

# 能代ロケット実験場における大型液体水素実証計画

川口 潤・小林 弘明・竹崎 悠一郎・成尾 芳博・坂本 勇樹

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1

## Plan for the Demonstration of Liquefied Hydrogen Supply Chain at Noshiro Rocket Testing Center

Jun Kawaguchi, Hiroaki Kobayashi, Yuichiro Takesaki, Yoshihiro Naruo, Yuki Sakamoto

Japan Aerospace Exploration Agency

3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagamihara City 252-5210<sup>4</sup>

**Abstract:** Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) has developed several hydrogen related devices required for space transport system and hydrogen energy based society with external manufactures and institutions. As the future energy, hydrogen is attracted because it produces no carbon dioxide when it is combusted. To transport and storage hydrogen, liquefying hydrogen is effective because of its compactness and less weight than other transportation technology. Development for more hydrogen related devices for liquefied hydrogen is necessary to achieve “hydrogen supply chain”. We are carrying out cooperative research with three manufactures, and today we are in the process of designing plan to conduct performance evaluations of development articles at Noshiro Rocket Testing Center.

**Keywords:** liquefied hydrogen, supply chain, demonstration for commercialization

### 1. 緒言

宇宙科学研究所では、宇宙技術分野と産業用のエネルギー技術分野に共通する水素、特に液体水素の研究開発を様々な外部機関と積極的に連携しながら取り組んでいる。これは、ロケットの再使用化や高頻度運用におけるロケットそのものの機器性能向上や安全性向上に加え、ロケットの運用コストの更なる低減にもつながると同時に、大規模水素エネルギー社会の実現に積極的に貢献することにより、燃料や水素関連機器の需要を増大させることで、量産効果によるコスト低減という間接的なメリットの享受につながることも期待されている。

例えば、宇宙輸送分野と民間産業用途のどちらにも共通して用いられる重要な水素用機器として、極低温用ハーメチックコネクタがある。これは、封止された液体水素容器内部に設置した各種センサへの通電が必要であるが、液体水素の使用環境、即ち、極低温・高圧環境において圧力お

よび温度衝撃に対する信頼性が求められる。従来、このようなハーメチックコネクタは存在しなかったが、宇宙科学研究所と民間の共同研究開発により、仕様の確立と評価を行い、現在、開発品は再使用ロケット実験機に適用されて健全性が確認されている。また、安全性の評価に関しては、専用のポンプにより昇圧することで、90MPaの超高压の液体水素を用いた、漏洩拡散や着火燃焼試験を行うことができる設備を能代ロケット試験場に設置し、液体水素を取り扱う設備の安全基準の策定や水素ステーション用機器の開発に寄与する試験を実施した(図1)。その他に、一般的にMRI等の超電導機器の冷却に使用されているヘリウムを安価で冷却性能に優れる水素に代替することを目指し研究開発にも参画しており、同じく能代ロケット試験場には、最大400Aの大電流を液体水素中に安全に通電することができ、最大7Tの磁場下における超電導材料・機器の臨界特性を取得することができる設備が設置され、各種試験が行われている。以上は一部の例であるが、このよう

に宇宙科学研究所では、宇宙輸送分野の研究開発の遂行と同時に水素社会実現に貢献する研究開発を数多く行っている。

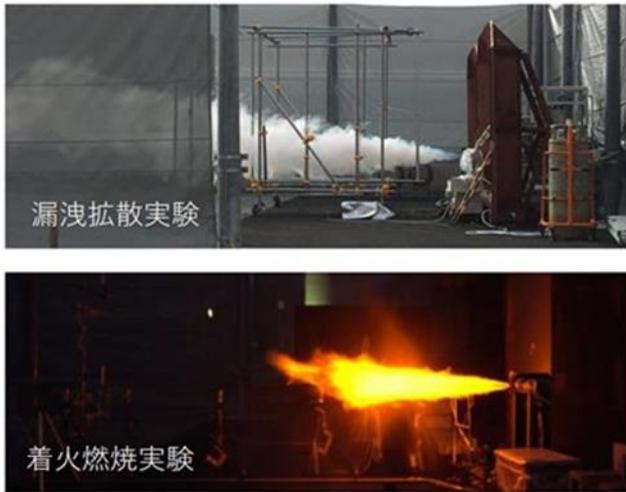


図1. 液体水素漏洩拡散・着火燃焼実験の様子

## 2. 水素サプライチェーン

水素は二酸化炭素を排出しないクリーンな燃料であり、かつ、化石燃料より大きな燃焼エネルギーを持っていることなどから、今後、燃料電池自動車や定置型燃料電池の普及に加え、火力発電の燃料としての利用等、来る水素社会において、大量の水素の消費が見込まれている。こうした大量の水素需要に対応するためには、海外で安価に水素を製造し、輸送効率を上げるために液化して日本に輸送する、一連の水素サプライチェーンの確立が必要である。

経済産業省が策定した水素基本戦略（図2）によれば、2030年には、商用規模のサプライチェーンを構築し、年間30万トン程度の水素の調達を可能とし、30円/Nm<sup>3</sup>程度の水素コストの実現を目指すことが示されている。そして、2030年の液体水素サプライチェーンの商用化に向けて、2020年代半ばまでに商用化実証を実施する計画となっている。その商用化実証に向けて、現在、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）助成事業である「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」において、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（Hystra）が、豪州での褐炭ガス化・水素精製、水素液化・液化水素貯蔵、豪州から日本への液化水素海上輸送、日本での液化水素荷役を2020年～2021年に実証する計画を進めている（図3）。昨年12月には、同事

業で実証される世界初となる液化水素運搬船の命名・進水式が神戸市で行われた（図4）。

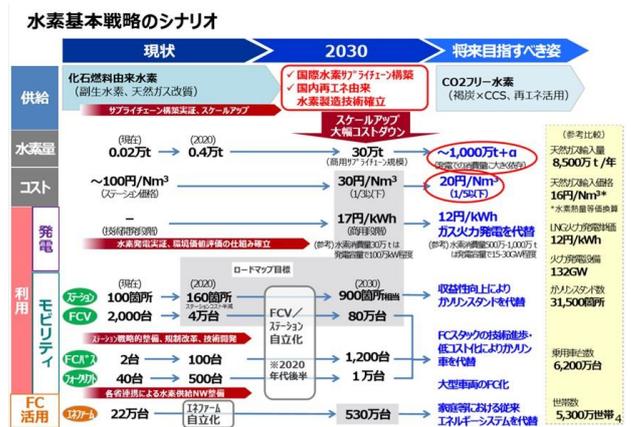


図2. 水素基本戦略（概要）<sup>1)</sup>



図3. 実証計画中の液化水素サプライチェーン<sup>2)</sup>



図4. 液化水素運搬船の命名・進水式の様子

### 3. 共同研究開発の概要

前項で述べたとおり、2020年代半ばまでに商用化実証を実施する計画となっているが、商用化実証を実施するに当たり、同規模の水素関連機器の開発・製作の目途が立っていることが必須となる。そのため、商用化実証時に必要となる水素関連機器の開発を行うために、NEDOの助成による「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発」が公募され、採択された民間企業により実施されることが2019年に決定した。本事業の対象は、液体水素の運搬船から受入基地および発電設備への供給プラントの主要機器の開発である(図5)。採択された企業のうち、株式会社IHI回転機械エンジニアリング (IRM)、株式会社荏原製作所 (EBR)、東京貿易エンジニアリング株式会社 (TEN) の三社については、JAXA と共同研究契約を締結し、能代ロケット試験場での開発品の性能評価試験をマイルストーンとして、開発を行うこととしている(図6)。

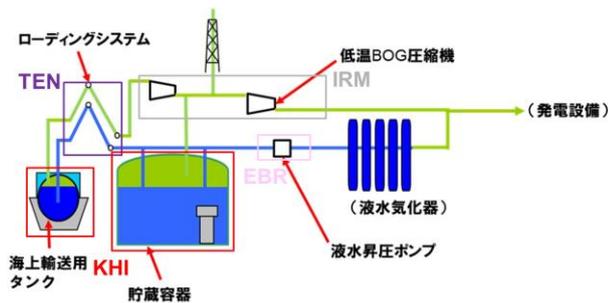


図5. 本助成事業での対象機器

	助成先 (実施者)	委託・共同研究先
N E D O	助成 【幹事会社】 川崎重工業株式会社 (KHI) 大型貯槽、大型海上輸送用貯槽、 大型ローディングアームを共同開発	共同研究では、機器の性能確認試験を JAXA能代ロケット試験場で実施予定
	助成 株式会社 IHI回転機械エンジニアリング (IRM) 低溫BOG圧縮機を開発	共同研究 JAXA
	助成 株式会社荏原製作所 (EBR) 液体水素昇圧ポンプを開発	共同研究 JAXA
	助成 東京貿易エンジニアリング 株式会社 (TEN) 大型ローディングアームを開発	共同研究 JAXA

図6. 本助成事業の実施体制

三社とも液化天然ガス (LNG) を対象とする同様の機器に関しては豊富な実績を有するが、液体水素を対象とするにあたって、それぞれの開発課題が存在する。IRM が担

当する低温水素ガス圧縮技術の開発では、流体としてLNGのボイルオフガス (BOG) を対象とした場合においては、圧縮機表面まで冷却されたとしても、表面に着水するのみで運転に支障はないが、液体水素のBOGを流動させると、表面温度は、空気の沸点を下回って冷却されるため、表面で大量の液体空気が生成する。液体空気中に存在する液体酸素は、可燃物と急激な酸化反応を起こす性質があるため、液体酸素が生成、滞留しない構造が新たに求められる。また、実際に試験による性能評価を行う場合には、大量の極低温水素ガスを温度・圧力を制御し、複数条件を実現して供給する必要があるが、これは、気液二相の水素物性およびその制御に関する知見が必要である。この部分は、これらの知見を有するJAXAが担当し、検討を行う。

EBRが実施する液体水素昇圧ポンプの技術開発においては、LNG用途においても、本体を液中に浸漬し、流体から受ける浮力を考慮し、バランスさせる構造を採るが、液体水素の密度はLNGのおよそ1/6であるため、液体水素に適したバランス機構を新たに開発する必要がある。また、液体水素はLNGと比較して蒸発しやすいため、機器の断熱性能が不十分であれば、ポンプが液体水素とともにBOGを吸い込み、ポンプ性能に悪影響を与える可能性がある。ポンプがBOGを同時に吸い込んでいないかについては、JAXAの持つボイド率計測によるBOGの検知技術を活用することができる。

TENが開発する液体水素緊急離脱機構と船陸間接続継手については、液体水素用途への適用品の開発は完了しているものの、商用化を見据えた大口径品の開発が目的となる。また、緊急離脱機構は、船舶と荷役基地の間の接続配管の役目を果たすローディングアームを緊急時に切り離すと同時に、両端を閉止して、それ以上の貨物の流出を防ぐ機構であるが、その構造上、一定量の貨物の放出は避けられない。大口径化に伴っては、貨物の放出量が相対的に増加する傾向となるため、より貨物の放出を低減する構造が求められる。また、ローディングアーム先端と船舶を接続する船陸間接続継手についても、大口径であっても、揺動する船舶上での位置決めや接続作業が容易な仕様が望まれる。また、液体水素移送のために高い断熱性を有しながらも、接続解除に当たっては極力短時間での昇温プロセスが要求される。JAXAでは、両機器の開発に当たり、液体水素の拡散挙動や、極低温状態の継手の昇温挙動についての計算モデルの検討を進めていく。

#### 4. 能代ロケット実験場における実証計画

三社が開発した機器については、2021年度以降に能代ロケット実験場において、液体水素を用いた性能評価試験を予定している。2019年度～2020年度は、JAXAでは、三社の開発品の性能評価試験を実施するための試験エリアの整備を行う。試験エリアの整地・舗装工事や基礎工事に加え、圧縮機収納覆やポンプ設置用ピットの設置を含む土木建築工事や、試験体に液体水素や水素ガスを調整して供給するための高圧ガス設備を含むガス設備設置工事、廃液を処理する設備の設置工事などが予定されている。現状、能代ロケット実験場の試験エリア整備の配置計画を示す(図7)。研究開発の実施スケジュールについても合わせて示す(図8)。



図7. 試験エリア配置計画

	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022
低温BOG圧縮機 (IRM)	試験設備の検討	試験設備の設計・製作	試作機の取付 試験実施 データ検証	
液水昇圧ポンプ (EBR)	試験設備の計画、設計	試験設備の設計・製作	センサー事前試験の準備・実施	試験実施 データ検証
ローディングシステム (TEN)		水素拡散モデル構築 昇温モデル構築	試験実施、検証	改良試験実施

図8. 実施スケジュール

#### 5. 結言

宇宙科学研究所では、宇宙輸送分野の研究開発の遂行と同時に水素社会実現に貢献する研究開発を数多く行っており、来るべき水素エネルギー社会の実現に貢献することはまた、結果的に宇宙輸送分野の技術の進展への好影響が見込まれる。今回、政府の方針に従って水素社会の実現に不可欠な水素関連機器の開発に取り組むメーカー三社との共同研究により、JAXAのさらなる貢献と知見の獲得が期待される。2021年度以降に、能代ロケット実験場において、各社の開発品の性能評価試験が予定されており、これら試験を遂行すべく、現在、能代ロケット実験場の整備計画を進めている。

液体水素関連の実証を行うことが可能な機関として、宇宙科学研究所ならびに能代ロケット実験場は、本件以外にも引き続き多くの関心が寄せられており、水素関連および宇宙輸送分野において、さらに多くの外部機関と連携した技術開発が今後も期待されている。

なお、本文中でも触れたように、本実証事業は、NEDOの「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発」に関連して、メーカー各社との共同研究によりJAXA宇宙科学研究所が実施中である。

#### 参考文献

1. 水素基本戦略（概要）、経済産業省、平成29年12月
2. 川崎重工業株式会社.ホームページ“実証段階を迎えた“Hydrogen Road””、川崎重工業株式会社、<https://www.khi.co.jp/stories/articles/vol67/>.