力①）や、削減する利益率が適切な程度か否かを分析し、企業に適宜助言する能力（能力②）が求められると考える（なお、「適切な利益率」の定義は、5.2.1 および 5.2.2 で検討する）。能力①について、公共セクターは、中立性については公務の性質上問題がなく（○）、リーダーシップについては水素活用事業を政策として立案した場合は安定的な牽引力を持つと考えられるが、民間企業の協力なくしては事業を展開できないことを考慮に入れた（△）。民間セクターは、中立性が一般的に確保されるとは言い難い（△）が、事業の展開に必要な資金や技術を自ら有しているため事業を企画した場合のリーダーシップは強力だと考える（○）。能力②について、これを実施するためには、企業の経営や事業会計に関する詳しい情報と分析能力が必要になる。公共セクターは、これらの情報を入手する権限がなく（×）、また適切な分析を行い得る職種もない（×）。民間セクターは、自社企業については正確な情報を元に、経営状況および事業からの利益率を分析することができる（○）、他社企業については情報を入手する権限がない（×）。

条件②の社会的受容性は、多様な価値観を持つ住民との合意形成を前提にしている。このため、地域住民と利害調整を行う当事者たりうるか否か（能力①）を先に挙げ、続いて合意形成のトピックについて安全基準を設計し法制化する能力（能力②）、中小企業がサプライチェーンに参入できるよう技術需給のマッチングを行う能力（能力③）、信頼を得るために環境配慮や公正さを行動規範にできるか否か（能力④）を挙げた。能力①について、公共セクターおよび民間セクターともに、自らが事業者または仲介者となり得る（○）と評価している。能力②について、政府が安全基準を策定するときは、民間企業へのヒアリングを重ねて適切な水準を見定めるものとなっている。このため、安全基準の設計能力については民間セクターが強く（○）、公共セクターはやや従属的（△）

だと考えた。一方で、基準の法制化については、公共セクターである国の管轄業務であり（○）、地方公共団体は必要があれば法律の範囲内で規則化することもできる（△）。事業者は職務外である（×）。能力③について、サプライチェーンで需要のある技術と中小企業で供給できる技術を正確に把握することは、民間セクターにとっては然るべきであり（○）、公共セクターは産業振興政策の一環として行うことができても民間企業と同程度の理解を得るのは難しい（△）と考える。技術のマッチング能力については、公共セクターが幅広い企業に参入機会を与える役目に適しており（○）、民間セクターは大企業はマッチングの成立にそれ程労力を割かない（△）と考える。

能力④について、それぞれの本来業務を考えるに公共セクターは（○）、民間企業も多大な社会貢献はあるが経済原理が優先されることは否定できない（△）であろう。

（表 8）水素の実用化を推進するための条件と推進役として要する能力

<p>条件①（§4.2.1）</p> <p>水素活用事業のサプライチェーンの全工程で、参入企業が資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営する。</p>		
<p>● 推進役として要する能力</p>		
	公共セクターの適性	民間セクターの適性
<p>① サプライチェーン内で中立的なリーダーシップを発揮し、組織間の連携を促すことができる。</p>	<p>△</p> <p>・中立的立場：○</p> <p>・リーダーシップ：△</p>	<p>△</p> <p>・中立的立場：△</p> <p>・リーダーシップ：○</p>
<p>② 削減する利益率が適切な程度か否かを分析し、企業に適宜助言できる。</p>	<p>×</p> <p>・情報収集能力：×</p> <p>・分析能力：×</p>	<p>△</p> <p>・自社企業について：○</p> <p>・他社企業について：×</p>
<p>条件②（§4.2.2.a および §4.2.2.b）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業の意思決定プロセスに住民が参加する機会がある。（手続き的正義①）</li> <li>・ 水素活用事業の安全性が住民に充分理解されるように、水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する。（手続き的正義②）</li> <li>・ 地元の中小企業が水素のサプライチェーンに参入し地域経済を発展させる機会がある。（分配的正義）</li> <li>・ 地域社会の住民と、事業者など地域外の部外者との信頼関係を形成できる。（信頼）</li> </ul>		

● 推進役として要する能力

	公共セクターの適性	民間セクターの適性
① 地域住民と利害調整を行う当事者たりうる。	○ ・事業者自身/民間事業者と地域住民の仲介者	○ ・事業者自身
② 水素の安全基準を過不足なく設計し法制化する能力を有している。	○ ・安全基準の設計：△ ・法制化：国○、地方△	× ・安全基準の設計：○ ・法制化：×
③ サプライチェーンで需要のある技術と中小企業が供給できる技術を把握し、両者のマッチングを行う能力を有している。	△ ・技術の把握：△ ・マッチング：○	△ ・技術の把握：○ ・マッチング：△
④ 経済原理だけでなく環境配慮や公正さを行動規範にできる。	○ ・本来の職分	△ ・経済原理を優先

出典 筆者作成

この実行能力までを考慮に入れたとしても、公共セクターと民間セクターのいずれが水素を導入するための中心的実行主体として適しているかは断じ難い。条件①の能力①や条件②の能力②および③のように、公共セクターと民間セクターの能力を合わせることで条件を達成できる項目があることは看過できないからである。両セクターが協力することの意義について、（鈴木・城山・松本 2007）は、水素技術のように「公益目的に適う」が「通常の市場原理では導入が困難」な技術は、「導入段階における意思決定で政府や地方自治体の関与が必要」になると示している。

よって、ここまでの見当からは、水素活用事業の推進役として公共セクターと民間セクター両者の協力体制を想定することができる。

c 社会的責任の観点

4.3.a および 4.3.b を通して考える中で、水素の実用化の達成の可否は、多くの企業に影響を与えるため、水素活用事業の推進役にも、相応の責任能力が必要になることが想定できる。

水素活用事業について、責任の所在を考えるために脱炭素化推進政策の根拠法である地球温暖化対策の推進に関する法律（以下、「地球温暖化対策推進法」とする。）を確認すると、国・地方公共団体・事業者および国民の責務について、次の表9のように定めている。

水素活用事業はサプライチェーンが在する一定範囲の中で実施されることになるが、第4条第2項では、一定の区域内で温室効果ガスの排出量の削減等のための施策を推進することは地方公共団体の責務としており、第5条で、事業者はその施策に協力しなければならないとしている。このことに基づくと、水素を地域で実用化するにあたり事業を推進する責任ある立場として地方公共団体の役割を確認することができる。



以上 4.3.a から 4.3.c を通して、水素を実用化する目的と、実用化のための条件の実行能力および社会的責任の面から水素の実用化を推進する主体を整理すると、ここに地方公共団体の中心的な役割を認めることができる。ただし、4.3.b で確認したように民間セクターの力がなければ水素の実用化は実現できず、現実的に脱炭素化のための技術力や企業活動、資産を担っているのは民間企業である。このため、水素の実用化を推進する中心的主体は、地方公共団体と民間セクターとの協力体制とすることが現実的だと言える。

(表9) 地球温暖化対策推進法に基づく主体と責務の概要 (事業の実施について抜粋)

主体	責務の概要
国 (第3条)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・総合的かつ計画的な地球温暖化対策を策定し、及び実施するものとする。(第1項)</li> <li>・温室効果ガスの排出の量の削減等のための地方公共団体の施策を支援し、及び事業者、国民又はこれらの者の組織する民間の団体(…略…)が温室効果ガスの排出の量の削減等に関して行う活動の促進を図るため、そのための施策及び活動に関する普及啓発を行うとともに、必要な資金の確保、技術的な助言その他の措置を講ずるように努めるものとする。(第3項)</li> </ul>
地方公共団体 (第4条)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・その区域の自然的社会的条件に応じた温室効果ガスの排出の量の削減等のための施策を推進する。(第1項)</li> <li>・その区域の事業者又は住民が温室効果ガスの排出の量の削減等に関して行う活動の促進を図るため、前項に規定する施策に関する情報の提供その他の措置を講ずるように努めるものとする。(第2項)</li> </ul>
事業者 (第5条)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・その事業活動に関し、温室効果ガスの排出の量の削減等のための措置を講ずるように努める。</li> <li>・国及び地方公共団体が実施する温室効果ガスの排出の量の削減等のための施策に協力しなければならない。</li> </ul>
国民 (第6条)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常生活で温室効果ガスの排出の量の削減等のための措置を講ずるように努める。</li> <li>・国及び地方公共団体が実施する温室効果ガスの排出の量の削減等のための施策に協力しなければならない。</li> </ul>

出典 筆者作成

#### d 地域における脱炭素化政策の概観

4.3.a から 4.3.c を通して水素の導入を推進する主体に求められる性質を挙げることで、地方公共団体にこれを推進する責任を認めつつ、地方公共団体と民間企業の協力体制が推進のための中心的主体として高い適性があることを示した。4.3 の最後に、地域における水素の導入事業の展望を持つために地方公共団体による脱炭素化政策の概観を述べる。

4.3.c の地球温暖化対策推進法で見たように、我が国の脱炭素化を目指す代表的なエネルギー政

策は、中央政府の政策に基づくものである。同法は 2021 年の改正で、都道府県および市町村に対して、地域の自然的社会的条件に応じて地域脱炭素化促進事業を推進できる権限を認めている（同法第 19 条および 21 条）。事業内容として主に想定されていることは、地域への更なる再エネ導入を通して、地域経済の活性化や防災など社会面の課題解決にも貢献することであり、地域における合意形成に配慮がされている（澁谷 2021）。

地球温暖化対策推進法の地方における施策は、中央政府に方向づけられているように見えるが、脱炭素化政策全体を見渡すと、地方は中央政府の方針を実行してばかりきたわけではない。1990 年代以降の地方分権改革の進展により、従来は国策とされたエネルギー政策も、「決定主体としての役割を地方政府に意識させる作用を伴った。…（略）…近年では、地域独自の『新エネ・省エネ条例』や『温暖化防止条例』を策定」する例も見られる（鈴木・城山・松本 2007）。

ここで、地方公共団体<sup>89</sup>は、広域的自治体の都道府県と基礎的自治体の市町村に大別することができる。広域的自治体が独自の脱炭素化政策を行った顕著な例として、東京都が 2010 年度から施行したキャップ&トレード制度<sup>90</sup>を挙げたい。東京都が、都内の大規模事業所を対象に二酸化炭素の総量削減義務を課すものであり、対象事業所は、省エネ対策等によって二酸化炭素の排出量を削減することまたは二酸化炭素の排出量取引制度を活用して他の事業所の削減量を取得することによって、5 年間の計画期間中に削減義務を履行することができる。東京都は義務違反を行った事業所に対しては、更なる削減の履行命令や罰金等の厳格な措置をもって対処することで、制度の実行性を担保している（大野 2013）。なお、第一期（2010 年から 2014 年）、第二期（2015 年から 2019 年）ともに全ての対象事業所が、二酸化炭素排出量の削減目標を達成<sup>91</sup>し、現在第三期計画を実行中である。

基礎的自治体である市町村は、規模別に指定都市（人口 50 万人以上で政令で指定されたもの）、中核都市（人口 20 万人以上で政令で指定されたもの）、その他市（人口 5 万人以上）、町村（人口 5 万人未満）に区分される。この区分に応じて各公共団体の権限にも違いがあり、例えば指定都市は大都市行政の合理的能率的運営を図るために、都道府県知事の命令を経由せずに直接各大臣の命令を受けることができる場合もある（地方自治法施行令第 174 条の 28 第 6 項、174 条の 39 第 4 項等）。このため、一般的に指定都市は財政的な余裕と政策の機動力を備えているとされ、エネルギー政策においても、福岡県の北九州市は風力発電関連産業の集積港をつくることを目指して港の開港事業を推進<sup>92</sup>し、兵庫県の神戸市は世界初の液化水素の運搬実証実験を民間企業と共同で行う<sup>93</sup>など、先進的な事例を見ることができる。

しかし、地方公共団体の規模と、その地域の脱炭素化政策の規模は直結するものではない。例えば福島県浪江町は、2011 年 3 月の東日本大震災が引き起こした原発事故で町内全域に避難指示が

---

<sup>89</sup> 本稿の地方公共団体は普通地方公共団体を指す。

<sup>90</sup> 東京都 HP「キャップ&トレード制度 CO2 削減義務達成」  
<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2022/03/03/14.html> 最終閲覧 2024.1.24

<sup>91</sup> 同上

<sup>92</sup> 北九州市 HP「グリーンエネルギーポートひびき事業」<https://www.city.kitakyushu.lg.jp/kou-ku/30300033.html> 最終閲覧 2024.1.24

<sup>93</sup> 神戸新聞 HP「世界初の『液化水素運搬船』実証成功、神戸で記念式典『カーボンニュートラル社会へ大きな一歩』」  
<https://www.kobe-np.co.jp/news/sougou/202204/0015206954.shtml> 最終閲覧 2023.12.8

出された。震災前は約 21,000 人だった居住人口が 2024 年 1 月現在は約 2,100 人<sup>94</sup>であり、町面積の約 8 割が帰還困難区域として避難指示を継続する<sup>95</sup>難題を抱えているが、水素の導入は先進的に実施している。NEDO 事業を活用した世界最大級の水素製造能力を有する福島水素エネルギー研究フィールド（通称：FH2R）の開所<sup>96</sup>や、民間企業との提携による柱上パイプを通じた水素配送、道の駅における水素の電気・熱利用等の実証実験<sup>97</sup>を続々と実現している。

筆者が 2023 年 6 月 15 日に同町産業振興課および住民課のインタビューを行った際、産業振興課の K 氏は、「浪江町で水素の導入が進んでいるのは、町として本気で水素社会の実現を目指し、実現するためのビジョンを具体的に打ち出しているからだ。そういう姿勢でいると民間企業も水素の実証実験の提案を積極的にしてくれるが、町としては実験だけで終わらないように、町の暮らしに適し得る水素活用ビジョンを企業に正確に伝えることで、町と企業の双方にとって持続的な水素活用の機会になるようにしている」と力強く語った。同氏は、福島県内におけるクリーンエネルギー活用事業への国庫補助政策<sup>98</sup>等も、県内での民間企業によるクリーンエネルギー実証実験を活発にする素地であろうと認めた上で、改めて浪江町が水素の導入を進めているのは、水素社会を実現するという町政の決意の堅さが核心だと強調した。

上述のように、地域における脱炭素化政策は、地方公共団体による規制もあれば逆に民間企業との協力による地域振興を兼ねた事業や、最新技術を社会実装するためのまちづくり事業等、様々な実行方法があると言える。また、この実現のためには地方公共団体の規模が必ずしも制限にならないことを示している。

本章では、水素を実用化するための二つの条件を明らかにした。一つ目は「水素活用事業のサプライチェーンの全工程で、参入企業が資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営する」である。二つ目は「・事業の意思決定プロセスに住民が参加する機会がある。（手続き的正義①）・水素活用事業の安全性が住民に充分理解されるように、水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する。（手続き的正義②）・地元の中企業が水素のサプライチェーンに参入し地域経済を発展させる機会がある。（分配的正義）・地域社会の住民と、事業者など地域外の部外者との信頼関係を形成できる。（信頼）」である。これらの条件は水素活用事業の中で具現化されるが、二つの条件は共に組織間の連携および利害調整が不可欠という特徴があることから、水素活用事業を実施する体制についても整理を行いたいと考えた。そこで、事業を実行する能力や社会的責任の観点から、水素活用事業の推進役として地方公共団体と民間企業の協力体制が適していることを示した。

次章では、サプライチェーンのモデルを設定し水素活用事業の実現方法を更に具体的に考察する。

---

<sup>94</sup> 浪江町 HP「浪江町」<https://www.town.namie.fukushima.jp/> 最終閲覧 2024.3.8 および浪江町 HP「すぐわかる浪江町」<https://www.town.namie.fukushima.jp/site/understand-namie/namie-factsheet.html> 最終閲覧 2024.3.8

<sup>95</sup> 浪江町 HP「浪江町における水素利活用の取り組み」  
<https://www.town.namie.fukushima.jp/uploaded/attachment/14598.pdf> 最終閲覧 2024.3.8

<sup>96</sup> 浪江町 HP「“世界最大級”の水素製造拠点が浪江町に誕生」  
<https://www.town.namie.fukushima.jp/site/understand-namie/24199.html> 最終閲覧 2024.1.24

<sup>97</sup> 95 に同じ

<sup>98</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「令和 3 年度福島新エネ社会構想関係予算について」  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/fukushima\\_vision/budget/budget\\_2021.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/fukushima_vision/budget/budget_2021.html) 最終閲覧 2024.1.24

## 第5章 考察

4.1 で、水素の実用化を妨げる原因として、第一に水素のコストが高いこと、第二に水素の安全性への理解が充分でないことを挙げた。4.2 では、この原因を克服し水素の実用化を進めるための条件をそれぞれ提案した。一つ目は「水素活用事業のサプライチェーンの全工程で、参入企業が資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営する」である。二つ目は「・事業の意思決定プロセスに住民が参加する機会がある。（手続き的正義①）・水素活用事業の安全性が住民に充分理解されるように、水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する。（手続き的正義②）・地元の中小企業が水素のサプライチェーンに参入し地域経済を発展させる機会がある。（分配的正義）・地域社会の住民と、事業者など地域外の部外者との信頼関係を形成できる。（信頼）」である。4.3 では、これらの条件を含む水素エネルギー活用事業を推進する主体として、地方公共団体と民間企業の協力体制の適性が高いことを述べている。

本章では、水素の実用化についてより具体的に考えるために、実際に水素のサプライチェーンのモデルを設定し、その中で二つの条件を具現化する方法について考察する。

### 5.1 水素活用事業のモデル設定：火力発電所における水素混焼事業

水素の導入を推進するためのサプライチェーンの適切なモデルとして、本稿では火力発電所における水素の混焼事業を設定したい。火力発電所では、燃料を燃やして得られる熱エネルギー（蒸気またはガス）によってタービンを回し、タービンに繋いだ発電機を動かすことで発電を行っている（図 8-1）。

火力発電所の燃料には、主に石油燃料（重油や LNG）を用いているが、ここに水素を混焼させることで、CO<sub>2</sub> の排出量を削減することを目指すものである。5.1.1 では、火力発電所における水素の混焼事業をモデルに設定した理由を述べ、5.1.2 では当モデルのステークホルダー企業を整理する。

#### 5.1.1 モデル選定の理由

##### a 社会全体における CO<sub>2</sub> の削減を効果的に達成できる

発電事業は多量の CO<sub>2</sub> を排出しており、この低炭素化を実現することは我が国全体の CO<sub>2</sub> 排出量を削減するために有効だと見込めるからである。我が国の CO<sub>2</sub> 排出量を産業部門別に測ると、発電事業者を含むエネルギー転換部門<sup>99</sup>は最大割合の 40.4%<sup>100</sup>を占める。我が国の発電量は、旧一般

---

<sup>99</sup> エネルギー転換部門「輸入ないし生産されたエネルギー源をより使いやすい形態に転換する工程であり、発電、石油精製、コークス類製造、都市ガスの自家消費などに分類される」。

（参考）環境省 HP「エネルギー転換部門における現在までの排出量及び関連データについて」

[https://www.env.go.jp/council/06earth/y060-16/mat\\_04\\_2.pdf](https://www.env.go.jp/council/06earth/y060-16/mat_04_2.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

<sup>100</sup> 環境省 HP「2020 年度温室効果ガス排出量（確報値）概要」p.4

<https://www.env.go.jp/content/900445424.pdf> 最終閲覧 2023.12.8



電気事業者および JERA<sup>101</sup>による発電量が 68%<sup>102</sup>を占めるため、旧一般電気事業者の脱炭素化が進めば我が国全体の脱炭素化にも多大な貢献ができると言える。なお、旧一般電気事業者のうち特に発電量の一位と二位を占める JERA および関西電力(株) (以下「関電」とする。) について脱炭素に関する事業計画<sup>103</sup>を調べたところ、「洋上風力発電を中心に再生可能エネルギーの導入を進めること」および「火力発電所におけるアンモニアや水素の混焼」、「原子力発電所の再稼働(関電のみ)」を基軸に、2030 年から 2035 年の間に、発電過程での CO2 排出量を 50~60%以上減少させることを目標としている。このため、本稿で火力発電所における水素エネルギーの混焼事業をとり上げることは、実際の電気事業者の動向と大きな乖離はないことを付言する。

## b 既存の産業構造に対して追加コストの負担が小さい

火力発電所での水素混焼事業は、既存の産業構造を温存したまま脱炭素化と水素エネルギーの活用が可能のため、企業に与える追加コストの負担が小さいと期待できる。火力発電所は、水素と既存化石燃料の混焼率が 20%までならば、既存の施設を使い続けることができる<sup>104</sup>。水素を 30%以上混焼する場合は、火力発電所のガスタービンの中の燃焼器および燃料供給システムを付け替えるだけで対応ができる<sup>105</sup> (図 8-2)。よって、火力発電所で水素の混焼を採用することは、2050 年カーボンニュートラルに向けた社会の変革期にあっても、発電事業者にとっての追加コストは、施設のハード面だけでなく発電事業のノウハウや人材育成のソフト面においても部分的な影響で済むと考えられる。また、火力発電所のサプライチェーン全体にとっても、既存の産業構造の大枠を維持することができるため負担が少ないと見込める。

具体的な追加コストの把握を試みたが、水素混焼用タービンの販売価格が公開されていないため火力発電所の建設費を参考にして推測する。火力発電東京都環境局の試算によると、100 万 kw の発電規模の火力発電所の建設費総額は 1,000 億円であり、そのうち主機(ガスタービン、蒸気タービン、発電機、排熱回収ボイラ)の建設のために 700 億円<sup>106</sup>を要する。ガスタービンはこの 700 億円の一部であるとは言え、FCV や水素 ST のように水素製品が既存の同格製品の価格の 2 倍から 4 倍高価であることを考えれば、水素混焼用タービンの価格は数十億円から数百億

<sup>101</sup> 旧一般電気事業者は、電気事業法(昭和 39 年法律第 170 号)の参入規制により、自社の供給区域における電気の小売供給の独占が認められていた電力会社 10 社。北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力(株)、中部電力(株)、北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、沖縄電力(株)を指す。JERA は東電と中電の火力発電部門を統合して新たに設立された会社。

<sup>102</sup> 新電力ネット HP「全国の発電実績のランキング」より資料をダウンロードし、2023 年 2 月の実績値から筆者計算。  
<https://pps-net.org/ppscompany?ppskey=pps202> 最終閲覧 2023.8.8

<sup>103</sup> JERA HP「ゼロエミッション 2050」<https://www.jera.co.jp/corporate/about/zeroemission> 最終閲覧 2023.8.8  
および関西電力(株)HP「ゼロカーボンロードマップ」

[https://www.kepcoco.jp/sustainability/environment/zerocarbon/pdf/zerocarbon\\_roadmap\\_01.pdf](https://www.kepcoco.jp/sustainability/environment/zerocarbon/pdf/zerocarbon_roadmap_01.pdf) 最終閲覧 2023.8.8

<sup>104</sup> 三菱重工(株)HP「水素ガスタービン 30%混焼技術が完成 CO2 フリーへの道のり」

[https://power.mhi.com/jp/special/hydrogen/article\\_1](https://power.mhi.com/jp/special/hydrogen/article_1) 最終閲覧 2024.1.24

<sup>105</sup> 三菱重工(株)HP「水素ガスタービンへの取り組み状況」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/029\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/029_05_00.pdf) 最終閲覧 2024.1.25

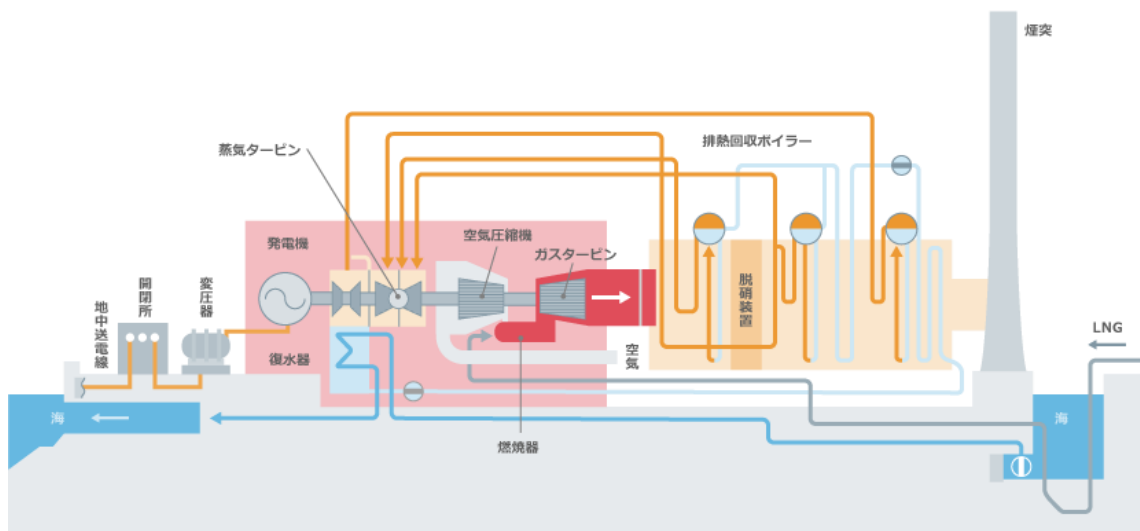
<sup>106</sup> 東京都環境局 HP「第 5 章 発電所の建設費(100 万 kW)」

[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi\\_energy\\_suishin/index.files/5\\_hatudennsyo\\_kensetuhi.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi_energy_suishin/index.files/5_hatudennsyo_kensetuhi.pdf) 最終閲覧 2024.1.25



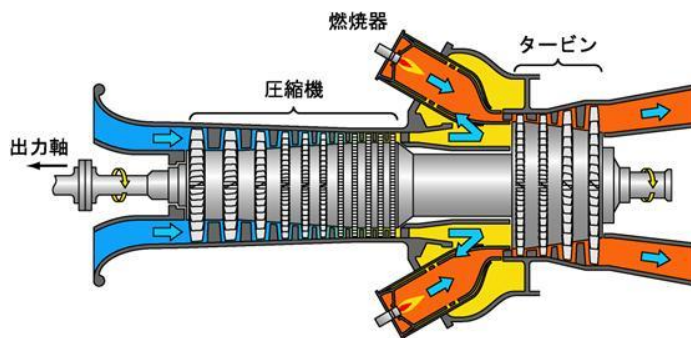
円を要すると想定できる。水素混焼用タービンを導入することの追加コストは、一見火力発電所を新設するに等しい負担に見えるが、機械には耐用年数があり、特にタービンは高温の中で稼働するため、定期的な部品交換が必要<sup>107</sup>となる。この修繕費は元々施設の OPEX で想定されているものであるため、既存タービンを修繕する代わりに水素混焼用タービンを購入またはタービンの燃焼器および燃料供給システムだけを付け替えると考えれば、水素混焼事業を導入するための初期コストは当初からの主張通り、限定的な追加で済むと考えることができる。

(図 8-1) 火力発電所のしくみ



出典 JERA<sup>108</sup>

(図 8-2) ガスタービンのしくみ



出典 (公社)日本ガスタービン学会<sup>109</sup>

<sup>107</sup> 東京都環境局 HP 「第 6 章 発電所の維持管理費 (100 万 kW)」  
[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi\\_energy\\_suishin/index.files/6\\_hatudennsyo\\_izih.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi_energy_suishin/index.files/6_hatudennsyo_izih.pdf) 最終閲覧 2024.1.25

<sup>108</sup> JERAHP 「火力発電の種類と仕組み」  
<https://www.jera.co.jp/corporate/business/thermal-power/type> 最終閲覧 2024.2.25

(図 8-1) では、蒸気とガスの双方を活用するコンバインド・サイクル発電方式を記載している。

<sup>109</sup> (公社)日本ガスタービン学会 HP 「ガスタービンの概要」  
<https://www.gtsj.or.jp/gasturbin/index.html> 最終閲覧 2024.2.25

### c 水素の性質を活かし経済合理性を達成できる

水素エネルギーを活用する際の難点は、4.1.1. b で言及したとおり水素の性質を活かしながら経済合理性を発揮する用途が限られていることである。この点に関して、水素を火力発電所の燃料として用いることは、水素の燃焼性の高さを活かしたエネルギー効率性のある用途であり、水素の需要側にとって水素は経済合理性を備えた燃料とすることができる。これと同時に、水素を火力発電所の燃料として用いることは、水素の継続的かつ大量な消費が見込まれるため水素の供給側にとっても条件の良い契約である。例えば、火力発電所で水素を 30% 混焼する例で言うと、発電から排出される CO<sub>2</sub> 量を 64% 削減しながら、FCV200 万台に等しい水素の消費を達成することができる<sup>110</sup>。更に水素社会を推進する視点からも、水素の大量消費が実現できれば 4.2.1 で述べた通りに「規模の経済」の効果が発揮され、水素の流通価格の低下に繋げることができる。

このように、水素を火力発電所の燃料として用いることは、水素の性質に適しており、だからこそ経済合理性を発揮することができると言える。この結果、社会における水素の消費量が伸び、規模の経済から水素活用コスト低減をもたらすことが期待できる。

以上の 5.1.1.a から 5.1.1.c の理由により、水素を活用する理想的なサプライチェーンのモデルとして、火力発電所における水素混焼事業を設定することとしたい。この事業の中で、4.2.1 で考察した条件「水素活用事業のサプライチェーンの全工程で、参入企業が資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営する」を実施するためには、企業間の連携が不可欠である。このことから、5.1.2 では火力発電所における水素混焼事業のサプライチェーンの全体像を確認し、ステークホルダー企業を整理することを試みる。

#### 5.1.2 ステークホルダー企業の整理

5.1.1 で設定した火力発電所における水素混焼事業について、サプライチェーンの具体的な全体像を述べる。水素を大量に調達する方法の中で現況最も効率的だと見込まれる<sup>111</sup>方法に則して構想すると、国外で化石燃料等の燃焼と CCUS の組合せにより安価に製造した水素を、液化して大容量の運搬船で国内に輸送する。国内に届いた水素は、受入れ施設を経てパイプラインまたは小型タンクで火力発電所まで輸送され、火力発電所で LNG と混焼されて電力を生み出すというのが、一連のサプライチェーンである（図 9）。

つづいて、このサプライチェーンを構成する主なステークホルダー企業を整理する。上述した水

---

<sup>110</sup> 三菱重工(株)HP「水素ガスタービンへの取り組み状況」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/029\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/029_05_00.pdf) 最終閲覧 2024.1.25

<sup>111</sup> 経済産業省の「水素戦略」では、2030 年における水素の価格は 30 円/N m<sup>3</sup>を目標としているが、この実現方法として想定されているのは、液化水素の運搬容量を実証実験の 128 倍に増大し、規模の経済を実現するものである。

(参考) 経済産業省資源エネルギー庁 HP

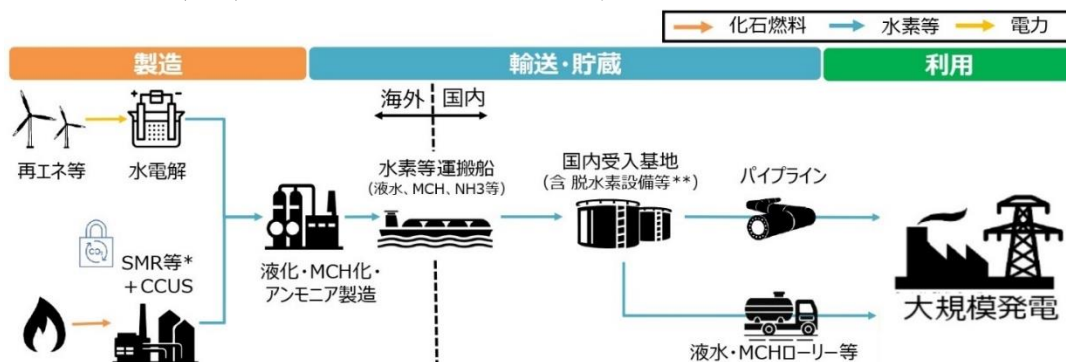
「グリーンイノベーション基金事業『液化水素サプライチェーンの商用化実証』、『水素液化機向け大型高効率機器の開発』」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/energy\\_structure/pdf/014\\_07\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/014_07_00.pdf) 最終閲覧 2024.2.27

素の製造から輸送の実践方法について最も近い条件を備えた事例は、3.2 でも述べた HySTRA による液化水素運搬の実証実験である。このため、HySTRA の実証実験を参考に、サプライチェーンを構成する企業を製造、輸送・貯蔵、利用に分けて整理する。

製造は実証実験のための取組みで具体的な企業を特定できなかったため割愛するが、輸送は海外調達における有力企業として川崎重工(株)、国内輸送における有力企業として岩谷産業(株)を挙げることができる。利用は、本稿では一例として、旧一般電気事業者の中から水素混焼を計画する関西電力(株)を挙げることとする。

(図9) 火力発電所における水素混焼事業のサプライチェーンの全体像



出典 経済産業省資源エネルギー庁 (2023)<sup>112</sup>を元に筆者加工

## 5.2 火力発電所における水素混焼事業での事業利益率の試算—資本コストとの関係—

5.1 では、4.2.1 で導いた条件「水素活用事業のサプライチェーンの全工程で、参入企業が資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営する」を具現化するモデルとして、火力発電所における水素混焼事業を設定し、ステークホルダー企業を整理した。水素混焼事業に参入した場合の事業利益率が、各企業の資本コストを多少超えている水準で事業を運営できれば、最低限の事業利益を確保できると言えるため、5.2 では、各企業が公表している決算資料を元にそれぞれの資本コストを計算することにより、水素混焼事業から得られる具体的な利益率の水準を示す。

5.1 で設定した火力発電所における水素混焼事業について、工程を a【製造】、b【輸送】(b1:【海外調達/貯蔵】、b2【国内輸送/貯蔵】)、c【利用】に分けた上で、実際にステークホルダー企業それぞれの資本コストを算出する。資本コストを計算するための手法は複数あるが、本稿では、簡略化のため WACC を用いて考える。WACC は企業の負債と株式時価総額の比率を基に資本コストを算出するため、投資家である銀行および株主の双方にとって期待収益率を測りやすい尺度と言えるためである。

<sup>112</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 HP「水素を取り巻く国内外情勢と水素政策の現状について」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/energy\\_structure/pdf/014\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/014_04_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

## a 【製造】企業の資本コスト計算

(化石燃料等の燃焼と CCUS の組合せによる水素製造が実証実験段階であり、具体的な企業を特定できなかったため、当該工程について企業の資本コストを試算することは割愛した。)

## b1 【海外調達/貯蔵】川崎重工(株)の資本コスト計算

同社の 2022 年度末決算資料<sup>113</sup>を引用し、WACC の手法を用いて計算する。

### ①負債コスト<sup>114</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》} & \text{支払利息} \div \text{有利子負債} \times 100\% \\ & = 5,007 \text{ 百万円} \div (340,176 \text{ 百万円} + 445,082 \text{ 百万円}) \times 100\% \\ & = 0.63762\% \doteq 0.64\% \end{aligned}$$

### ②株主資本コスト<sup>115</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》} & R_f + \beta \times (E_r - R_f) \\ & = 0.017\% + 1.11 \times (7.37 - 0.017)\% \\ & = 0.017 + 1.11 \times 7.353 \\ & = 8.17883\% \doteq 8.18\% \end{aligned}$$

### ③加重平均<sup>116</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》} & \text{負債コスト} \times \text{負債} / (\text{負債} + \text{株主資本}) + \text{株主資本コスト} \times \text{株主資本} / (\text{負債} + \text{株主資本}) \\ & = 0.64\% \times 1,860,852 \text{ 百万円} / (1,860,852 \text{ 百万円} + 539,348 \text{ 百万円}) \\ & \quad + 8.18\% \times 539,348 \text{ 百万円} / (1,860,852 \text{ 百万円} + 539,348 \text{ 百万円}) \\ & = 0.49618\% + 1.83812\% \\ & = 0.50\% + 1.84\% \doteq \underline{2.34\%} \end{aligned}$$

以上から、川崎重工の資本コストは約 2.34%と考えられる。

<sup>113</sup> 川崎重工(株)HP「連結損益計算書」<https://www.khi.co.jp/ir/financial/pl.html> 最終閲覧 2024.2.25 および「連結財政状態計算書」<https://www.khi.co.jp/ir/financial/bs.html> 最終閲覧 2024.2.25

<sup>114</sup> 引用した数字について、「支払利息」は、連結損益計算書中、金融部門の「支払利息」を用いた。「有利子負債」は、連結財政状態計算書中、流動負債および非流動負債の「社債、借入金及びその他の金融負債」の和を用いた。

<sup>115</sup> 用語の内容について、「Rf」はリスクフリーレート国債 10 年利回りの略、「β」は株式市場リスクと比較した対象企業のリスク、「Er」は株式市場の期待収益率を指す。引用した数字について、「Rf」は国際 10 年利回りの 5 年加重平均、「β」は日経新聞評価、「Er」は日経平均の 3 年間の CAGR-Rf を用いた。

(参考) 日本経済新聞 HP「β (ベータ) 値高位ランキング」

<https://www.nikkei.com/markets/ranking/page/?bd=betahigh&Gcode=25&hm=1> 最終閲覧 2024.2.26)

<sup>116</sup> 引用した数字について、「負債」は、連結財政状態計算書中、「負債合計」を用いた。「株主資本」は、連結財政状態計算書中、資本の「資本金」「資本剰余金」「利益剰余金」「自己株式」の和を用いた。

## b2 【国内運搬/貯蔵】岩谷産業(株)

同社の 2022 年度末決算資料<sup>117</sup>を引用し、WACC の手法を用いて計算する。

### ①負債コスト<sup>118</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》 支払利息} &\div \text{有利子負債} \times 100\% \\ &= 1,191 \text{ 百万円} \div (25,747 \text{ 百万円} + 12,144 \text{ 百万円} + 863 \text{ 百万円} \\ &\quad + 30,000 \text{ 百万円} + 68,457 \text{ 百万円} + 1,984 \text{ 百万円}) \times 100\% \\ &= 0.85563\% \doteq 0.86\% \end{aligned}$$

### ②株主資本コスト<sup>119</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》 } R_f + \beta \times (E_r - R_f) \\ &= 0.017\% + 0.69 \times (7.37 - 0.017)\% \\ &= 0.017 + 0.69 \times 7.353 \\ &= 5.09057\% \doteq 5.09\% \end{aligned}$$

### ③加重平均<sup>120</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》 負債コスト} \times \text{負債} / (\text{負債} + \text{株主資本}) + \text{株主資本コスト} \times \text{株主資本} / (\text{負債} + \text{株主資本}) \\ &= 0.86\% \times 343,773 \text{ 百万円} / (343,773 \text{ 百万円} + 269,271 \text{ 百万円}) \\ &\quad + 5.09\% \times 269,271 \text{ 百万円} / (343,773 \text{ 百万円} + 269,271 \text{ 百万円}) \\ &\doteq 0.48225\% + 2.23571\% \\ &\doteq 0.48\% + 2.24\% \doteq \underline{2.72\%} \end{aligned}$$

以上から、岩谷産業(株)の資本コストは約 2.72%と考えられる。

## c 【利用】関西電力(株)の WACC 計算

同社の 2022 年度末決算資料<sup>121</sup>を引用し、WACC の手法を用いて計算する。

<sup>117</sup> 岩谷産業(株)HP「2023 年 3 月期 第 80 期 有価証券報告書」pp.61-62「連結貸借対照表」および pp.63-64「連結損益計算書」  
<https://azcms.ir-service.net/DATA/8088/ir/S100R0HX.pdf> 最終閲覧 2024.2.26

<sup>118</sup> 引用した数字について、「支払利息」は、連結損益計算書中、営業外費用の「支払利息」を用いた。「有利子負債」は、連結貸借対照表中、流動負債の「短期借入金」・「1 年内返済予定の長期借入金」・「リース債務」および固定負債の「社債」・「長期借入金」・「リース債務」の和を用いた。

<sup>119</sup> 用語の内容は 18 と同じ。引用した数字について、「 $\beta$ 」以外は 18 と同じだが、「 $\beta$ 」は日経新聞の公開ページで探し出せなかったため、ロイターの評価を用いた。

(参考) ロイターHP「Iwatani Corp 主な指標 価格と出来高」

<https://jp.reuters.com/markets/companies/8088.T/key-metrics/price-and-volume> 最終閲覧 2024.2.26

<sup>120</sup> 引用した数字について、「負債」は、連結貸借対照表中、「負債合計」を用いた。「株主資本」は、連結貸借対照表中、株主資本の「資本金」「資本剰余金」「利益剰余金」「自己株式」の和を用いた。

<sup>121</sup> 関西電力(株)HP「有価証券報告書 第 99 期 自 2022 年 4 月 1 日 至 2023 年 3 月 31 日」pp.77-78「連結貸借対照表」および pp.79「連結損益計算書」

<https://www.kepcoco.jp/ir/brief/securities/99/pdf/report99.pdf> 最終閲覧 2024.2.26



### ①負債コスト<sup>122</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》 支払利息} &\div \text{有利子負債} \times 100\% \\ &= 24,324 \text{ 百万円} \div (518,324 \text{ 百万円} + 155,520 \text{ 百万円} + 162,000 \text{ 百万円} \\ &\quad + 1,600,020 \text{ 百万円} + 2,577,807 \text{ 百万円}) \times 100\% \\ &= 0.48515\% \doteq 0.48\% \end{aligned}$$

### ②株主資本コスト<sup>123</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》 } R_f + \beta \times (E_r - R_f) \\ &= 0.017\% + 0.38 \times (7.37 - 0.017)\% \\ &= 0.017 + 0.38 \times 7.353 \\ &= 2.81114\% \doteq 2.81\% \end{aligned}$$

### ③加重平均<sup>124</sup>

$$\begin{aligned} \text{《式》 負債コスト} \times \text{負債} / (\text{負債} + \text{株主資本}) + \text{株主資本コスト} \times \text{株主資本} / (\text{負債} + \text{株主資本}) \\ &= 0.48\% \times 6,934,642 \text{ 百万円} / (6,934,642 \text{ 百万円} + 1,617,547 \text{ 百万円}) + 2.81\% \times 1,617,547 \text{ 百万円} / (6,934,642 \text{ 百万円} + 1,617,547 \text{ 百万円}) \\ &\doteq 0.38921\% + 0.53147\% \\ &\doteq 0.39\% + 0.53\% \doteq \underline{0.92\%} \end{aligned}$$

以上から、関西電力(株)の資本コストは約 0.92%と考えられる。

以上 5.2.a から 5.2.c の結果より、火力発電所における水素混焼事業のサプライチェーンを構築する主な企業の資本コストは、0.92%から 2.72%だと考えられる。4.2.1 から、水素混焼事業を通して各企業が得る事業利益率も、各企業の資本コストの水準に基づきそれぞれ 0.92%から 2.72%を多少上回る程度とすることを一つの目安とした場合、企業に最低限度の利益を確保しながら、サプライチェーンをとおして水素活用コストを低減し規模の経済を達成することに繋がるのではないかと考える。このときに肝心なことは、サプライチェーンの中で自社の資本コストに関わらず事業利益率を多めに設定する企業がある場合は、他の多数の企業による水素活用コスト低減への努力は十分な効果を発揮できないということである。

サプライチェーン企業間の連携を醸成する方法を考えるために、5.3 ではこの事業利益率で事業を運営するための連携スキームを考察する。

---

<sup>122</sup> 引用した数字について、「支払利息」は、連結損益計算書中、営業外費用の「支払利息」を用いた。「有利子負債」は、連結貸借対照表中、流動負債の「1年以内に期限到来の固定負債」・「短期借入金」・「コマーシャル・ペーパー」および固定負債の「社債」・「長期借入金」の和を用いた。

<sup>123</sup> 用語の内容および引用した数字について、18 と同じ。

(参考) 日本経済新聞 HP 「 $\beta$  (ベータ) 値高位ランキング」

<https://www.nikkei.com/markets/ranking/page/?bd=betahigh&Gcode=67&hm=1> 最終閲覧 2024.2.26

<sup>124</sup> 引用した数字について、「負債」は、連結貸借対照表中、「負債合計」を用いた。「株主資本」は、連結貸借対照表中、株主資本の「資本金」「資本剰余金」「利益剰余金」「自己株式」の和を用いた。

### 5.3 事業を実現するための連携スキーム

5.2 で、火力発電所における水素混焼事業のサプライチェーンを構築する主な企業の資本コストは、0.92%から 2.72%であることを示した。4.2.1 より、サプライチェーンの全工程で、参入企業がコスト削減に取組みつつそれぞれの資本コストを上回る程度の事業利益率で事業を運営した場合、各企業の最低限の利益を確保しながらサプライチェーンをとおして水素活用コストの低減を実現できると考える。一方、仮にサプライチェーンの中でコスト削減への取組みの程度が異なったり自社の資本コストに関わらず事業利益率を多めに設定したりする企業がある場合は、その他の多数の企業が水素活用コストの低減に努力しようとも、その効果は十分に発揮されないという懸念点がある。

サプライチェーンを構成する全企業がこの事業利益率の範囲で事業を運営するためには、企業間の連携をどのように担保するかが鍵になると考える。このため、5.3 では、企業間の連携を可能とするスキームを論じる。5.3.1 でサプライチェーンに備えるべき連携スキームと企業間の合意内容を述べ、5.3.2 でこの連携スキームを担保するために企業間の共通価値を実現する手段として戦略マップを提案する。5.3.3 で、事業を推進するための地方公共団体の役割を明示する。

#### 5.3.1 サプライチェーンの連携スキームと企業間の合意内容

当期の利益の最大化を是とする民間企業にとって、短期・中期的に水素事業から得られる利益率を抑えて水素活用コストの低減を試みるようなサプライチェーンへの参入を判断するには、適切なリターンと事業の実現性の双方が担保されることが望まれると考える。5.3.1.a では、これらに対応するようなサプライチェーンの連携スキームの概要について述べ、5.3.1.b では、事業の円滑な運営のために企業間で合意をしておくべき内容を提言する。

##### a 連携スキームの概要

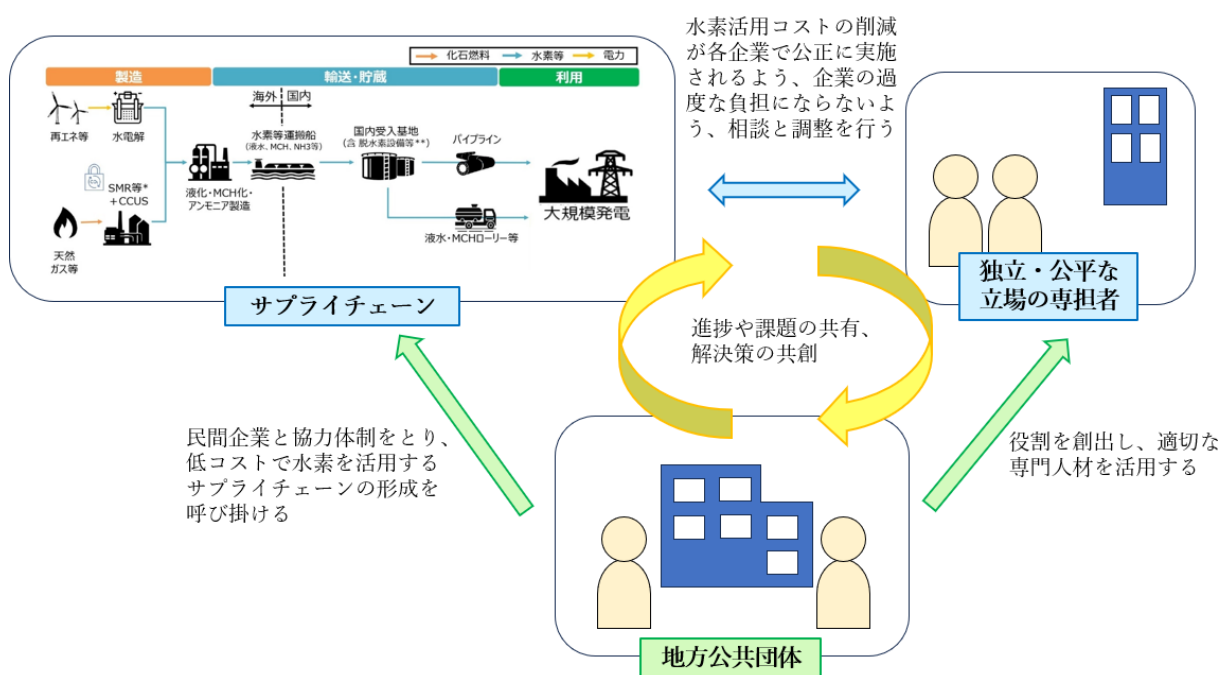
各企業のコスト削減への取組み効果が発揮されるような連携スキームには、各企業の水素活用コスト低減の取組みに伴走し助言を行う役割が必要となる。この理由として、資本コストを多少上回る程度の事業利益率に設定することを提案するものの各企業にとって具体的にどの程度の範囲ならば良いのか判断することが難しいこと、また、企業間で事業利益率やコスト削減への取組み具合に差がある場合、最終的な水素活用コストの削減は期待する程の効果を得られないことがある。このため、事業の実施体制の構成に、各企業の水素活用コスト削減の取組みについて相談に応じるような専属の役割（以下「専担者」という。）が必要だと考える。専担者は、サプライチェーンの各企業が資本コストを多少上回る程度の事業利益率で水素混焼事業に取り組んでいるか否かを確認し、必要に応じて関係者間の調整を行う。なお、本稿の「専担者」については、関係する企業との間で相対する守秘義務契約を締結することとする。これにより、サプライチェーンの各企業の内部情報の保護を義務づける。

この専担者は、サプライチェーン参入企業の資本コストを求めた上で、各企業の短期および長期で必要となる利益を分析し、これを多少上乗せすべき利益として事業利益率を設定する能力が求められる。短期的に必要な利益とは、企業が水素事業を開始する時の条件は、価格競争力のない

水素製品をわずかな利益率で取り扱わなければならないという、経営的には成り立つとしても決して好ましくない条件であることを充分考慮した上で、水素活用事業をとおして得られる利益率が「資本コストを多少上回る程度の低利益ではあるが、企業の経営に悪影響するものではない」という範疇に収まっていることだと考える。長期的に必要となる利益とは、水素事業が規模の経済を実現し既存の化石燃料との価格競争力を得るまでの期間を試算した上で、それまで水素事業の持続が可能となる程度の利益だと考える。このために専担者は、企業の財務状況および水素事業のコストの相場を正確に分析する能力が必要になる<sup>125</sup>。

このような人材を、民間企業からも行政からも独立した第三者組織として水素活用事業の調整役という社会的な役割を持たせることが、サプライチェーンをとおして各企業のコスト削減への取り組み効果を発揮する連携スキームだと考える。現状の我が国の水素活用事業では、筆者が調べる限りこのような専担者という役割は見当たらない。そこで、地域における水素活用事業を推進するための施策として、地方公共団体がサプライチェーンの企業および専担者を含めた連携スキームを構築してはどうかと考える（図10）。

(図10) 連携スキームのイメージ



出典 林（2024）を元に筆者作成

<sup>125</sup> 火力発電所で水素エネルギーを用いる場合の発電コストの試算について、液化水素の大量輸送によるスケールメリット効果を仮定して試算しても、水素専焼は天然ガス専焼の2倍のコストがかかるという研究もある。水素をエネルギー源にしたサプライチェーンでコストを削減し水素に価格競争力を持たせることは容易ではないことがうかがえる。

(参考) 経済産業省資源エネルギー庁 HP「水素・アンモニア発電コストおよび CCS 付き火力発電コスト試算」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/ccs\\_choki\\_roadmap/pdf/002\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/pdf/002_03_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

## b 企業間で合意しておくべき内容

5.3.1.a で確認したような連携スキームの実行力を担保するために、サプライチェーンの企業間で合意を形成しておくことを提言する。その内容のイメージを次のように考える。

### (事業の目的)

火力発電所における水素混焼事業をとおして、サプライチェーンを構成する全企業で水素活用コストの削減に協力し、水素の実用化を促進することを目的とする。

### (コスト削減の内容)

水素活用コストを低減するための具体的な手段は、水素混焼事業において各企業が資本コストを多少上回る程度の事業利益率で事業を運営することとする。

### (実施体制)

サプライチェーンの企業間において、水素活用コストを削減するための取り組みに公正を期すため、企業および地方公共団体から独立した公平な立場の調整役（本稿で言う「専担者」）が定期的に各企業の財務状況を確認し、必要に応じて関係者間の調整を行う（地方公共団体への施策の提言を含む）。

### (機密保持)

調整を行う第三者機関は、業務の中で知り得た企業の情報について、関係者間の契約上の守秘義務を有する。

## 5.3.2 共通価値創出のための手段—戦略マップ—

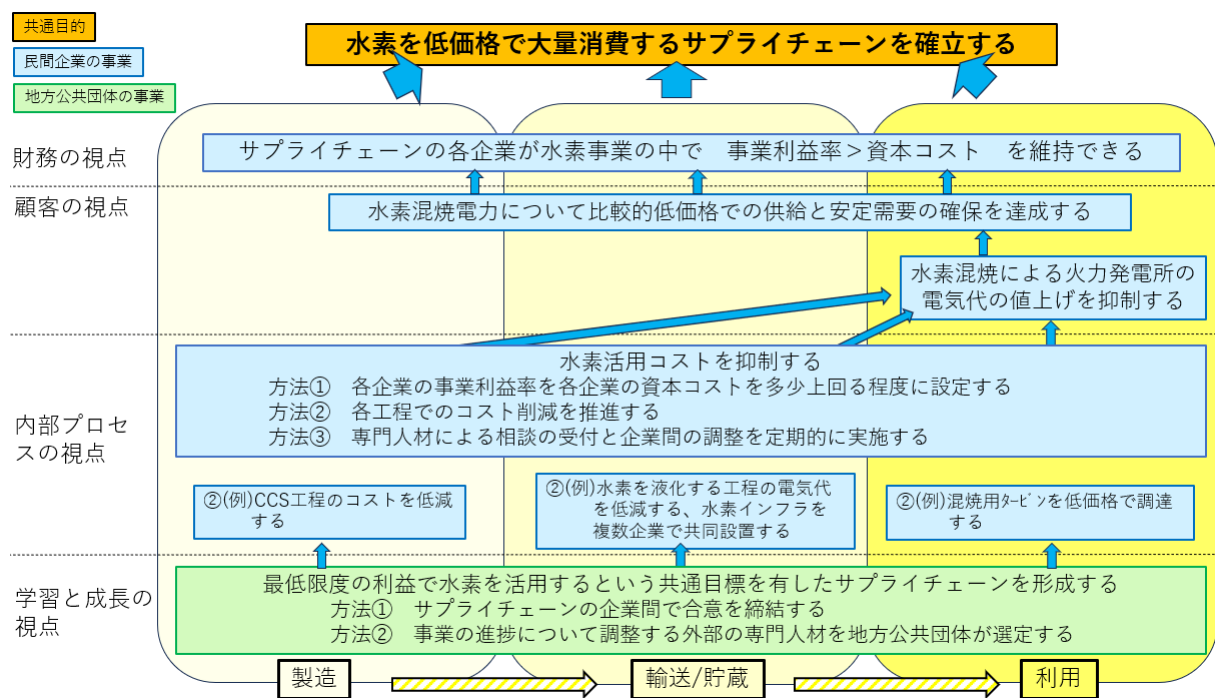
5.3.1 で、水素活用コストの低減への取り組みを担保し得る連携スキームと企業間が行うべき合意の内容を概観した。しかしこれだけでは、サプライチェーンをとおして水素活用コストを低減する事業の理想を描いたに留まりかねない。本稿では水素活用コストを下げる方法をより現実的に考えるべく、組織間の連携を担保する方法を、もう一步踏み込んで考えたい。

事業を担う複数の組織が連携する鍵は、事業をとおして共通の価値を実現できるか否かだと考える。共通価値を実現する過程には、組織間で克服課題の共有や然るべき役割分担、進捗管理が必要となり、しかも事業を前進させるベクトルが働かなければならない。このように、複数の組織間の共通価値を創出し事業の発展段階に応じたステークホルダーを整理して戦略的に事業を進める手段として、戦略マップがある（Robert S. Kaplan and David McMillan, 2021）。戦略マップとは、事業に4つの視点を設けて各段階のステークホルダーとそれぞれ担うべき取組みを項目化し、それぞれの項目間を因果関係仮説で結んだ先に共通価値の創出へ到達することを図示するものである。4つの視点は事業の発展段階の早い順に「学習と成長の視点」、「内部プロセスの視点」、「顧客の視点」、「財務の視点」と設定されることが多く、それぞれの視点のステークホルダーは事業の性質によって設定できるものの一般的には「学習と成長の視点」は従業員、「内部プロセスの視点」

は経営者、「顧客の視点」は顧客、「財務の視点」には株主が設定される（ロバート.S.キャプラン・デビッド.P.ノートン, 2014）。

筆者は試作的に火力発電所における水素混焼事業のモデルで下図 11 のような戦略マップを考案した。水素混焼事業を形成する連携スキーム（図 10）が一まとまりの事業者として「水素を低価格で大量消費するサプライチェーンを確立する」という共通価値を掲げたとする。このとき、「学習と成長の視点」が事業の最も早期に設定しているため、この段階での克服課題は「最低限度の利益で水素を活用するという共通目標を有したサプライチェーンを形成する」ことであろう。事業を遂行する現場でこれを形成した次に経営者層が「内部プロセスの視点」の段階で取組むべきは、「水素活用コストを抑制する」ための具体的な施策の実施であり、この内容は 5.2 および 5.3.1 の考察に基づく事業利益率での事業運営や連携スキームの形成である。これらの段階を経て、火力発電所における水素混焼事業の顧客には「（コストの高い水素を活用した割には）比較的低価格」の電力供給が可能となり得る。またこれと同時に、「（顧客の電力に対する）需要の確保」も達成でき得ると考える。火力発電の燃料は安定的かつ大規模な需要を持つため、顧客の需要を確保することができればサプライチェーンに参入する企業にとっては事業が維持拡大するほど規模の経済が発揮され企業のコスト削減の負担が軽減されると考えられる。この結果、「財務の視点」の段階では、資本コストを多少上回る程度の事業利益率の設定であったとしてもサプライチェーンの全ての企業は株主への責任を果たすことが可能になると考えられる。このようにして事業に関わる全てのステークホルダーが事業の発展段階を追って役割を果たしたり克服課題を解消したりすることにより、最終的には「水素を低価格で大量消費するサプライチェーンを確立する」という、組織間の共通価値の実現が可能になると考える。

（図 11） サプライチェーン全体で水素の活用コストを低減するための戦略マップ



出典 筆者作成



### 5.3.3 事業の推進役としての地方公共団体の役割

5.3.1 ではサプライチェーン全体で水素の活用コストを下げるための連携スキームと企業間で行うべき合意の内容について述べ、5.3.2 では組織間の連携をより確かにする手段として戦略マップを提言した。5.3.3 ではこれらの推進役として、地方公共団体の役割を明らかにすることを目指す。

図 11 の戦略マップには、事業の発展段階に応じて各ステークホルダーが実施すべき事業を項目に記しているが、この項目は事業の実施主体を元に色分けをしている。緑色の項目は地方公共団体の職務であり、青色の項目は民間企業の職務である。このようにして見た場合、地方公共団体の職務は事業の発展段階の初期に集中しており、事業がうまく展開していくための調整役を果たしている。民間企業の職務は水素混焼事業そのものを担うと同時に、顧客および株主へ利益を還元する責任を求められている。どちらの職務も事業の推進の為に重要だが、地方公共団体と民間企業の端的な事業に拘らず戦略マップ全体の意味を改めて鑑みると、戦略マップとは組織のパフォーマンスを向上させるだけでなく組織間の障壁を超えて連携を達成するためのものである (Robert S. Kaplan and David McMillan, 2021)。様々なステークホルダーの理解を得ながら戦略マップを形成するためには組織間で中立的な立場にある者が作成に当たることが適役であり、またこの戦略マップが組織間の連携を担保する鍵であることを考えると、事業を推進する責任ある立場として 4.3 で分析したように地方公共団体が適任だと考えられる。

このことから、火力発電所での水素混焼事業を推進するための地方公共団体の役割は、戦略マップを作成し 5.3.1 で見た連携スキームの形成や企業間の合意形成の旗振り役をすることだと考えた。特に戦略マップで項目を設定する際には、それぞれの項目について KPI を策定し、サプライチェーンの企業および地方公共団体間で進捗についての共通認識を持つことができれば、発展段階ごとの克服課題を共有し事業を推進することが更に容易になると考える。ただし、4.3 の分析とおりに民間企業との協力体制がなければ事業の実現は不可能であるため、地方公共団体は事業の計画に当たっては民間企業との意見交換を綿密に行い、事業の牽引ではなく組織間の調整を第一に心がけることが求められると考える。

以上、5.3 では、水素活用コストの低減を実現するための連携スキームの在り方について述べた。

## 5.4 社会的受容性を高めるための取組み

4.2.2 より、水素の実用化を促進するためには水素サプライチェーンの形成を予定する地域において、水素への社会的受容性を高めることが重要であることを確認した。4.2.2 で考察した社会的受容性を高めるための条件は次のとおりである。第一に、事業の意思決定プロセスに住民が参加する機会がある (手続き的正義①) こと、第二に、水素事業の安全性が住民に充分理解されるように、水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する (手続き的正義②) こと、第三に、地元の中小企業が水素のサプライチェーンに参入し地域経済を発展させる機会がある (分配的正義) こと、第四に、地域社会の住民と、事業者など地域外の部外者との信頼関係を形成できる (信頼) ことである。

この諸条件を社会の中で体系立てて実施するために事業に置き換えると、「安全性への理解」、「地域経済の活性化」、「環境的価値の実現」の3つの事業で表すことができると考える。それぞれの事業を進展する中で、Wüstenhagen ら（2007）の分類に基づく「手続き的正義」、「分配的正義」、「信頼」を実現することにより、水素事業の社会的受容性を高めることを目指したい。続く第一項から、「安全性への理解」を得るための事業の課題や必要要件について検討する。

#### 5.4.1 安全性への適切な理解を得る

水素エネルギーの安全性について正しい理解を得るためには、4.2.2. a で検討したとおり水素の性質に基づく適正な安全基準を法定することが求められる。これと同時に、原子力発電所の建設に対する反対運動の事例からもわかるとおり、地域住民は科学的な安全基準や法的な補償制度が整っているだけでは事業に対して十分な容認を示すとは限らない。そこで、本稿ではまず 5.4.1.a で火力発電所において水素を活用した場合の安全基準を確認し、ここから期待される水素の性質に基づく適正な安全基準の概要について触れる。この次に 5.4.1.b で地域住民の事業に対する理解を深める方法として、地域住民が事業の意思決定プロセスに参加することを提案したい。

##### a 水素の性質に基づく適正な安全基準

水素の燃料特性に特化した安全基準がないことと、これが水素の普及を妨げる一因になっている状況については 4.1.2 で述べた。具体的に火力発電所における保安行政を見ると、設備については電気事業法により公共の安全確保が図られている。火力発電所での水素およびアンモニアの活用計画に対応するために電気事業法は 2022 年、施行規則等の一部を改正し<sup>126</sup>、「発電用火力設備に関する技術基準の解釈の一部を改正する規程」において水素およびアンモニアを活用する場合の技術基準について記載を具体的にした。一方で、同時に改正された「発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示の一部を改正する告示」では、水素タンクの離隔距離は高圧ガス保安法に準じて規定するものとされ、同法に関しては水素ガスも LNG 等性質の異なる燃料と同一の規制を受ける状況が変わらない点もある。火力発電所での水素混焼事業で、高圧ガス保安法に基づく離隔距離を実際に適用すると、水素タンクが保存する液化水素は密度が高いゆえに、現存の LNG タンクの 2 倍の離隔距離を要することになる<sup>127</sup>。これでは科学的根拠に乏しい規制で大掛かりな施工の負担を事業者に求めることになりかねない。一方で、事業の進行の負担を減らすことを基準にリスク評価を行った場合、本来想定すべきであったリスクを見落としのまま水素エネルギーを社会に普及させて、後々事故の原因になりかねない。水素技術を長期的なインフラとして社会に実装するためには、リスク評価の基準で安全を優先することを忘れてはならないのである。

---

<sup>126</sup> 経済産業省 HP「水素・アンモニアを燃料として使用する火力発電に関する電気事業法施行規則等の一部改正について」  
[https://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2022/12/20221214-1.html](https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2022/12/20221214-1.html) 最終閲覧 2024.1.29

<sup>127</sup> 経済産業省 HP「火力発電に係る安全規制の最近の動向について」  
<https://www.safety-chugoku.meti.go.jp/denki/hatsuden/karyoku/2.honsho.pdf> 最終閲覧 2024.1.29

以上の状況を踏まえて、適正な安全基準の概要を次のように定めたい。

- ① 水素の性質に基づいた過不足のない規制を関連法令が一斉に遅滞なく制定すること。
- ② リスク評価の基準は効率主義に偏らず安全主義であること。
- ③ ①および②を正確に実現するために、技術面で専門的知見を有する職員を雇用し、制度改正の内容について産業界とは異なる外部の有識者の意見を求めること。

#### b 手続き的正義を実現する具体的な取組み

適正な安全基準を設置した上で事業に対する理解を得るために必要な条件として、本稿では4.2.2で地域住民が事業の意思決定プロセスに参加することを提案することを挙げた。ここでは、火力発電所における水素の混焼事業をモデルに住民参加の要件について考察したい。

火力発電所と住民参加の関係は、環境要素については、環境影響評価法に基づき住民が事業者へ意見を提出する機会が認められている(5.4.3で詳述)。しかし、安全基準に関しては、既存の制度ではこのような機会は設置されていない。安全は技術によって保証されているという認識だと推測される。

その上でも水素の安全性を地域住民に適切に理解してもらうために、水素混焼事業の開始前に、事業説明会を開くことを提案したい。そしてこの形式としては、事業者が壇上から安全基準を画一的に講義するのではなく、説明会の開催時間中は住民の出入り自由で会場内に設置した複数の質問コーナーで事業者が随時住民の質問に答えるというような、住民の個別の疑念を解消できるコミュニケーションの場を設けることが理想的だと考える。

この理由として、4.1.2より社会一般における水素への関心はまだ低く、住民の水素に対する理解には幅がある。しかし今後、水素がエネルギーとして社会の随所に活用される状況が展開していくためには、幅広い住民の理解を醸成しなければならないからである。

事業説明会に関わる他の要件の確認として、安全基準に関して住民側から意見が出た場合基準は化学および工学を元にして決まると考えるため、住民の意見に対する事業者の対処義務または努力の設定は不要だと考える。その上でも、説明会の収穫は事業者へ一方的にもたらされるものではなく住民側も説明会を通して正確な情報を手に入れることができるため、住民参加の一つの条件を住民が得ることにもなる(鈴木・城山・松本2007)。

次の項では、水素が地域にもたらす共通の価値(丸山・西城戸2022)として地域経済への還元について考えたい。

#### 5.4.2 地域経済の活性化に繋げる

水素エネルギーを導入することによる産業面のメリットは、既存の産業構造を温存したまま脱炭素化できることであると述べた。そうであっても、水素の性質に基づき配慮されるべき変化を詳しく見ると、水素の導入によってシェアを減らす産業と伸びる産業が出ることは確実である。例えば、化石燃料に関する産業は水素の導入が進む分だけシェアを減らすであろう。一方、水素の導入によって新たな需要が喚起される技術や製品もあるはずである。本項では、火力発電所での水素混焼事

業を担うサプライチェーンに中小企業が参入する方法を考えるため、5.4.2.a で新しく求められる技術体系について概観し、5.4.2.b で中小企業がサプライチェーンに参入するためのマッチング事業について既存事業の課題を確認し、5.4.2.c でその克服方法を考察する。

#### a 水素エネルギーのサプライチェーンで要される技術体系

火力発電所のサプライチェーンは図 12 のとおり、大きく燃料の調達（輸送）と貯蔵、そして発電（利用）の三工程に分けることができる。工程の構造自体は既存のサプライチェーンと同じだが、水素を導入することにより、新たな技術的需要が生まれている。

例を挙げると、一つ目は国外から輸送する際に水素を $-253^{\circ}\text{C}$ に維持し、液化状態を保つ真空断熱構造（図 12 中①）であり、二つ目は国内で高圧ガス化した水素を輸送したり貯蔵したりする際に水素の漏洩を防ぐ特殊な塗装やパッキング技術<sup>128</sup>（図 12 中②）であり、三つめは火力発電所での水素混焼用ガスタービン（図 12 中③）である。水素のサプライチェーンと中小企業の間接関係を考えた際、水素エネルギーの導入前後で変化のない工程では、地域の中小企業は部品メーカーや施工業者としてこれまでどおりの仕事を続けることができる。一方で、化石燃料を扱ってきた中小企業は、職業移行をしなければ仕事を失う可能性があるだろう。他方、図 12 のとおり、新しい技術需要により、業績を伸ばす企業が現れることも想像できる。特に②のような、ニッチな分野で突出した高い技術を必要とするのが水素製品の特徴であり、同時にこのような技術は中小企業の強みでもある。

しかし、このまま中小企業が水素のサプライチェーンに参加できるというわけではない。大企業はそのような技術を有している中小企業の存在を把握できておらず、サプライチェーンへの参入を考える地域の中小企業も、大企業のピンポイントな技術需要を認識できていないことが、中小企業がサプライチェーンに参加するための障壁になっている。この状況について、水素の実証実験を行う(株)デンソーの H 氏は、次のように見解を示した。

「水素社会は様々な技術や製品を必要とするため、多様な得意分野を持った仲間が集まり協力し合うことが大切だと考える。そのため、大企業のみならず地域のなかで仲間づくりを行っていきたい。しかし、水素サプライチェーンに参入しようとする中小企業も、水素サプライチェーンを構成する技術や製品が見えないままでは、どこから入れればいいのかわからないのではないかと。水素の実用化を推進する企業は、企業の大きさに関係なく、中小企業にも技術や情報を知ってもらえるように協力するべきだと考える。当社では多くの工場見学を受け入れて、水素を使うための技術や課題を他の企業に知ってもらいヒントにしてもらうようにしている。

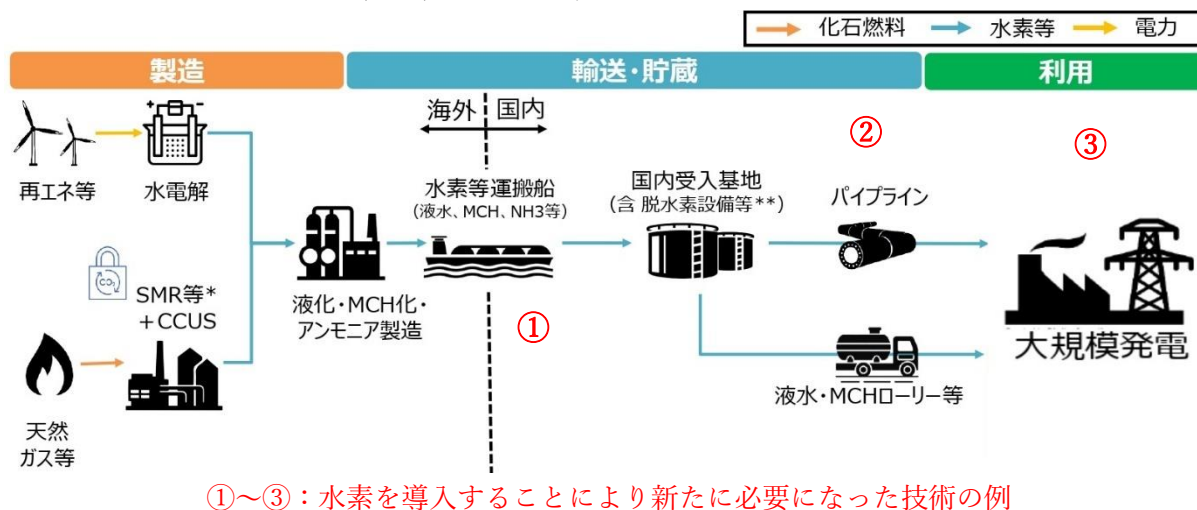
一般的な規模で大企業と中小企業のマッチングを開催する以前に、『何と何をマッチングするのか』を丁寧に示す必要があるのではないだろうか。」

---

<sup>128</sup> 常温の水素は地球上で最も分子量が小さいため、容器を通過して発散しやすい。特に高圧水素の漏洩を防止するためには、通常の水素のバリア性材料として用いられるアルミニウムよりも、耐熱性・耐ガスバリア性機能を持つ炭素繊維強化プラスチックを用いる方が有効であることが示されている。（天尾豊（2019）『水素の基本物性』（水素エネルギー協会 編（2019）『水素エネルギーの事典』第4章）朝倉書店 p.71）水素の漏洩を防ぐためには、このように特殊な素材を用いて高度な技術が求められる。

これを踏まえた上で、水素事業を主導する大企業と水素事業が展開される地域の中小企業の技術の需給のマッチング環境の整備を、地方公共団体が地域の産業振興政策としてどのように実現していくのかを、次の 5.4.2.b で考えたい。

(図 12) 水素混焼事業における新しい技術の需要



①～③：水素を導入することにより新たに必要になった技術の例

出典 林 (2024) を赤字部分加工

## b 既存のマッチングと水素事業の特徴

ここで、水素エネルギーに関する製品や技術に関して、大企業と中小企業のマッチングを行政が行った例を確認したい。本章で取り扱う火力発電所における水素の混焼事業に特化した例ではないが、水素を実用化の際に求められる技術は、事業を横断した汎用性があるため、参考として扱う。

近畿経済産業局の「水素産業ニーズ・ウォンツ発表会～中小企業の参入に向けたマッチング～」が、2022 年度に 3 回開催されている。他に機会がない中で、大企業と中小企業を集めてこのような開催をできることは大きな意義のあることだと考えるが、マッチング成立結果は未公表であるものの、水素サプライチェーンの形成に関する公開情報を検索する中では、大企業と中小企業との協力関係が締結された事例は発表されていないため、マッチングの結果は渺々しくないことが予測される。

既存のマッチング政策を難儀せしめる要因について、兵庫県産業労働部新産業課情報・成長産業振興班長の I 氏は次の見解を示した。まず、多くの企業の認識は「本当に水素市場を形成できるのか」という段階であり、特にその傾向は中小企業に強い。多くの中小企業にとって参入を模索する程将来性を感じる水素事業を見つけることが難しい状況がある<sup>129</sup>。その一因として、大企業が部品や原材料のサプライヤー企業を選定する際は技術水準や安定供給能力を測るために候補企業の実績を重視する状況が挙げられる。水素製品については元々商用化の実績が世の中に少ないため、サプライヤーとして提携すべき実力を備えた中小企業を見定めるのが難しいのが現状である。最後に重厚長大産業の裾野を担ってきた県内の中小企業の特徴として、大手企業からの依頼を受けて製造

<sup>129</sup> 地元経済界(神戸経済同友会)、支産業支援組織 NIRO) 等から中小企業の水素分野への参入障壁が高いという声と同課には多数寄せられているとのことである (2023 年 8 月 24 日インタビューにおける同課班長 I 氏談)。



を担う状況が多いことと、代表者が製造と経営の両方を担っている中小企業の場合、水素事業に関心がある場合でもサプライチェーンに入るための方法を考える余裕がないと見られるとのことである。

以上 5.4.2.a および 5.4.2.b から、大企業と中小企業の技術の需給のマッチングで水素産業に固有の課題として次の点を挙げることができる。

- ① 水素の実用化について予見性が不確実である。
- ② 商品化の例が少ないため、中小企業の供給能力が測れない。
- ③ 需要のある技術がニッチであり、中小企業経営者も需要を効率的に知るツールがないので、自社がサプライチェーンを担い得るか否かの自覚がない。

続く 5.4.2.c では、①～③の課題を踏まえた上で、水素産業において地方公共団体が果たすべき役割について具体的に考察する。

### c 水素混焼事業のサプライチェーンを形成するマッチングで地方公共団体が果たす役割

5.4.2.b では、大企業と中小企業のマッチングに際して、水素事業に固有の課題として次の点を挙げた。

- ① 水素の実用化について予見性が不確実である。
- ② 商品化の例が少ないため、中小企業の供給能力が測れない。
- ③ 需要のある技術がニッチであり、中小企業経営者も需要を効率的に知るツールがないので、自社がサプライチェーンを担い得るか否かの自覚がない。

これらについて、火力発電所での水素混焼事業におけるサプライチェーンを形成するために、地方公共団体がどのようなマッチングを行って克服するのかを考えたい。

①について、本稿で示すとおり地方公共団体が火力発電所での水素混焼事業の実用化に向けて諸事業を行うことで克服できると考える。

②について、企業の供給能力が予見し難いという点は、サプライチェーンへの参入を避けられる状態と言わざるを得ない。企業の供給能力が正確に想定できないということは、当該企業から川下の企業は、川上のリードタイムを元にした正確な在庫管理ができずに効率化できないサプライチェーンを構築することになる。そのような原因になる企業は、サプライチェーンに参入することは困難である。

これを克服する方法として、パートナーシップという手法を提案する。「サプライチェーン構成企業の間で調整を図るために用いられる提携関係」（松井 2021）であり、例えば地域内で同様の技術を持った中小企業を複数集め、連携して部品の供給を担うことで、供給能力を強化し予測を立てることができるようになると思う。このようなサプライチェーンを形成する方法については、③でまとめて述べたい。

③は、大企業と中小企業の情報の非対称性を補い、いかにしてマッチングを成功させるかという本題に当たる。中小企業が固有の技術力を生かしてサプライチェーンに参入し、これがサプライチェーンの需要を満たすならば、地域の中小企業の産業振興にとってもサプライチェーンを担う大企

業にとってもメリットとなる。

地方公共団体が産業振興政策として大企業と中小企業のマッチングをする好例に、神奈川県川崎市の公益財団法人 川崎市産業振興財団による知的財産マッチング支援事業<sup>130</sup>が挙げられる。同モデルは、神奈川県川崎市の中小企業支援政策で、大企業の知的財産の開放特許と中小企業の特許活用希望者のマッチングを目的としている。2008年から2019年までの12年間、2015年を除いて毎年マッチングを成功させた同モデルには、次のような特徴がある。（中村 2019）

- ・ マッチングのターゲットが明確である  
（大企業の知的財産の開放特許を中小企業に活用させること）
- ・ 現場主義を貫いている。
- ・ 技術に関する知見が深い職員が長期間赴任することで、企業との信頼関係を構築する。
- ・ 中小企業と大企業の契約が成立するまで、伴走をすることとしている。

この例から、情報の非対称性を克服するために最も重要なのは、マッチングを担当する職員の専門性の高さだと考える。マッチングの全ての参加主体が、自身の需要と供給の内容について明確に自覚しており、次にマッチング会場でカウンターパートの情報も容易に手に入れられる環境にあるとき、マッチングは順調に成立すると考える。

水素事業における大企業と中小企業のマッチングでは、中小企業側は自らの需要する状況（サプライチェーンへの参入による新規契約の獲得）は認識しているが、供給できる能力（サプライチェーンにおいて求められる技術は自社技術で対応できるか否か）を正確に把握していないことが課題となる。これを、仲介する地方公共団体職員が補おうとした場合、職員側には単なる情報収集に留まらない技術への具体的な理解や、我が事のように機敏に商機を見出す感覚が必要とされるに違いない。実際、川崎市の産業振興財団で知財マッチングを担当する「知的財産コーディネーター」は、4名全員が民間企業または行政の関連分野で年数を費やして専門性を磨いてきた経歴を持つ。

以上から、事業者としては火力発電所における水素混焼事業のサプライチェーンを形成するために、中小企業と大企業の技術面での需要と供給を正確に把握する専門能力を持ち、両者を仲介することができる職員を雇用することを提言したい。水素産業に固有の課題として、5.4.2.b で見たように、水素の商品例が少ないために中小企業の供給能力を大企業が予測しきれないという状況があるため、中小企業側は単に個別の技術を供給するだけではなく同業他社同士でパートナーシップをとって製品の供給体制を整備することが必要だと考えられる。その際も、マッチングを仲介する職員が、需要のある技術の種類とその製造規模の見通しについて正確な情報を大企業側から仕入れることで、中小企業間の連携を推進することができると思う。

---

<sup>130</sup> 川崎市 HP 「大企業と中小企業の知的財産マッチング支援」

<https://www.city.kawasaki.jp/280/page/0000017805.html> 最終閲覧 2024.1.29

### 5.4.3 環境的価値を実現する

#### a CO2 排出量の削減

最後に、環境的価値について述べる。水素エネルギーを活用する企業が地域に集積することにより、地域に放出される CO2 排出量が削減されるのは明らかである。元々、我が国の CO2 排出量の 6 割は製油所・発電所・製鉄所等の産業が排出したものだが、これらの産業は港湾・臨海部に集積している<sup>131</sup>。地域の火力発電所や工場の燃料として石油燃料の代わりに水素エネルギーが導入されるようになれば、地域の大気環境が良くなりより広い社会の気候変動問題の改善にも貢献し得ると考える。火力発電所で水素の混焼事業を始めた場合、CO2 排出量が削減されるため自ずと分配的正義が達成されて環境的価値の実現に繋がる。

#### b 住民参加と説明すべき内容

火力発電事業は元来、環境影響評価法に基づき環境要素における意思決定プロセスに、住民が参加することが法定化されている。具体的には、火力発電事業者は発電所の建設計画を立てる際に、大気環境・水環境・土壌環境・その他の環境、植物・動物・生態系、景観・廃棄物等の項目について与え得る影響を配慮し、その対策について地域住民に説明を行う義務がある（環境影響評価法第 2 条第 2 項第一号ホおよび同法第 7 条の二）。住民は、事業計画の内容に対して意見表明する機会があり（同法第 3 条の 7 第 1 項、第 8 条第 1 項および第 18 条第 1 項）。事業者はこの意見に全て対処する必要はないが、配慮せねばならないため（同法第 5 条第 1 項、第 11 条第 1 項および第 21 条第 1 項）、住民が出した意見書が事業者計画に修正させる可能性もある。

水素エネルギーの混焼事業を開始する場合でも、事業用電気工作物であるガスタービンの改修を行い水素タンクを設置するため、簡易な環境影響評価を行わなければならない（電気事業法第 46 条第 3 項）、火力発電所の建設時と同様に住民は意見書を提出することができる（環境影響評価法第 8 条第 1 項）。このようにして、火力発電所における水素混焼事業は一見手続き的正义が備わっているため、地域の社会的受容性を得やすいように見える。しかし、水素エネルギー事業について地域住民の理解を正しく得るためには、もう一步慎重に水素エネルギーの導入による短期的な効果と、長期的な効果の二点を意識して説明を行うことが必要だと考える。

短期的な効果とは、水素エネルギーを導入し次第に達成できる CO2 削減量のことである。長期的な効果とは、水素エネルギーの大量消費を実行することで、やがて規模の経済が達成され、水素エネルギーの流通価格の低減が実現して、更に水素エネルギーの消費が盛んになり、環境問題の改善に繋がるという点である。この長期的な効果を説明する際は、現在の技術と水素エネルギーの高コストでは、水素エネルギーを製造・運搬過程で石油燃料に頼らざるを得ず、この工程で CO2 が排出されているという事実も含めて説明を行うことが重要である。この理由の一つ目は、環境価値を謳う水素活用事業として住民に対する説明責任に基づくものである。二つ目は、水素エネルギー

<sup>131</sup> 国土交通省 HP「カーボンニュートラルポート（CNP）の形成について」

<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001390169.pdf> 最終閲覧 2024.1.29

の製造・運搬過程で使用される石油燃料は、水素エネルギーの活用が進み技術の進展やコストの低減が実現すれば、水素燃料に置き換えられるという展望を共有すべきだからである。現在の水素エネルギーはCO<sub>2</sub>の排出を伴うが、水素を使い続ければ、CO<sub>2</sub>フリーの水素が普及することは不可能ではない。この点、例えば原子力発電所内で管理する放射能の環境リスクは、消失させる展望が見えないが、水素エネルギーの抱える環境リスクは将来的には解消する方法もある。水素エネルギーが実現する環境的価値の真価は、将来的に環境リスクを克服し得るため、事業に持続可能性をもたらす点だと考える。

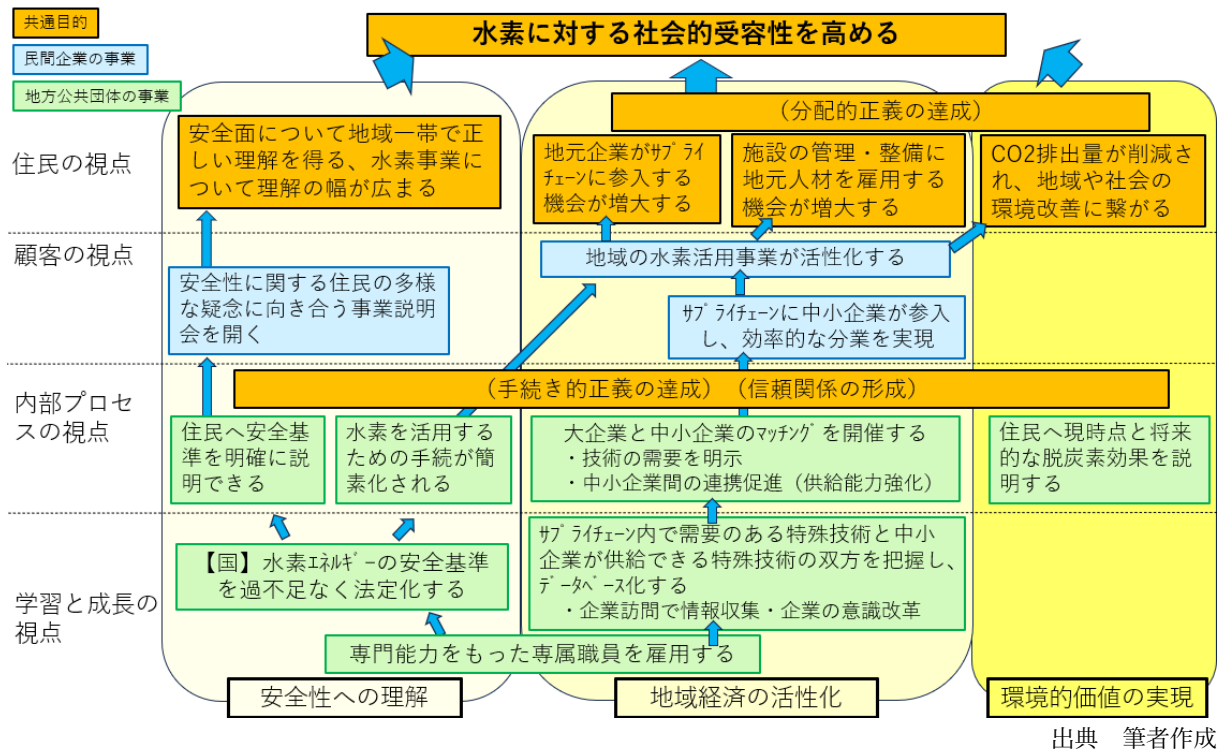
このようにして、水素エネルギーの短期的および長期的な効果を住民に説明することにより、今後の水素事業の進展への受容性を涵養することを目指したい。

#### 5.4.4 社会的受容性と戦略マップと地方公共団体の役割

以上、5.4.1 から 5.4.3 で確認した内容を戦略マップに表すと、図 13 のとおりになる。全てのステークホルダーの共通利益を「水素に対する社会的受容性を高める」と設定し、「社会的受容性」の代表的な論点となる「安全性への理解」、「地域経済の活性化」、「環境的価値の実現」をそれぞれ事業化して、事業の中で社会的受容性を実現するための条件である「手続き的正義」、「分配的正義」、「信頼」を具体化するものと設定した。それぞれの事業は、「学習と成長の視点」、「内部プロセスの視点」、「顧客の視点」、「住民の視点」の視点を追って発展するものとし、視点毎に各ステークホルダーの行うべき取組みを記載している。事業の最も早期の「学習と成長の視点」では、「安全性への理解」および「地域経済の活性化」の事業において、地方公共団体や政府が行うべき各事業の土台固めを記載しており、次段階の「内部プロセスの視点」では、引き続き地方公共団体が主な主体として事業環境の整備に努めるとしている。また、この過程で「手続き的正義の達成」および「信頼関係の形成」がなされるものとする。このような各事業の基礎固めを経て、「顧客の視点」では民間企業が住民に対して水素の安全性に関する説明会を開いたり、中小企業がサプライチェーンへの参入を実現したりすることが可能になり、「地域の水素活用事業が活性化する」と考える。これらの状況を受けて、「住民の視点」では住民による水素の安全性への理解の深化や、地元企業および地元人材にとって経済的な機会の増大、CO<sub>2</sub> 排出量の削減が達成されると考える。

図 13 を見ると、共通価値の「社会的受容性」を実現するための地方公共団体の役割は「学習と成長の視点」および「内部プロセスの視点」に連なり、住民や企業といったステークホルダーの視点に進む前に事業の環境整備を適切かつ丁寧に行うことが求められると考える。

(図 13) 地域の受容性を高めるための戦略マップ



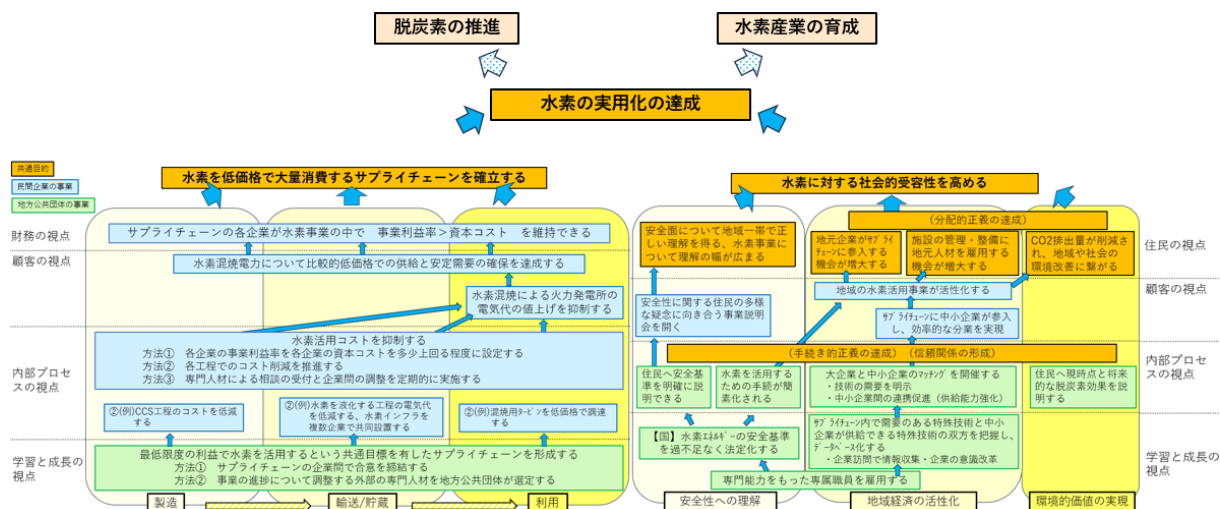
### 5.5 小結・水素エネルギーを実用化するための地方公共団体の役割の確認

本章をとおして、水素エネルギーを実用化するための具体的なサプライチェーンのモデルを考察した。水素エネルギーを実用化するための課題は水素活用コストが高いこと、および水素の社会的受容性が低いことであるとして、これらに対処するために、サプライチェーン全体で資本コストを多少上回る程度の事業利益率で事業を運営すること、および安全性への理解、地域経済の活性化、環境的価値の実現を事業化して実現することを提言した。

この中で地方公共団体の役割を改めて振り返ると、戦略マップ上は図 14 内の緑色で囲った内容であり、事業の早期段階の「学習と成長の視点」や「内部プロセスの視点」で主要な役割を占め得ることがわかる。その内容を精査すると、事業をうまく展開するために組織間の調整を行うことが主に求められる。更に 4.3 および 5.3.3 で考察したとおり、地方公共団体は民間企業と協力体制をとりながら事業の推進を担うという役割がある。事業を推進するための手段としての戦略マップを本章で挙げたが、戦略マップはステークホルダー間に共通価値へのロードマップを提示して組織間の連携と事業の推進力を担保し得る手段であるのみならず、図示化によりサプライチェーンに参入する企業にとっては事業から得られる長期的な価値を正しく捉えることが可能となり、また地方公共団体にとっても KPI 等の非財務指標を併用して市民や有権者への説明責任の助けになる (Robert S. Kaplan and David McMillan, 2021) ため、ステークホルダー間の調整に適した手段だと考える。



(図 14) 水素を実用化するための戦略マップの全体図



出典 筆者作成

次章では、水素活用事業を立ち上げるために看過してはならない要素として企業の主体性に着眼し、企業の主体性の形成のために地方公共団体がどのように取組み得るのかについて概要を述べて、これを今後の課題として提示する。

## 第6章 まとめと今後の課題

本稿を通して、第1章から第3章では水素エネルギーを実用化することの意義を述べ、第4章の4.1.1では水素を実用化するための課題として、第一に水素活用コストが高いこと、4.1.2に水素の安全性について正しい理解がされていないことを挙げた。この解決策として、水素を実用化へ踏み出すための条件を4.2で整理した。条件の一つ目は、水素活用コストを下げるために、水素のサプライチェーンの全工程で、参入企業が、資本コストを多少上回る程度の事業利益率で事業を運営することを挙げた。条件の二つ目は、水素事業に対する社会的受容性を高めるために、次の4点を挙げた。第一に、事業の意思決定プロセスに住民が参加する機会がある（手続き的正義①）こと、第二に、水素事業の安全性が住民に充分理解されるように、水素の性質に基づく適正な安全基準を法定する（手続き的正義②）こと、第三に、地元の中小企業が水素のサプライチェーンに参画し地域経済を発展させる機会がある（分配的正義）こと、第四に、地域社会の住民と、事業者など地域外の部外者との信頼関係を形成できる（信頼）ことである。4.3では、これらの条件を実行する中心となる主体として、地方公共団体と民間企業双方の協力体制を持ちながら、地方公共団体が推進役になることが適当であることを示した。第5章では、5.1で水素を導入するための条件を具体的に考察するために、火力発電所における水素の混焼事業をモデルとして設定し、5.2および5.3で、水素のサプライチェーンの事業に対して水素活用コストの低減を求める施策について述べ、5.4で、社会的受容性を高めるための施策について述べた。いずれの施策でも、地方公共団体の役割として求められるのは組織間の調整役であり、この手段として戦略マップを活用することについて言及した。

実際に利害関係の異なる組織間を調整することは容易ではないため、本章では、調整役を担う際に想定される課題と解決策について簡潔に触れ、今後の更なる検討課題を示すことで、水素エネルギー導入事業の実現に貢献したい。

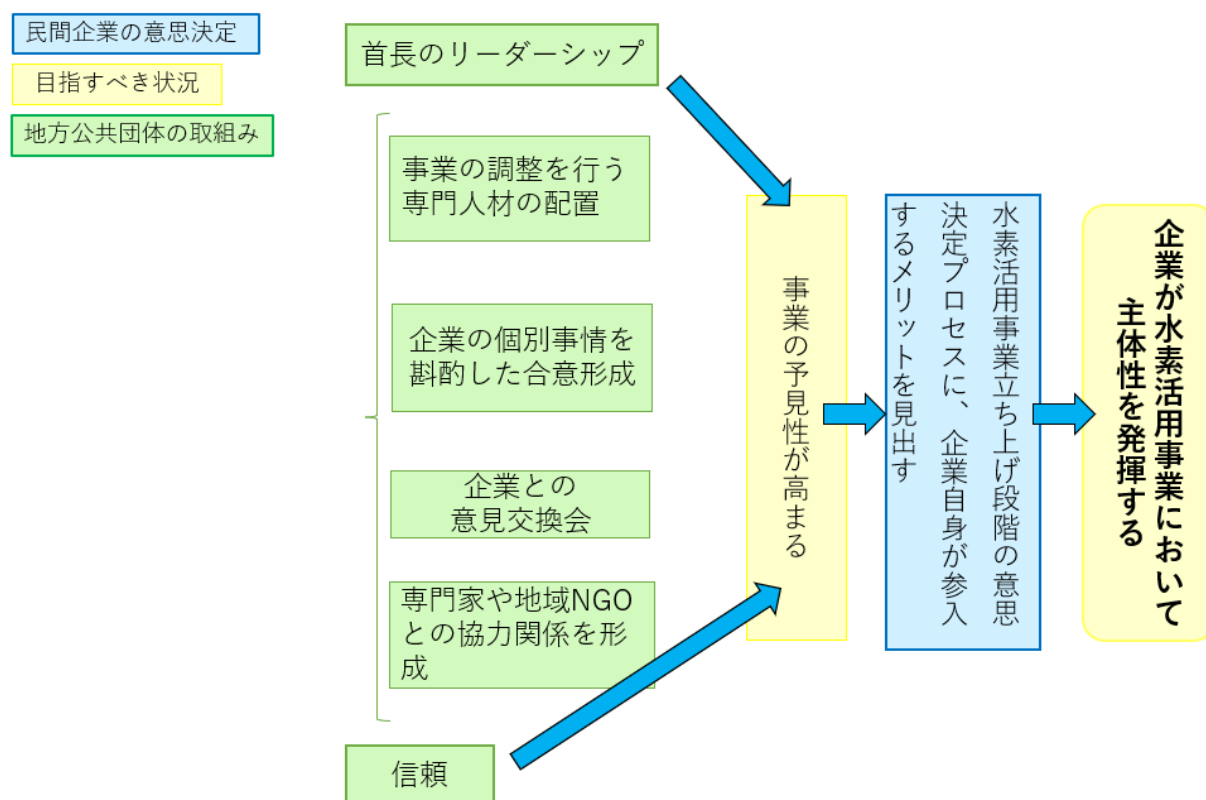
水素事業の推進を目指して地方公共団体が組織間の調整を行うに際し、想定される根本的な課題は、企業が主体性を獲得できるか否かだと考える。例えば、東京都がキャップ&トレード制度の実現に向けて準備を重ねる間、産業界からの反対や低炭素社会と開発を両立する制度設計等、幾多の困難な調整を重ねて事業化を達成できたのは、当時の石原都知事の強力な政治的リーダーシップがあったからだ、キャップ&トレード事業の担当部長であった元東京都環境局長の大野輝之氏は、著作「自治体のエネルギー戦略—アメリカと東京」（大野 2013）の中で振り返る。事業の実現に向けて首長が揺るぎないリーダーシップを発揮すれば、個々の職員が働きやすくなるという図式は想像に難くない。

しかし、キャップ&トレード制度は、強力なリーダーシップだけで実現できるほど単純なものではない。大野氏は「地域の経済界を含む、都市の多くの主体が共同で取り組むことによって、初めて可能になった」と説明を続け、産業界の協力を得るに至った過程に、東京都の環境行政に蓄積されたノウハウの活用や、ステークホルダーの「誤謬を正す政策論争の徹底」、事業者の協力姿勢を引き出すような「地域に適した実効性のある仕組みの構築」、東京都に専門知の助力を与える「知と信頼のネットワークの形成」、東京都環境局の「スタッフ集団の力の蓄積」の要素があったと分析している（大野 2013）。

いかに地方公共団体が一枚岩となって事業の実現を目指しあらゆる調整を行おうとも、水素を扱う技術を有し水素の製造や流通を行うのは民間企業の力である。民間企業が主体性をもって事業に参入しなければ、地方公共団体の努力は機能しないだろう。このように、地方公共団体が調整能力を発揮するためには、民間企業が主体性を持って事業に参加するような環境づくりを行うことが水素活用事業を立ち上げる際の課題になると言える。この課題は図 11、図 13 および図 14 でまとめた戦略マップでいうと「学習と成長の視点」の前段階に現れる。これを踏まえて、図 15 のとおり、「企業の主体性を形成」することを右側の最終目標として設定し、そこに至る過程として地方公共団体による環境づくりのための諸事業を左側の項目に挙げたロードマップを作製した。

最終目標の、企業が主体的に事業に参画するようになる環境とは、企業が事業の成長の予見性を認め早期に意思決定プロセスに参画することのメリットを見出すような状況が整っていることだと考える。事業の実現可能性にとって重要な要因として、東京都の前出の事例から抽出すると、事業の実行性を担保する「首長のリーダーシップ」とステークホルダーの協力姿勢を引き出す「信頼」の二つが必須だと考え、これらに基づく諸事業の例を左側の緑色の項目挙げた。この考察の過程で筆者が注意したことは、東京都の大野氏の意見を参考に、首長のリーダーシップのような属人的な要素を頼みにするのではなく、連携スキームのような、自動化するしくみとそのための前提を諸要素としたことである。なお、図 15 は地方公共団体による環境づくりに着目したロードマップであり、企業側にも自身の成長戦略があることを付言する。

(図 15) 企業の主体性を形成するための地方公共団体による環境づくり



出典 筆者作成

最後に、今後更に検討すべき課題を述べる。図 15 の地方公共団体の取組みは考察を具体化する

ために筆者が考えた例であり、実際地方公共団体がどのように取組めば「首長のリーダーシップ」および「（地方公共団体と企業との）信頼」が形成されて「事業の予見性が高まる」のかは、一方から決めることはできない。例えば「信頼」の形成についても、脱炭素化に取り組む官民連携の協議会を運営する地方公共団体の担当者によると、企業へのヒアリングを開始した当初、企業側は慎重に言葉を選んで角の立たない情報提供をする姿勢であったが、再度の対面ヒアリング実施や協議会の開催を重ね、計画概要をとりまとめる段階で、ようやく企業側担当者との隔たりが和らいだことを実感したようだ。企業側の背景を知ると、企業間において脱炭素化の取組みスピードが異なること、脱炭素化の取組みが本社主導であり現場事業所では漠然としていたこと、地方公共団体に脱炭素化の検討成果を進行管理されると企業活動に不利益が生じる恐れ等があったとのことである。同協議会の構成企業が次第に地方公共団体への距離を縮め自社取組み情報の提供や国の支援についての問い合わせを行うようになった背景には、全国レベルでの脱炭素化に向けた取組みや情報発信の活発化や、脱炭素化社会に向けた官と民の意思疎通の積み重ねが効果を発揮するようになったとのことである。

このように、企業の視点に立つと図 15 には記載されていない要因も多々現れる。水素活用事業を実現するために企業が主体性を発揮するような環境を正しくつくるためには、地方公共団体は企業の意思決定の基準を考慮すること、およびこれを公共政策の中に落とし込む際に公正さとの均衡感覚を維持することが求められると考える。これらを探究することが、社会全体で水素活用事業を推進するに際して地方公共団体が向き合うべき今後の課題の一つではないかと考える。

## 謝辞

本稿の執筆のために御助力くださったインタビュー先の皆様、一学生の研究に真摯に向き合ってくださいありがとうございました。行政や企業の現場から脱炭素化社会ないし水素社会の実現を目指す皆様の情熱に、執筆中何度も励まされました。

御指導くださった大西淳也先生、有馬純先生、山口健介先生、根気強く前向きな御指南を賜りありがとうございました。お人柄も含めて先生方からは限らない学びをいただきました。成長してお会いできるよう頑張っていきます。

最後に、一緒に研鑽してくれた学友達、学部生時代から応援してくださる先生方、泰山のようにいつも前を向かせてくれる家族に感謝します。



## 引用文献／参考文献

### ■ 引用論文・著書

- 天尾 豊 (2019)『水素の基本物性』(水素エネルギー協会 編 (2019)『水素エネルギーの事典』第4章)朝倉書店 p.57
- 磯崎 初仁 (2014)『環境政策と自治体』および『産業政策と地域振興』(磯崎 初仁・金井 利之・伊藤 正次 共著 (2014)『ホーンブック 地方自治 [第3版]』第11章および第12章)北樹出版 pp.128-149
- 伊藤 正次 (2014)『都道府県と市区町村』(磯崎 初仁・金井 利之・伊藤 正次 共著 (2014)『ホーンブック 地方自治 [第3版]』第4章)北樹出版 pp.43-55
- 宇賀 克也 (2022)『地方自治概説 [第9版]』有斐閣 pp.34-76
- 江口 肇 (2001)『本格化するヨーロッパの洋上風力発電』  
[https://www.phaj.or.jp/distribution/lib/world\\_watching/Europe/Europe007.pdf](https://www.phaj.or.jp/distribution/lib/world_watching/Europe/Europe007.pdf) 最終閲覧 2023.12.8
- 大野 輝之 (2013)『自治体のエネルギー戦略—アメリカと東京』岩波書店 pp.120-pp.228
- 金井 利之 (2014)『財政運営と財政改革』および『職員の職務と人事管理』(磯崎 初仁・金井 利之・伊藤 正次 共著 (2014)『ホーンブック 地方自治 [第3版]』第17章および第18章)北樹出版 pp.204-213 および pp.214-219
- 蔵田 伸雄 (2022)『風力発電に伴うリスクの哲学と倫理』(丸山 康司・西城戸 誠 編著 (2022)『どうすればエネルギー転換はうまくいくのか』第4章)新泉社 pp.102-116
- 技術情報協会 (2022)『水素の製造、輸送・貯蔵技術と材料開発事例集』技術情報協会 p.6, 7, 227
- 澁谷 潤 (2021)『脱炭素社会の実現に向けた地方公共団体の取組について』(小端 拓郎 編著 (2021)『都市の脱炭素化』第4章)大河出版 p.213, 214
- 鈴木 達治郎・城山 英明・松本 三和夫 (2007)『問題意識・研究の視点・研究のアプローチ』(鈴木 達治郎・城山 英明・松本 三和夫 共編著 (2007)『エネルギー技術の社会意思決定』第1章、第10章)日本評論社 pp.3-19, pp.259-272
- 高岡 武司 (1973)『国連人間環境会議とその後の国際的動向』  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jriet1972/2/4/2\\_4\\_221/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jriet1972/2/4/2_4_221/_pdf/-char/ja) 最終閲覧 2023.12.8
- 高木 英行 (2019)『水素と安全・社会受容性』(水素エネルギー協会 編 (2019)『水素エネルギーの事典』第6章)朝倉書店 p.152, p.161, p.165
- 高山 丈二 (2011)『国際標準化の現状と我が国の課題』レファレンス平成 23 年 6 月号  
[https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_3050346\\_po\\_072502.pdf?contentNo=1](https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_3050346_po_072502.pdf?contentNo=1) 最終閲覧 2023.12.8
- 田中 良弘 (2022)『原子力利用に関する住民参加の現状と課題』(田中 良弘 編著 (2022)『原子力政策と住民参加 日本の経験と東アジアからの示唆』第1部第1章)第一法規 p.6
- 中村 吉明 (2019)『川崎モデル』とその波及による 新しい地域産業政策』  
<https://jasbs.jp/pdf/39-10nakamura.pdf> 最終閲覧 2023.12.8
- 西尾 隆 (2016)『現代の行政と公共政策』NHK 出版 p.40, 41
- 松井 美樹 (2021)『サプライチェーン統合』(松井 美樹 編著 (2021)『サプライチェーン・マネジメント』第7章) (一財)放送大学教育振興会 pp.123-138
- 丸山 康司・西城戸 誠 (2022)『エネルギー転換をうまく進めるために 大きな物語を飼い慣らす』(丸山 康司・西城戸 誠 編著 (2022)『どうすればエネルギー転換はうまくいくのか』終章)新泉社 p.365
- 美谷 薫・梶田 真「ローカル・ガバナンスをめぐる政策的展開 市町村行政の『守備範囲』と『公共』の担い手を中心に」、佐藤 正志・前田洋介編『ローカル・ガバナンスと地域』ナカニシヤ出版, 2017 年, pp.22-28
- 宮森 征司 (2022)『訴訟と住民参加』(田中 良弘 編著 (2022)『原子力政策と住民参加 日本の経験と東アジアからの示唆』第3部第1章)第一法規 pp.163-194
- 山口 健介・田嶋 智・城山 秀明 (2023)『再エネ海域利用法・促進区域指定にあたっての地域住民との合意形成 秋田県男鹿市・潟上市沖の事例調査』東京大学未来ビジョン研究センターHP 掲載  
<https://ifi.u-tokyo.ac.jp/news/15196/> 最終閲覧 2023.12.8
- 山口 健介・田嶋 智・城山 秀明 (2023)『秋田における洋上風力発電事業導入にみられる移行過程』東京大学未来ビジョン研究センターHP 掲載  
<https://ifi.u-tokyo.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/03/WP018.pdf> 最終閲覧 2023.12.8
- 湯浅 孝康 (2021)『政策と行政の管理—評価と責任—』晃洋書房 pp.58-65, pp.111-112
- Joseph J. Romm 著／本間琢也・西村晃尚 共訳櫻井 通晴ほか監訳 (2005)『水素は石油に代わるか』(原著: Joseph J. Romm (2004)『The hype about hydrogen: fact and fiction in the race to save the climate』)
- Wüstenhagen, Rolf, Maarten Wolsink and Mary Jean Bürer [2007], "Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept," Energy Policy, 35: 2684-2686

## ■ 参考論文・著書

- 朝岡 大輔・砂川 伸幸・岡田 紀子 (2022) 『ゼミナール コーポレートファイナンス』 日本経済新聞出版
- 大西 淳也 編著 (2020) 『行政管理会計の基礎と実践』 同文館出版
- 小端 拓郎 編著 (2021) 『都市の脱炭素化』 大河出版
- 城山 英明・鈴木 達治郎・角和 昌浩 編著 (2009) 『日本の未来社会 エネルギー・環境と技術・政策』 東信堂
- 水素エネルギー協会 (2019) 『水素エネルギーの事典』 朝倉書店
- 西宮 伸幸 (2021) 『[カーボンニュートラル]水素社会入門』 KAWADE 夢新書
- ロバート.S.キャプラン・デビッド.P.ノートン著／櫻井 通晴ほか監訳 (2014) 『戦略マップ [復刻版] バランスト・スコアカードによる戦略策定・実行フレームワーク』 (原著: Robert S. Kaplan & David P. Norton (2004) 『STRATEGY MAPS』)
- Joseph J. Romm 著／本間琢也・西村晃尚 共訳櫻井 通晴ほか監訳 (2005) 『水素は石油に代わるか』 (原著: Joseph J. Romm (2004) 『The hype about hydrogen: fact and fiction in the race to save the climate』)
- Ronald K. Ireland 著／樋地正浩 監訳 (2008) 『企業間コラボレーション戦略—どのように協調的サプライチェーンを実現するか—』 (原著: Ronald K. Ireland with Colleen Crum (2005) 『How to Implement CPFR and Other Best Collaborative Practices』)
- Robert S. Kaplan and David McMillan [2021], “Reimagining the Balanced Scorecard for the ESG Era

## ■ 引用 Web サイト

- (一社)次世代自動車振興センターHP「充電スポット／水素ステーション」  
[https://www.cev-pc.or.jp/lp\\_clean/spot/](https://www.cev-pc.or.jp/lp_clean/spot/) 最終閲覧 2024.1.24
- (一財)石油エネルギー技術センターHP「水素スタンドに関する自主基準の制定・改正について」  
<https://www.pecj.or.jp/committee/> 最終閲覧 2024.1.22
- (一財)石油エネルギー技術センターHP「水素ステーションに係る規制の見直しと業界自主基準化」  
<https://www.esisyab.iis.u-tokyo.ac.jp/symposium/20210527/20210527-06.pdf> 最終閲覧 2024.1.22
- (一財)日本原子力文化財団 HP「7章 原子力の利用に関する法令 原子力施設と法律」  
<https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-07-01.html> 最終閲覧 2024.1.23
- (一社)日本経済団体連合会 HP「GX にむけて」  
[https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/043\\_honbun.pdf](https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/043_honbun.pdf) 最終閲覧 2023.8.8
- (一社)日本経済団体連合会「経団連カーボンニュートラル行動計画」  
[https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/095\\_honbun.pdf](https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/095_honbun.pdf) 最終閲覧 2023.8.8
- 外務省 HP「国連持続可能な開発会議 (リオ+20)」  
[https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/rio\\_p20/gaiyo.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/rio_p20/gaiyo.html) 最終閲覧 2023.12.8
- 川崎市 HP「大企業と中小企業の知的財産マッチング支援」  
<https://www.city.kawasaki.jp/280/page/0000017805.html> 最終閲覧 2024.1.29
- 川崎重工(株)HP「連結損益計算書」  
<https://www.khi.co.jp/ir/financial/pl.html> 最終閲覧 2025.2.25
- 川崎重工(株)HP「連結財政状態計算書」  
<https://www.khi.co.jp/ir/financial/bs.html> 最終閲覧 2024.2.25
- 環境省 HP「気候変動に関する国際連合枠組条約京都議定書 (和文)」  
<https://www.env.go.jp/earth/cop3/kaigi/kyoto01.html> 最終閲覧 2023.12.8
- 環境省 HP「燃料別の二酸化炭素排出量の例」  
<https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf> 最終閲覧 2023.8.8
- 環境省 HP「地方公共団体の皆様へ」  
[https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka\\_saisei/lowcarbon-h2-sc/company/local.html](https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/company/local.html) 最終閲覧 2023.8.8
- 環境省 HP「エネルギー転換部門における現在までの排出量及び関連データについて」  
[https://www.env.go.jp/council/06earth/y060-16/mat\\_04\\_2.pdf](https://www.env.go.jp/council/06earth/y060-16/mat_04_2.pdf) 最終閲覧 2023.12.8
- 環境省 HP「2020 年度温室効果ガス排出量 (確報値) 概要」  
<https://www.env.go.jp/content/900445424.pdf> 最終閲覧 2023.12.8
- 関西電力(株)HP「ゼロカーボンロードマップ」  
[https://www.kepcoco.jp/sustainability/environment/zerocarbon/pdf/zerocarbon\\_roadmap\\_01.pdf](https://www.kepcoco.jp/sustainability/environment/zerocarbon/pdf/zerocarbon_roadmap_01.pdf) 最終閲覧 2023.8.8
- 危険物保安技術協会 HP「危険物関係用語の解説」 Safety & Tomorrow No.135. 2011, 1, p.63  
<https://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/guide/magazine/glossary/15.pdf> 最終閲覧 2024.1.22
- 気象庁 HP「夏 (6～8月の天候)」  
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2309/01b/tenko230608.html> 最終閲覧 2023.12.8

北九州市 HP「グリーンエネルギーポータルひびき事業」

<https://www.city.kitakyushu.lg.jp/kou-ku/30300033.html> 最終閲覧 2024.1.24

経産省資源エネルギー庁 HP「GX 実現に向けた基本方針 ～今後 10 年を見据えたロードマップ～」

[https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf) 最終閲覧 2023.12.7

経産省資源エネルギー庁 HP「第 6 次エネルギー基本計画」

<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf> 最終閲覧 2023.7.26

経産省資源エネルギー庁 HP「エネルギー白書 2021」p.29

[https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/1\\_2.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/1_2.pdf) 最終閲覧 2023.8.8

経産省資源エネルギー庁 HP「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議『水素基本戦略』」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_2.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_2.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

経産省資源エネルギー庁 HP「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/pdf/cost\\_wg\\_20210908\\_01.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_20210908_01.pdf) 最終閲覧 2024.2.25

経産省資源エネルギー庁 HP「アンモニアが“燃料”になる?! (前編)～身近だけど実は知らないアンモニアの利用先」

[https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia\\_01.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_01.html) 最終閲覧 2024.2.25

経産省資源エネルギー庁 HP「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理(案)」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/025\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/025_01_00.pdf) 最終閲覧 2024.2.25

経産省資源エネルギー庁 HP「『水素エネルギー』は何かどのようにすごいのか?」

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/suiso.html> 最終閲覧 2023.12.8

経産省資源エネルギー庁 HP「水素を取り巻く国内外情勢と水素政策の現状について」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/energy\\_structure/pdf/014\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/014_04_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

経産省資源エネルギー庁 HP「令和 3 年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業(電力業界の経営分析及び中長期の資金調達のある方に関する調査報告事業)報告書」

[https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2021FY/000786.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000786.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

経産省資源エネルギー庁 HP「モビリティのカーボンニュートラル実現に向けた水素燃料電池車の普及について」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/mobility\\_hydrogen/pdf/001\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mobility_hydrogen/pdf/001_04_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

経産省資源エネルギー庁 HP「水素基本戦略の個別論点と水素産業戦略について」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/031\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/031_03_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

経産省資源エネルギー庁 HP「水素・アンモニア発電コストおよび CCS 付き火力発電コスト試算」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/ccs\\_choki\\_roadmap/pdf/002\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/pdf/002_03_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

経産省資源エネルギー庁 HP「低炭素水素等の供給・利用の促進に向けて」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/011\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/011_03_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.7

経産省資源エネルギー庁 HP「令和 3 年度福島新エネ社会構想関係予算について」

[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/fukushima\\_vision/budget/budget\\_2021.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/fukushima_vision/budget/budget_2021.html) 最終閲覧 2024.1.24

経産省資源エネルギー庁 HP「令和 3 年度未揮発油販売業者数及び給油所数を取りまとめました」

[https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/distribution/hinnkakuhou/220729a.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/hinnkakuhou/220729a.html) 最終閲覧 2024.1.24

経産省資源エネルギー庁 HP「燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金について」

[https://www.meti.go.jp/information\\_2/publicoffer/review2021/kokai/overview6.pdf](https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2021/kokai/overview6.pdf) 最終閲覧 2024.1.24

経産省 HP「水素・アンモニアを燃料として使用する火力発電に関する電気事業法施行規則等の一部改正について」

[https://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2022/12/20221214-1.html](https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2022/12/20221214-1.html) 最終閲覧 2024.1.29

経産省 HP「火力発電に係る安全規制の最近の動向について」

<https://www.safety-chugoku.meti.go.jp/denki/hatsuden/karyoku/2.honsho.pdf> 最終閲覧 2024.1.29

公益財団法人 東京都環境公社東京都環境科学研究所 HP「水素蓄電の意義」

<https://www.tokyokankyo.jp/kankyoken/profile/organization/field09/significance> 最終閲覧 2023.12.8

公益社団法人 日本ガスタービン学会 HP「ガスタービンの概要」

<https://www.gtsj.or.jp/gasturbine/index.html> 最終閲覧 2024.1.25

神戸新聞 HP「世界初の『液化水素運搬船』実証成功、神戸で記念式典『カーボンニュートラル社会へ大きな一歩』」

<https://www.kobe-np.co.jp/news/sougou/202204/0015206954.shtml> 最終閲覧 2023.12.8

国土交通省 HP「国内外の洋上風力発電の将来展望～脱炭素の最有力手段～」

<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001464918.pdf> 最終閲覧 2023.12.8

国土交通省 HP「カーボンニュートラルレポート(CNP)の形成について」

<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001390169.pdf> 最終閲覧 2024.1.29

再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 HP「水素基本戦略」(2017年度版)  
[https://www.cas.go.jp/seisaku/saisei\\_energy/pdf/hydrogen\\_basic\\_strategy.pdf](https://www.cas.go.jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

首相官邸 HP「国際標準に関する基礎概念の整理」  
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/tyousakai/cycle/dai6/6sankou1.pdf> 最終閲覧 2023.12.7

新電力ネット HP「全国の発電実績のランキング」  
<https://pps-net.org/ppscompany?ppskey=pps202> 最終閲覧 2023.8.8

新電力ネット HP「年々と減少していくガソリンスタンド、EV充電器や水素ステーションのメリットとは」  
<https://pps-net.org/column/61172> 最終閲覧 2024.1.24

水素バリューチェーン推進協議会 HP  
[https://www.japanh2association.jp/pages/5769365/page\\_202202031627](https://www.japanh2association.jp/pages/5769365/page_202202031627) 最終閲覧 2023.12.8

水素バリューチェーン推進協議会 HP「水素バリューチェーン構築に向けた保安規制・制度の課題と提案」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/safety\\_security/suiso\\_hoan/pdf/002\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/suiso_hoan/pdf/002_05_00.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

東京都環境局 HP「環境価値」とは  
[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/renewable\\_energy/solar\\_energy/value\\_environmental.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/renewable_energy/solar_energy/value_environmental.html) 最終閲覧 2023.12.8

東京都環境局 HP「第5章 発電所の建設費(100万kW)」  
[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi\\_energy\\_suishin/index.files/5\\_hatudennsyo\\_kensetui.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi_energy_suishin/index.files/5_hatudennsyo_kensetui.pdf)  
最終閲覧 2024.1.25

東京都環境局 HP「第6章 発電所の維持管理費(100万kW)」  
[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi\\_energy\\_suishin/index.files/6\\_hatudennsyo\\_izih.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi_energy_suishin/index.files/6_hatudennsyo_izih.pdf)  
最終閲覧 2024.1.25

トヨタ自動車(株)HP「トヨタ自動車75年史.第3部第8節第2項電気自動車、燃料電池車の開発」  
[https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/text/leaping\\_forward\\_as\\_a\\_global\\_corporation/chapter4/section8/item2.html](https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/text/leaping_forward_as_a_global_corporation/chapter4/section8/item2.html) 最終閲覧 2023.8.8

デンソー福島(株)HP「エネルギーの地産地消モデルを福島から世界へ」  
[https://www.denso.com/jp/ja/driven-base/project/fukushima\\_factory/](https://www.denso.com/jp/ja/driven-base/project/fukushima_factory/) 最終閲覧 2023.12.8

浪江町 HP「“世界最大級”の水素製造拠点が浪江町に誕生」  
<https://www.town.namie.fukushima.jp/site/understand-namie/24199.html> 最終閲覧 2024.1.2

日本経済新聞 HP「β(ベータ)値高位ランキング」  
<https://www.nikkei.com/markets/ranking/page/?bd=betahigh&Gcode=25&hm=1> 最終閲覧 2024.2.26

パナソニック(株)「燃料電池開発のあゆみ」  
<https://panasonic.biz/appliance/FC/enefarm/history.html> 最終閲覧 2024.3.4

パナソニックエナジー(株)「電池事業の歴史」  
<https://www.panasonic.com/jp/energy/business-details/history.html> 最終閲覧 2024.3.4

福島県 HP「福島での未来のまちづくりに向けた水素の社会実装を開始」  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/523095.pdf> 最終閲覧 2023.8.8

北海道 HP「家畜ふん尿由来水素を活用した水素サプライチェーン実証事業」  
[https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/1/1/7/0/8/6/\\_/demonstration\\_02\\_20190208.pdf](https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/1/1/7/0/8/6/_/demonstration_02_20190208.pdf) 最終閲覧 2023.12.8

三菱重工(株)HP「水素ガスタービン30%混焼技術が完成 CO2フリーへの道」  
[https://power.mhi.com/jp/special/hydrogen/article\\_1](https://power.mhi.com/jp/special/hydrogen/article_1) 最終閲覧 2024.1.24

三菱重工(株)HP「水素ガスタービンへの取り組み状況」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/029\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/029_05_00.pdf) 最終閲覧 2024.1.25

COPP HP “COP26 Facts and Figures”  
<https://unfccc.int/news/cop26-facts-and-figures> 最終閲覧 2023.12.8

IEC HP “Standards development”  
<https://www.iec.ch/standards-development> 最終閲覧 2023.12.7

IPCC HP “Special report “Global Warming of 1.5°C”.2018  
<https://www.ipcc.ch/sr15/> 最終閲覧 2023.8.8

ISO HP “About us”  
<https://www.iso.org/about-us.html> 最終閲覧 2023.12.7

ITC-T HP “Setting the standard”  
<https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-t-setting-the-standard.aspx> 最終閲覧 2023.12.7

JERA HP 「ゼロエミッション 2050」

<https://www.jera.co.jp/corporate/about/zeroemission> 最終閲覧 2023.8.8

JERAHP 「火力発電の種類と仕組み」

<https://www.jera.co.jp/corporate/business/thermal-power/type> 最終閲覧 2024.1.25

NEDO HP 「水素社会構築技術開発事業／総合調査研究／水素に対する社会受容性向上に向けた調査」

<https://www.nedo.go.jp/content/100903959.pdf> 最終閲覧 2023.12.7

TEPCO HP 「福島第一原子力発電所 1～3 号機の事故の経過の概要」

[https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2\\_1-j.html](https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2_1-j.html) 最終閲覧 2024.1.19

United Nations HP ” Secretary-General's press conference on climate”

<https://www.un.org/sg/en/content/sg/press-encounter/2023-07-27/secretary-generals-press-conference-climate>

最終閲覧 2023.12.8

United Nations HP ”What are the Sustainable Development Goals?”

<https://www.undp.org/sustainable-development-goals> 最終閲覧 2023.12.8

UNEP HP ” The ocean is hotter than ever. Here’s why.”

<https://www.unep.org/news-and-stories/story/ocean-hotter-ever-heres-why> 最終閲覧 2023.12.8