

水素の輸送・取扱い等について



中島 康広

岩谷産業株式会社
技術・エンジニアリング本部
水素技術開発部長



前田 和真

岩谷産業株式会社
技術・エンジニアリング本部
水素技術開発部

1. まえがき

▶脱炭素へ向けた世の中の動向

世界的な脱炭素の動きが加速する中で、菅内閣総理大臣は2020年10月の所信表明演説にて「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した¹⁾。また、同年12月には、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が経済産業省にて策定され、成長が期待される産業14分野において、政策を総動員することが発表された²⁾。この14分野の中の1つに水素産業が明記されており、水素産業の現状と課題、今後の取り組み、成長戦略の工程表がまとめられている。

また、国土交通省においても国際物流の結節点・産業拠点となる港湾において、水素、アンモニア等の次世代エネルギーの大量輸入や貯蔵、利活用等を図るとともに、脱炭素化に配慮した「カーボンニュートラルポート（以下、CNP）」の形成に取り組むこととしている³⁾。

水素エネルギー社会の実現に向けて、経済産業省では水素関連技術開発をメインとして推進、国土交通省では港湾における社会実装をメインとし、両輪で推し進めることとしている。

▶岩谷の水素事業の歴史

こうした世の中の動きに先駆け、当社はいち早く水素をエネルギーとして着目してきた。さらに水素がエネルギーとして活用されると高密度な輸送形態が必要となるため、水素を極低温（-253℃）まで冷やし、体積を約800分の1にできる液化水素の有効性にも着目した。1965年、いち早く液化水素のフィージビリティスタディ（FS）に着手し、1978年には、我が国初の商業用液化水素製造プラントを稼働させた。さらには1986年、当社が宇宙開発事業団（現：JAXA 宇宙航空研究開発機構）へ供給した液化水素により、初の国産H-I型ロケット1号機の打ち上げに成功した。また、2006年には商業用大型液化水素

プラント「株式会社ハイドロエッジ」を設立し、当時ロケット用燃料に限定されていた液化水素を一般産業用にも展開した。今日においては、液化水素販売シェア100%の国内唯一の液化水素サプライヤーとなっている。

現在、当社の商業用液化水素製造プラントは全部で3拠点存在する。2006年に、前述した国内初となる商業用大型液化水素プラント、「株式会社ハイドロエッジ」を大阪府堺市に設立し、以降、2009年に千葉県市原市の「岩谷瓦斯株式会社千葉工場」、2013年に山口県周南市の「株式会社山口ロキッドハイドロジェン」の運転を開始している。当社は液化水素の製造以外にも、約半世紀にかけて積み上げてきた液化水素を安全に取り扱うノウハウをもとに液化水素の輸送、利活用で様々な取り組みを行っている。

2. 陸上における水素の輸送と荷役

▶水素の基礎物性

水素は、無色無臭で、最も密度の小さい物質である。また、沸点が-253℃と極低温で、常温常圧で気体の水素も常圧で-253℃まで冷却すると液化水素となる⁴⁾。このような物性から、メタンが主成分である天然ガスに比べ、重量あたりのエネルギー密度が高く、拡散しやすい一方、液化水素に変換するためには-253℃まで冷却しなくてはならず、多量のエネルギーと断熱技術が必要となる。

▶陸上における水素輸送

水素の大量輸送は、前章の極低温に冷却した液化水素として輸送する方法と、常温水素ガスのまま圧縮し圧縮水素として輸送する方法がある。液化水素は、常温水素ガスに比べ、約800分の1の体積にすることができる。陸上液化水素輸送用タンクローリーのタンク幾何容積は約20m³、40フィートコンテナは約40m³であり、それぞれ約1,500kg、3,000kgの水素を貯蔵、輸送することができる。一方、圧縮水素は一般的に15

～20MPaに圧縮し、常温水素ガスに比べ、150～200分の1の体積となる。陸上圧縮水素輸送用トレーラーは長尺容器を約20本束ねており、約250kgの水素を貯蔵、輸送することができる。したがって、液化水素の40フィートコンテナは圧縮水素トレーラーと比べると、12倍水素輸送能力が高いと言える(図1)。一方で、液化水素は-253℃という極低温の物性を持つため、容器外部からの入熱により少しずつ蒸発してしまうという問題が発生する。そのため、液化水素の容器は魔法瓶のような真空二重殻構造で、いかに容器の断熱性能を高め、蒸発ガスを減らすかということが、水素の輸送や貯蔵において重要となる。タンクローリーあるいは40フィートコンテナでは、スーパーインシュレーションという軽量かつ高度な断熱方式を用いている。

輸送形態	幾何容積 (概算値)	水素輸送量 (概算値)
圧縮水素トレーラー	14 m ³	250 kg
液化水素ローリー	20 m ³	1,500 kg
液化水素40フィートコンテナ	40 m ³	3,000 kg

図1 水素輸送形態と水素輸送量

▶陸上における液化水素受入設備と荷役

通常の水素の販売においては、タンクローリーあるいは40フィートコンテナで液化水素を輸送し、水素ユーザー敷地内の貯槽に液化水素を充填(荷役)していく。水素ユーザー

の液化水素受入設備とタンクローリーの概略フローを図2に示す。ローリーと貯槽、その間の液化水素配管では、外部からの入熱を防ぐために、真空二重の構造となっており、水素ガスを利用する際には、送ガス蒸発器により水素を気化させ、ユーザーへと供給する。

液化水素の荷役手順の大きな流れは、主に、フレキシブルホース接続、気密確認、置換、加圧、送液の5段階である。受入設備とローリーをフレキシブルホースで接続した後、水素ガスにより接続部の気密確認を行い、漏れがないことを確認する。その後、ホース内の水素純度を高めるために水素置換作業(パージ)を行う。水素漏洩がなく水素純度も条件を満たしたら、ローリーに付帯する加圧蒸発器によりローリータンク内を加圧し、荷役準備は完了である。最後にローリー液出口弁を開とし、ローリータンク内圧力によって液化水素の送液を開始する。

▶液化水素陸上輸送・荷役の安全規制

液化水素受入設備や、液化水素のタンクローリーあるいは40フィートコンテナは高圧ガス保安法の適用を受けている。その中でもタンクローリーあるいは40フィートコンテナは、高圧ガス保安法一般則2条12項にある移動式製造設備に該当する。移動式製造設備が満たすべき技術上の基準については、基本的に同法一般則8条に詳細が規定されている。特に、水素ステーション向けの液化水素貯槽に充填するものに関しては、同法一般則8条の3項に規定があり、充填ホースの基準、緊急遮断装置の設置等、具体的に規定されている。

他にも、高圧ガスの移動に係る保安上の措置として、移動監視者が必要となる場合がある。特に水素ステーション向け液化水素貯槽に充填する際には、充填する液化水素重量に関わらず、移動監視者が必要となる。(同法一般則49条17項)

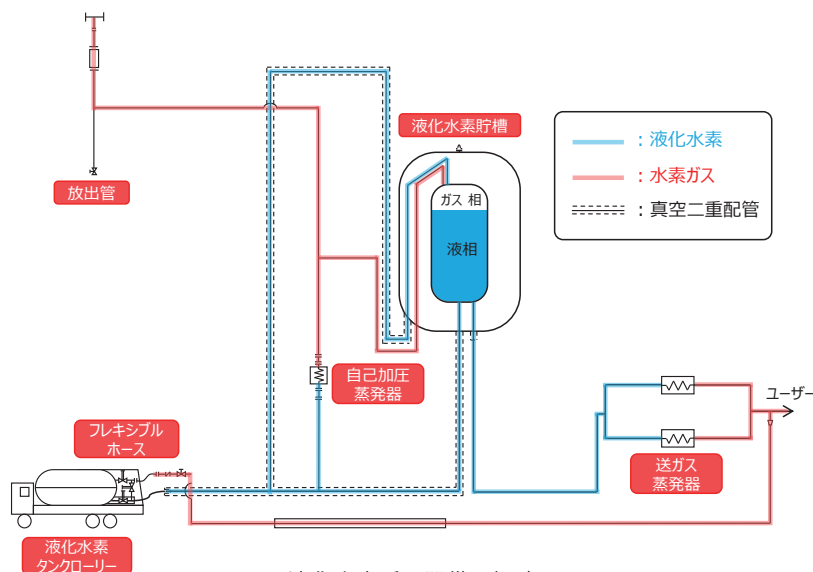


図2 液化水素受入設備の概略フロー

3. 港湾における水素の輸送

▶港湾における水素輸送の例

2050年カーボンニュートラル実現に向けた港湾における取組みにおいて、水素輸送の例が挙げられている⁵⁾。具体的には、海外水素の輸入を目的とした「受入岸壁、貯蔵施設等の確保」や船舶燃料のカーボンフリー化を目指した「水素等燃料船へのバンカリング(燃料充填)」、受入貯蔵設備から水素発電所までの「パイプライン等による水素等の配送」と記載されている。今後、港湾においても様々な目的で水素の輸送が行われることが想定されるが、輸送の形態はそれぞれの目的で大きく異なる。「受入岸壁、貯

蔵施設等の確保」では、海外からの大規模水素輸入を目的としており、エネルギー密度の高い液化水素等が採用される。「水素等燃料船へのバンカリング（燃料充填）」については、現在の燃料電池車のように高圧の水素ガス（数十MPa程度）が採用される場合や、船舶燃料としてより多くの水素が必要となる場合は、上記同様液化水素の可能性も考えられる。この点については、必要水素量、技術実現性、容器重量、法規制等、様々な面から検討する必要がある。「パイプライン等による水素等の配送」については、主に水素受入基地から水素発電所への輸送が想定され、低圧の水素ガス（数MPa程度）が採用される。

▶港湾における水素輸送に関する当社の取り組み

こうした港湾における水素輸送について、当社の取組みを紹介する。「受入岸壁、貯蔵施設等の確保」に関して、オーストラリアにある未利用資源の褐炭や、風力や太陽光などの再生可能エネルギーから水素を大量に製造し、日本に輸入する事業を現在検討している。特に褐炭から製造した水素の輸入事業に関しては、現在、実証段階に進んでいる（次章参照）。また、「水素等燃料船へのバンカリング（燃料充填）」に関しては、大阪・関西万博等での船舶商用化を目指し、水素燃料電池船と船舶用水素ステーションの開発を進めている。さらに、「パイプライン等による水素等の配送」に関しても、大手電力会社との水素専焼発電あるいは天然ガスとの混焼発電の検討を進めている。

4. 海外水素輸入へ向けた取り組み

▶海外水素輸入の目標と現状

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においては、国内の水素需要の高まりに合わせ、国内外合わせて年間300万トンの水素を導入すると発表している⁶⁾。特に海外からの水素輸入について、2017年に策定された「水素基本戦略」⁷⁾にもあるように、2030年に年間30万トンの水素を輸入する目標を立てている。水素エネルギー社会の実現、さ

らにはCNPの実現には、安価で大量なCO₂フリー水素サプライチェーン構築が不可欠であると言える。これに先立ち、2016年には当社、川崎重工業、電源開発、シェルジャパンの4社でCO₂フリー水素サプライチェーン推進機構（以下、HySTRA）を設立し、「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」を進めている。2030年には、本実証試験を踏まえ、未利用の褐炭から水素を大量に製造・液化し、液化水素運搬船で日本に輸入することを目標としている。HySTRA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（以下、NEDO）の助成の下、図3のような上流から下流までの日豪サプライチェーンを実証する。具体的には、①液化水素の長距離大量輸送技術の開発、②液化水素荷役技術の開発、③褐炭ガス化技術の開発の実証を行う⁸⁾。現在、神戸市にある液化水素受入基地および豪州にあるガス化設備はそれぞれ当社および電源開発にて運営中、川崎重工業が建造した液化水素運搬船は船舶としての試運転をほぼ終えている。

▶当社の運用する液化水素受入基地

当社の運営する液化水素受入基地（正式名称：神戸液化水素荷役実証ターミナル）の設備概要について紹介する。基地設備概要を図4に示す。液化水素受入基地は、液化水素の貯蔵を行う液化水素タンク（容量：2,500m³）、基地と船舶で液化水素の荷役を行うためのローディングアームシステム（以下、LAS）、その他設備で構成される。液化水素タンクは前述のように真空二重の構造となっており、高い断熱性能を維持している。LASはこの実証試験用に世界で初めて開発され、真空二重のフレキシブルホース型を採用している。将来的には、現在のLNG受入基地にて採用されているスイベルジョイント型が見込まれるため、2022年にその型式のLASを設置し、追加試験を実施予定である。その他設備としては、試験中蒸発した水素ガス（ボイルオフガス：以下、BOG）を圧縮するBOG圧縮機、それを貯蔵するBOGホルダー（容量：300m³、圧力約2MPa）、

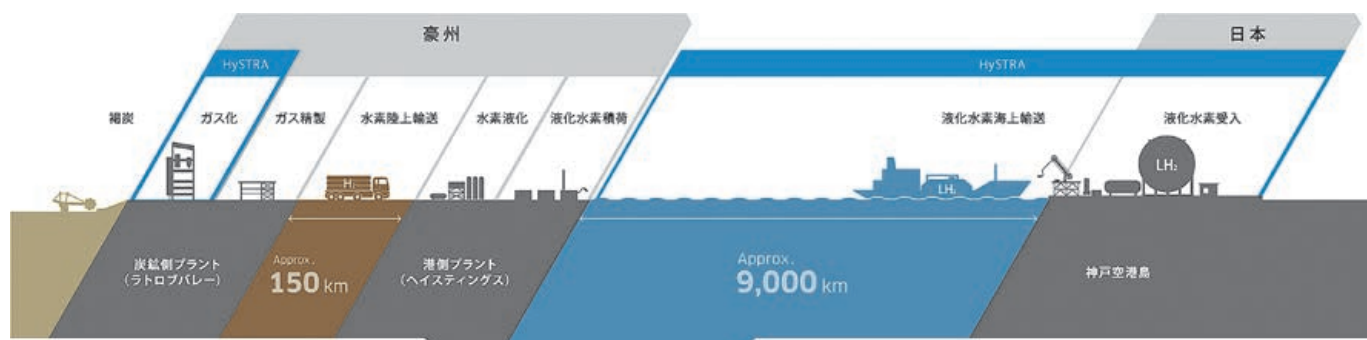


図3 日豪サプライチェーン実証全体

水素ガスを放出するためのベントスタックがある。

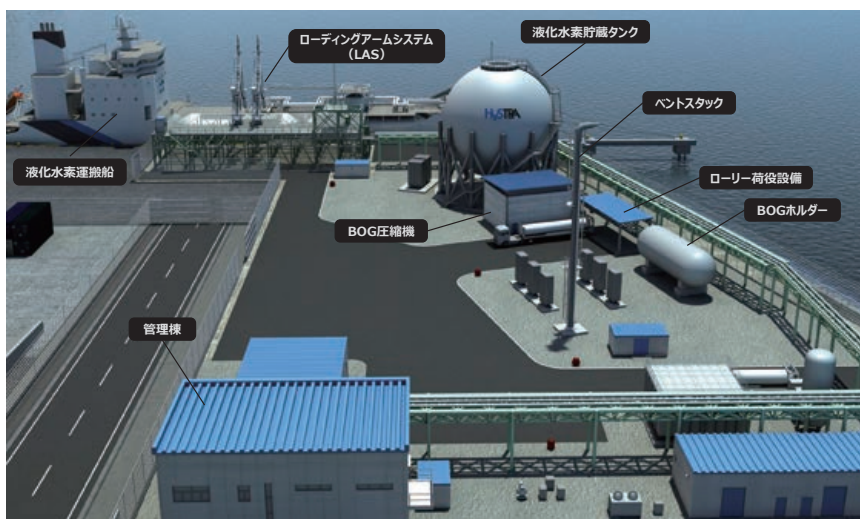
▶液化水素受入基地の運用体制

現在、本受入基地は岩谷グループ約30名で運用している。また、本設備は高圧ガス保安法が適用されており、高圧ガスの製造に係る事業の実施を統括管理する高圧ガス製造保安統括者（免状不要）と運用体制各直に1名の保安係員（有資格者）を置いている。また、港則法第23条第4項での危険物運搬許可で求められる荷役安全管理体制の構築も行っている。

▶液化水素の荷役実証と今後

液化水素運搬船と受入基地での実証試験項目は主に、液化水素運搬船の開発とその運搬船との安全な液化水素の荷役、の2

点である。特に今回は港湾での水素取扱いとなる後者の安全な荷役について簡単に説明する。荷役設備の概略フローを図5に示す。荷役そのものについては、前述した陸上におけるタンクローリーでの荷役と基本的に同様であり、LAS接続、気密確認、置換、加圧（またはポンプ駆動）、送液の5段階からなる。液化水素運搬船からの揚荷では、付帯する液化水素用ポンプにより送液し、反対に液化水素運搬船への積荷では、基地タンクの水相の圧力を上げ、送液している。また、液化水素送液中は大量のBOGが発生するため、BOG圧縮機により圧縮し、BOGホルダーへと貯蔵する。さらにBOGが発生する場合はベントスタックを使用し、大気中に放散する。



液化水素運搬船 主要目		液化水素荷役実証ターミナル 主要目	
液化水素貨物タンク	容量 1,250m ³ ×1基(水素積載量75トン) 断熱 真空二重殻SI断熱	液化水素貯蔵タンク	容量 2,500m ³ (水素貯蔵量150トン) 断熱 真空二重殻パライト断熱
船体部	寸法 全長116m×幅19m×深さ10.6m	LAS	方式 真空二重フレキシブルホース型

図4 液化水素受入基地の設備概要

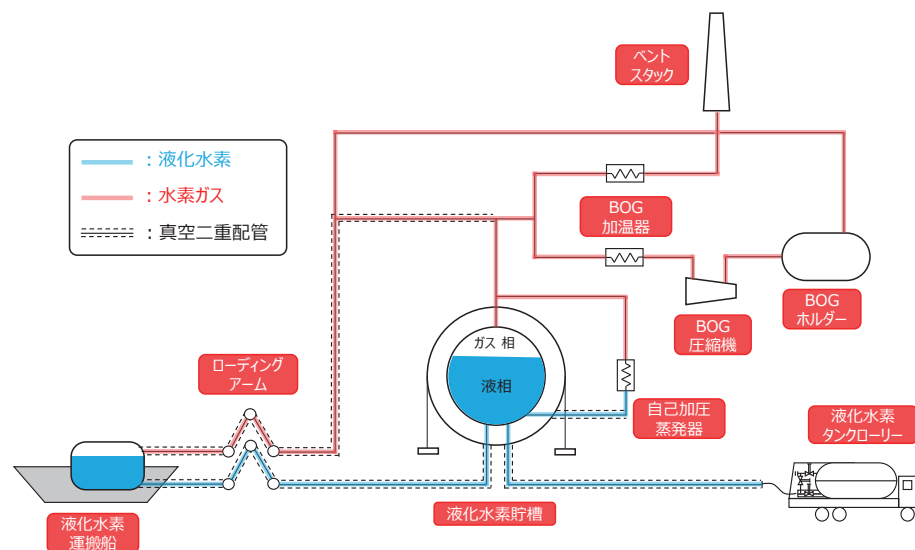


図5 液化水素受入基地の概略フロー

本実証試験を通して、大規模な液化水素設備の安全な運用方法を構築するために、運用・実証データを取得している。さらに、今後はそれらのデータを踏まえ、将来の液化水素受入基地の規模・仕様を検討していく。来るべき2030年の水素エネルギー社会の構築に向け、本実証で得たノウハウを活用していきたい。

【参考文献】

- 1) 第百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説 (https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyom_ei.html)
- 2) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-1.pdf>)
- 3) 第1回カーボンニュートラルポート (CNP) の形成に向けた検討会 (令和3年6月8日(火)) 資料1 (<https://www.mlit.go.jp/common/001408123.pdf>)
- 4) 高圧ガス保安協会基礎物性 (<https://www.khk.or.jp/hydrogen/foundation.html>)
- 5) 第1回カーボンニュートラルポート (CNP) の形成に向けた検討会 (令和3年6月8日(火)) 資料2 (<https://www.mlit.go.jp/common/001408124.pdf>)
- 6) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-1.pdf>)
- 7) 水素基本戦略 (https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy.pdf)
- 8) 未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業 事業進捗状況の説明 (<https://www.nedo.go.jp/content/100927613.pdf>)