

# 都市エネルギー分野でのグリーン水素利用の取り組み紹介

島 潔

株式会社大林組

〒108-8502 東京都港区港南2-15-2

## Introduction of initiatives for using green hydrogen in the field of urban energy

Kiyoshi Shima

Obayashi Corporation

2-15-2 Konan, Minato-ku, Tokyo

Abstract: Obayashi has been working on various demonstrations of hydrogen so that new ideas can be used to create new values. In this report that the main hydrogen-related initiatives that we have been involved in so far.

Keywords: green hydrogen, supply chain, energy management system, hydrogen transport system, geothermal power generation

### 1. はじめに

低い自給率・化石燃料依存というエネルギーシステムの課題を抱えてきた日本が、原子力発電の稼働率低下に直面したことで、多様なエネルギー源を用いて電源を構成してゆくことが喫緊の課題となった。水素エネルギーもその一つである。再生可能エネルギーと親和性の高い水素は、解決すべき技術的・経済的課題は多い。しかしながら、有限なエネルギー源を代替する媒体として、有効利用のための貯蔵・輸送技術を確認してゆく必要がある。

大林組では、新しいアイデアから社会的に意義のある新たな価値を創造できるよう、水素に関するさまざまな研究や社会実証に取り組んできた。本稿では、これまでに弊社が関わってきた水素に関する主な取り組みについて紹介する。

### 2. 取り組み概要

図1に水素を利用したエネルギーグリッドのイメージを示す。再エネ電力は電力として利用しつつ、一部を水素に変え、貯蔵や搬送媒体として利用することで、再エネ電源の導入拡大や電化が難しい分野の脱炭素化に利用するイメージである。

当社が水素に取り組むにあたっては、主に、「水素の製造→搬送→利用までの水素サプライチェーン（図2）を最適化するためのマネジメント技術の研究開発や社会実証」に取り組んでいる。建設工事の設計施工一貫方式で培ってきたプロダクト・プロセスマネジメント能力を活かし、水素の製造→搬送→利用までの水素チェーンを最適化するためのマネジメントに、当社は最も貢献できると考えているからである。マネジメントを通して、都市のエネルギーとして水素を使うためのEMSや、水素を製造場所から利用先まで効率よく搬送するための水素最適搬送管理システムなど、いわば水素の利活用を促すためのプラットフォーム開発に注力している。プラットフォームを土台として、様々な水素関連技術や製品の需要創出に貢献することで、我が国の水素インフラ構築に貢献してゆきたい。

次項以降、取り組み事例を紹介する

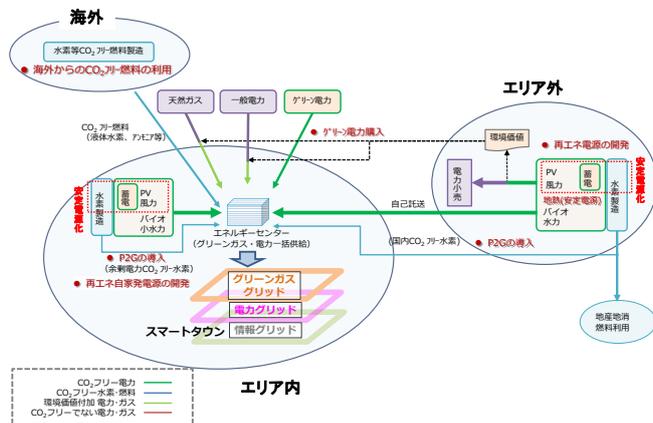


図1. 水素を利用したエネルギーグリッドイメージ

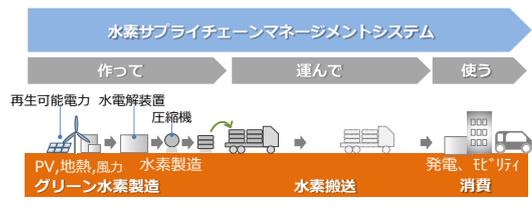


図2. 水素サプライチェーンのイメージ

### 3. 取り組み事例

#### 3.1. 水素コージェネレーションシステム実証

神戸市のポートアイランドにおいて、水素と天然ガスを燃料とする1MW級ガスタービンを有する熱電併給設備（水素コージェネレーションシステム、以後「水素CGS」）を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」「水素」エネルギーの効率的な利用を目指す技術開発・実証事業に2015年より取り組んでいる。（写真1）本事業は国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「課題設定型産業技術開発費助成事業」として取り組まれている「水素社会構築技術開発事業」の中の「大規模水素エネルギー利用技術開発」の1テーマとして実施している。実施体制は、川崎重工が水素専焼／混焼ガスタービンの開発を核とした水素CGSおよび水素貯蔵供給設備の設置を担当し、当社はインフラ整備と統合型エネルギー・マネジメント・システム（EMS）および双方向蒸気融通技術の開発を担当している。また、スマートコミュニティ構築のための実証フィールドおよび実証設備設置のための敷地の提供を神戸市、発電電力の送電を関西電力、水素の供給を岩谷産業、実証設備の運転・保守を関電エネルギーソリューション、蒸気関係要素技術の検証を大阪大学、産官学が協調して取り組んでいる。



写真1. プラント全景（川崎重工提供）

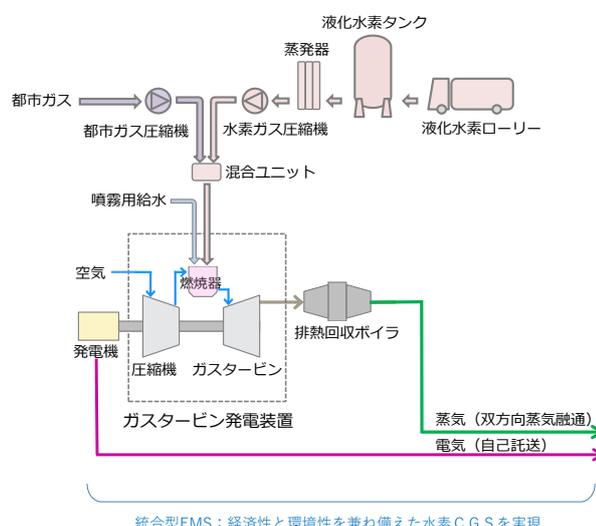


図3. 水素CGSシステム構成図

本設備は、液化水素ローリーから燃焼ガスとしての水素ガスを供給するための「水素貯蔵供給設備」、この水素と都市ガスを燃料とする「水素CGS設備」、熱と電気の需要先の需要予測とCO<sub>2</sub>フリー水素の使用による環境性と経済性を考慮して、最適に発電計画を立案する「統合型EMS」で構成されている。設備で発電した電気は近隣の公共施設に「自己託送制度」を利用し、関西電力の送電網を經由して送電している。また熱については排熱ボイラにより圧力10kg/cm<sup>2</sup>の蒸気を発生させ、実証のために新たに構築した蒸気導管により、近隣の公共施設供給している。図3にシステム構成図を示す。本設備の熱・電の供給能力について、熱は約2,800kW、電気は所内動力等を差し引いた約1,100kWである。

本実証において、電気と熱の利用状況や、水素と都市ガスの市場価格に基づき、プラントの環境性と経済性を時々刻々計算しながら、CGSの最適運転パターンをオペレータに指示できる「統合型EMS」を開発した。「統合型EMS」の主な機能のうち、水素と都市ガス混焼率の最適化イメージを図4に示す。環境性を優先するのであれば水素100%で運転すればよいが、水素単価の高い水素普及時期においては、水素と天然ガスを混焼させて運転する方が経済性に優れた運転となる。図4の場合は、総合性能（環境性＋経済性）が最適（環境性では系統電源のCO<sub>2</sub>排出原単位よりも下回りつつ、15年IRRでハードルレートを上回る範囲）となるのは、水素と都市ガス混焼率を ⇄ の範囲で決定すればよいこととなる。

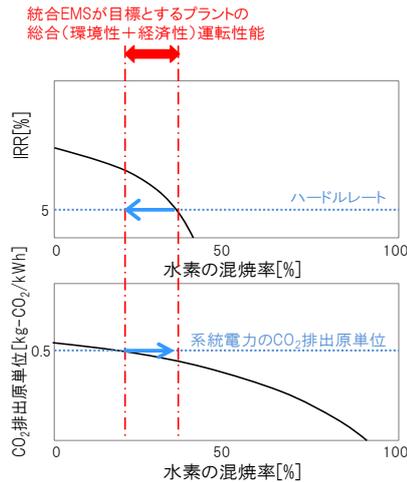


図4. EMSにおける統合性能最適化のイメージ

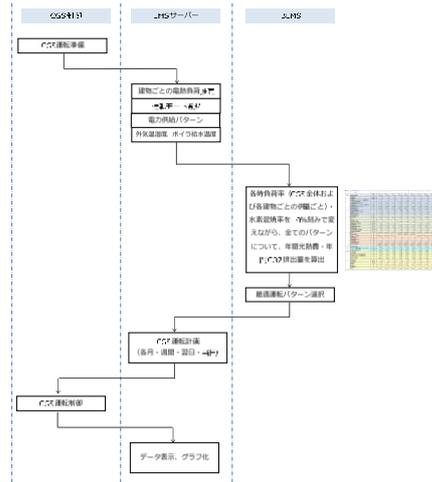


図5. EMSの基本構成

EMSの構成を図5に示す。予測クラウドサーバーより、各建物の各時電力量および熱需要量の予測値を受け取り、タービンの負荷率や水素混焼率などの前提条件を少しずつ変化させながら、全てのパターンについて年間光熱費と年間CO<sub>2</sub>排出量を算出し、最適解を算出する。その結果をサーバーに返し、タービンに運転パターンを指示する構成としている。シミュレーションプログラムは、ユーザーフレンドリーで汎用性のあるEMSとするためエクセルベースで構築し、計算条件・パラメータ・近似式などをユーザー自身で容易に書き換えできるものとした。

実証では、燃料として液化水素を気化させて利用している。中間熱媒体（プロパンガスなど）を用いて、極低温の液化水素から、熱交換部分の着霜を回避しつつ、媒体を凍らせることなく、液化水素が気化する際の冷熱を取り出す技術を研究している。このシステムが実用化されれば、液化水素の冷熱を無駄なく活用でき、水素CGS全体をさらに高効率化できる。さらに、図6に示すような、液化水素を利用することで、電力、温熱、冷熱、水素ガスを利用するシステムも可能となる。

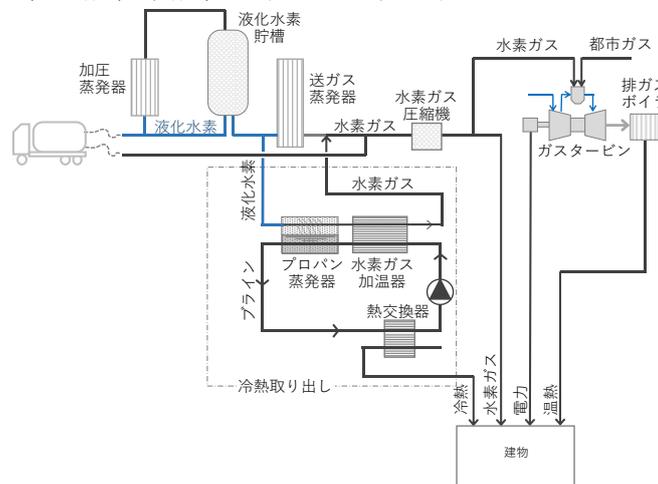


図6. 冷熱取り出しシステム構成図

### 3.2. 地熱発電を利用したグリーン水素サプライチェーン実証

再生可能エネルギーの一つである地熱発電は、安定的な供給が可能な優れたエネルギー源である。しかしながら、発電可能な場所が山間部に位置しているため送電網の容量が不十分であることや、開発期間が長いこと固定価格買取制度（FIT）を適用するための商用電力系統の容量が、開発期間が短い他の再生可能エネルギーによって先に埋まってしまい送電線への接続が困難になるといった課題があることから、事業化が遅れている。そこで、地熱発電の開発と同時にグリーン水素の活用を促進することをめざし、大分県において地熱発電電力で製造した水素を九州各地へ陸送するスキームを実証することとした。写真2にプラントの全景、図7にプラント全体のシステム構成図を示す。再生可能エネルギーを利用する水素製造は、今後大量に導入される太陽光や風力の安価な余剰電力を利用することで、経済性が得られるとともに、系統電力の安定化対策にもなることが期待されている。



写真2. プラント全景

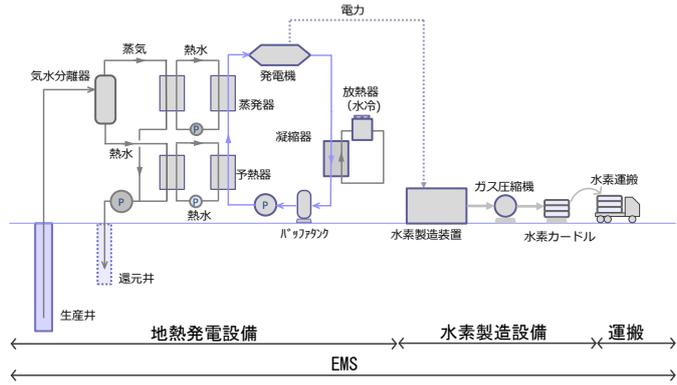


図7. 全体システム構成

しかしながら、余剰電力の価格は、電力市場の制度設計や再生可能エネルギーの補助金制度に依存するため不安定である。また、大量の余剰電力が安価に調達できる状況は、再エネ事業者の設備投資回収が進まないことと同義であるため、安価な余剰電力が市場に大量に出回るのかも不透明である。

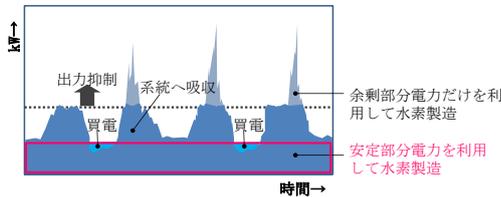


図8. 変動型再生可能エネルギーの発電量

一方、蓄電池の価格が国のロードマップ通りに下がるとすれば、強力なCO2排出制約が制度設計されるなどの要件がないと、系統安定化対策としての水素製造は経済合理性の点では厳しい。そこで、グリーン水素の経済合理性を向上させることを目的として、図8に示すように、24時間安定して発電できる地熱発電電力を利用して水素を安定的に製造し、遠隔地に搬送して利用することとした。

実証では、当社が開発した複数の運転モード（表1）を備えたプラント向けエネルギーマネジメントシステムを利用し、水素製造を最適に行うための検証を行う。

表1. 運転モード

モード	運転概要
<p>水素製造量最大モード</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>年間水素製造量が最も多くなる運転モード（水素製造装置を負荷率および稼働率ともに100%で運転するモード）</li> <li>CertifHyプロジェクトのグリーン水素の定義*に収まる範囲で買電量を調整。</li> <li>水素製造装置は定格能力一定運転できるため製造効率および稼働率が向上。</li> </ul>
<p>水素製造単価最安モード</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素の製造単価が最も安くなる運転モード（周辺機器を含めた水素製造装置の効率が最大となる運転点で運転するモード）</li> <li>水素最大モードや地熱発電電力で水素製造し、補機は買電でカバーするなど、様々な運転を検証し、最も安く水素製造できる運転パターンを探る。</li> <li>水素製造単価は、ライフサイクル費用を、総発電量で除して算出する方法や運転費用（施設維持費+燃料費）だけを除して算出する方法など、パターン別に検証する。</li> </ul>
<p>水素製造グリーン度優先モード</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素製造のための電力のうち地熱発電電力の割合が高くなる運転モード（できるだけ周辺機器動力+水素製造電力=地熱発電電力となるよう運転することで、系統電力からの買電電力を極力少なくする運転モード）</li> <li>逆流させることなく、地熱発電電力で、水素製造装置や補機をすべてまかなう運転（グリーン度100%）を目指す。</li> </ul>

※グリーン水素

欧州燃料電池水素共同実施機構が資金拠出するCertifHyプロジェクトでは、天然ガス改質による水素製造時のCO2排出量をベンチマークとして、60%以上低いものをプレミアム水素として認証、さらに再生可能エネルギー由来のものをグリーン水素に分類している。

[1]

さらにEMSには、水素搬送車両に装着したGPS端末から搬送状況を把握し、車両の発着スケジュールに合わせてプラントを起動停止させることなく効率よく連続運転できるように制御する機能を備えている。水素単価優先、水素グリーン度優先、水素製造量優先のモードごとに、水素の搬送状況を把握しながら、水素製造を一時的に停止したり、搬送車両が水素カードル充填完了まで待機したりすることなく、無駄のない水素製造→搬送→供給が行えるよう、時々刻々エクセルで計算しながら、プラントの運転パターンを決定、指示する機能を有している。図9に水素サプライチェーン最適化のためのシステム構成イメージを示す。最適化のために、図10に示すようなダイアグラムで、製造（水素製造装置の運転状態、水素貯蔵タンクの残量）→搬送（複数台の搬送車両が製造元と供給先の間を往復するGPS位置情報）→供給先（水素貯蔵タンクの残量）の状況を把握しながら、機器や車両が待機状態になったり、水素残量が空になることがないように、サプライチェーン全体を遠隔監視・支持するEMSとしている。

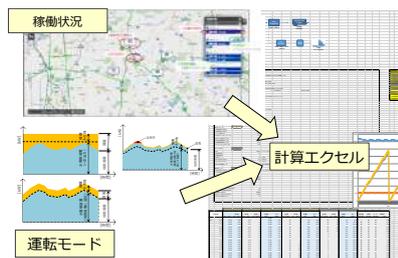


図9. システム構成イメージ

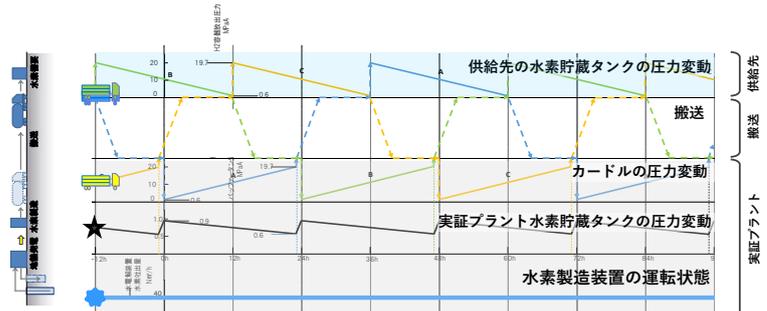


図10. 水素サプライチェーンのダイアグラムイメージ

実証プラントで製造したCO2フリー水素は、各所に搬送して利用するなど、地域のエネルギー資源として有効に活用する。

### 3.3. 福島県浪江町水素利活用実証（環境省委託事業）

水素をエネルギーキャリアとして活用するためのビジネス環境やインフラは未だ十分に整備されておらず、特に再エネ由来のグリーン水素の商用化はほとんど進んでいない。高圧ガス保安法や建築基準法等の法規が、水素を都市のエネルギーキャリアとして利活用してゆくことを想定していないことも、利用が進まない一因となっている。そのため、水素関連商品やシステムの規模の経済が働かず、水素活用の市場が拡大するだけの経済合理性が得られていない。

そこで、環境省の委託事業として、福島県浪江町に燃料電池やFCVなどの水素を利活用できる設備を複数の建物に設置し、「福島水素エネルギー研究フィールド」に建設された10MWの太陽光発電設備から得られる水素を、地域で有効に活用する水素サプライチェーンの実証事業を進めている。図11に実証概要を示す。

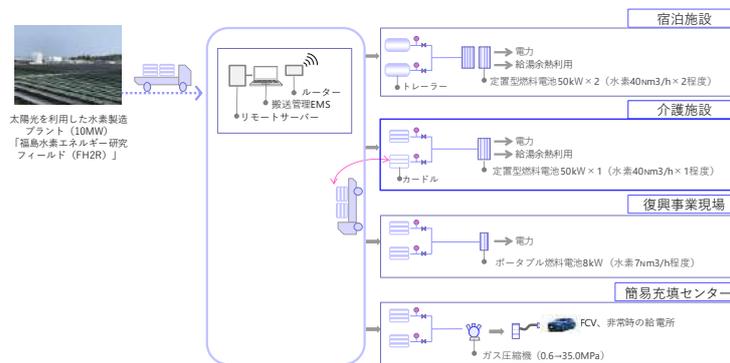


図11. 実証概要

水素サプライチェーンを最適化する仕組みとして、水素需給量・搬送状況を考慮した最適搬送管理システムを町の水素利用プラットフォームとして構築し、水素サプライチェーンの全体管理・最適化を目指す。水素需給量・搬送状況を考慮した最適運用管理システムを活用することで、効率よく搬送するための搬送ダイアグラムを構築する。これにより、搬送に関わる燃料代や人件費の削減を図る。図12に最適搬送管理システムの基本構成を示す。

表2. 最適な配送パターン選択肢

a. 随時交換	b. 一括交換	c. 一括交換（複数台）
<ul style="list-style-type: none"> <li>・カードが空になるたび交換</li> <li>・延べ走行距離、延べ作業時間共に増える</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・できるだけまとめて交換</li> <li>※水素残量0の供給先が発生するギリギリまで待って交換した場合、その後すぐに交換が必要になる供給先が発生する場合はかえって走行距離、作業時間が増える場合がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・できるだけまとめて交換（複数車両で手分けして交換）</li> </ul>

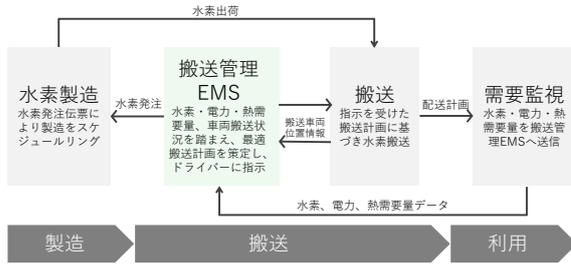


図12. 最適搬送管理システムの基本構成

水素カードルで水素を搬送する場合、供給先のカードルの水素残量が残り少なくなるたびに随時交換する方法、1台のトラックで複数のカードルをまとめて一括交換する方法、あるいは複数台のトラックで手分けして交換する方法など様々なパターンがあり、供給先間の距離や需要量によっては、複数台での複雑な運用が必要となる。（表2）

また、搬送最適化のためには、以下の機能を備える必要がある。

- ・各拠点の水素消費傾向をベースとした各拠点の水素カードル残量予測（電力需要、水素消費傾向把握、予想水素燃料消費需要）
- ・各拠点の水素残量（最低量指定）、水素残量予測、各水素カードルトラックの位置情報、搬送経路（距離等）に基づく最適デリバリー計画
- ・需要先の状況により計画を随時変更できる機能
- ・計画変更をリアルタイムに搬送車両ドライバーに伝達できる機能

最適化のためのロジックは、最適を定義する評価関数（搬送のために必要となる単位水素当たりのコストミニマム、搬送総コストミニマム、排出カーボンミニマム、など）により最適解（最適な搬送パターン）を導き出せるものとした。各水素カードルトラックの位置情報は、車両に搭載したポータブルなGPSトラッカーから送信される緯度経度情報を車両マーカーとして表示できるものとし、搬送管理者が直感的に状況を把握できる仕組みとした。

プラットフォームを利用しながら、小規模な水素利用から着手し、順次、個所数と規模を増やしてゆく。搬送はカードルからトレーラーへと規模を拡大し、最終的にはパイプラインを敷設して効率良く水素供給することも視野に入れている。図13に今後の展開イメージを示す。

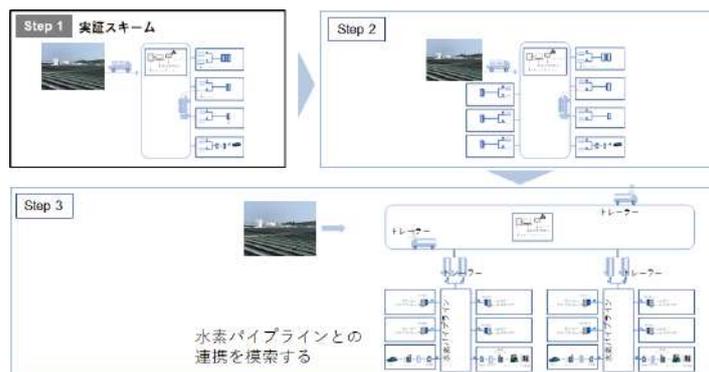


図13. 実証の今後の展開イメージ

### 3.4. 地熱電力を利用したグリーン水素製造事業

国内の水素サプライチェーンだけでなく国際水素サプライチェーン（図14）を創出することは、我が国のカーボンニュートラル達成のためには、喫緊の課題となっている。



図14. 国際水素サプライチェーンのイメージ

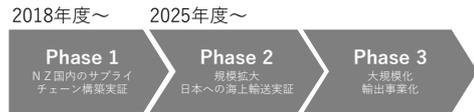


図15 国際水素サプライチェーンの実証フェーズ

当社はニュージーランドの地熱発電で得られた電力によりグリーン水素製造を行い、最終的には日本へ輸出する国際水素サプライチェーンの実証に取り組んでいる。(図15)

実証のPhase 1はNZ国内の水素サプライチェーン構築を目指すものである。現地企業と共同で事業会社を設立し、同社が所有する地熱発電所の電力を利用して水素を製造プラント(1.5 MW規模)が完成した(写真3)。



写真3. 水素製造プラント

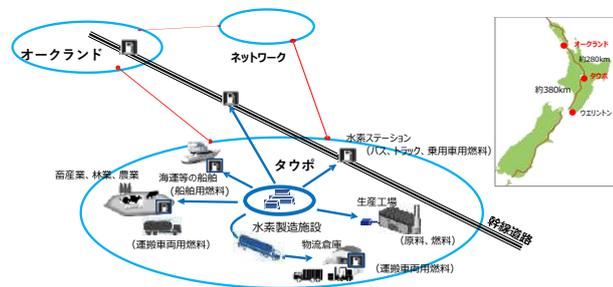


図16. サプライチェーン構築のための社会実装イメージ

年間100t程度のグリーン水素の製造からニュージーランド国内における流通まで、一連のサプライチェーン構築のための社会実装(図16)を実施し、各段階におけるノウハウを蓄積してゆく。また、この研究を通してサプライチェーンの経済面や環境面の評価を行うとともに運用マネジメントシステムの開発を行い、将来の事業化の可能性を検討する。

ニュージーランドは再エネのポテンシャルが高く、すでに国内電力需要の約8割が再エネ由来電力で賄われている。地熱発電による水素の製造コストも日本より相当低く、将来的にはPhase2で規模を拡大しタンカーによる海外輸送実証に取り組むつつ、Phase3ではタンカーで日本に輸出することも視野に入れている。

## 7. 今後の展望

水素はLNG以上に解決すべき課題は多いものの、その商用化は、液化天然ガス(LNG)の商用化過程と同様のプロセスをたどるのではないかと考えている。LNGは当初、熱量あたりの価格が原油より相当割高であったものの、優遇措置や制度設計により単価を下げる努力を続ける中、石油危機により原油が高騰したこともあり、LNGは石油よりも環境性はもとより経済性においても優位なエネルギーとなった。カーボンプライシングや排出規制が喫緊の課題となる今、様々な制度設計や、水素の課題解決のための取り組みにより、水素も商業ベースに乗ってゆくものと考えている。再生可能エネルギーと親和性の高い水素の本格利用に向け、今後も技術的・経済的課題解決を目指してゆく。

### 参考文献

#### 1. グリーン水素の定義

CertifHy 「CertifHy- Developing a European Framework for the generation of guarantees of origin for green hydrogen」