

水素をためる – 液化水素基地の開発 –

Hydrogen Storage – Development of Liquefied Hydrogen Terminal



撮影：2020年5月

Regarding a liquefied hydrogen terminal, which as an element of a hydrogen energy supply chain stores liquefied hydrogen, we constructed a pilot-scale loading/unloading terminal for verification testing in fiscal 2020. And looking to future commercialization, we have been working on increasing the scale of development and international standardization.

猪股 昭彦①※ Akihiko Inomata
橋本 成樹② Seiki Hashimoto
山之内 耕一郎③ Koichiro Yamanouchi
山本 哲夫④ Tetsuo Yamamoto

水素サプライチェーンの構成要素である液化水素を貯蔵する液化水素基地については、2020年度に実証試験を行うためにパイロットスケールの荷役基地を建設した。さらに、商用化を見据えた大型化開発や国際規格化にも取り組んでいる。

まえがき

水素サプライチェーン実現のためには、海外から船などで輸送した液化水素を、荷揚げ・貯蔵して発電設備や水素ステーションなどに供給する液化水素基地が必要となる。

1 背景

これまで世界で建設されてきた大規模な液化水素基地の多くは、ロケット射点設備に関係するものである。貯蔵タンクとして、それぞれ容量3,218m³と540m³の球形タンクを持つNASAのケネディ宇宙センターや当社がタンクを納入した種子島宇宙センターなどがあるが、いずれも船との荷役設備はない。また近年、大型貯蔵タンクの検討や建設が行われており、ケネディ宇宙センターでは約4,700m³の液化水素タンクの建設が2018年より開始されている。また、トーヨーカネツでは10,000m³の液化水素タンクの開発が進められている¹⁾。

船と接続して基地側に液化水素を移送するためのローディングアームシステムLASについては、現在のところLNG用の製品はあるが、適用温度が-160℃程度であり、液化水素温度である-253℃に適用できる製品は存在しない。

このように、船からの荷役を伴う液化水素基地は未だ存在しておらず、各種の機器開発が必要となる。また、液化水素基地に関する国際規格は現在のところ存在しておらず、将来の水素社会に向けて機器開発を行うだけでなく国際ルールを整備する必要もある。これにより開発機器の世

界市場への参入を円滑に行うのみならず、国独自の基準・規格を策定するのが困難な途上国において、製造した水素を安全に貯蔵・移送する設備を建設・運営するためにも有用となる。とりわけ、LASについては、方式が基地ごとに異なると船側での接続や荷役作業が困難となるため、規格整備は重要なものとなる。

2 開発計画

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) 助成事業「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」(パイロット実証)として、液化水素運搬船の輸送容量が商用の1/100程度のスケールの水素サプライチェーンの構築に、2015年度より着手している²⁾。

パイロット実証事業において、特に技術開発要素の高い、船舶のカーゴタンクと陸上タンクとの間の液化水素の荷役(積荷/揚荷)に関する技術を実証する。また、種子島宇宙センターの液化水素タンクからスケールアップし、国内最大となる公称幾何容積2,500m³のタンクを製作・設置の上、液化水素運搬船が輸送する液化水素を貯蔵する。

荷役技術を実証する、神戸液化水素荷役実証基地の完成イメージを図1に示す。当基地は、神戸空港島の北東沿岸に建設し、2017年度の神戸市による敷地造成、係留施設整備に引き続き、2018年4月より建設工事に着手、2020年5月末までに試運転を行い、2020年度内に液化水素の日豪間輸送実証を完了する予定である。



図1 神戸液化水素荷役実証基地の完成イメージ
Fig. 1 Rendering image of liquefied hydrogen loading/unloading demonstration terminal in Kobe

3 液化水素基地

液化水素基地は、液化水素の貯蔵を行う液化水素タンク、液化水素の船陸間荷役を行うLAS、および付帯設備から構成される。水素ガスを取り扱う付帯設備として、液化水素タンクから蒸発する水素ガス（BOG：ボイルオフガス）を圧縮するBOG圧縮機、圧縮した水素ガスを貯蔵するBOGホルダー（図2）、および液化水素荷役中に発生する水素ガスを処理するベントスタックを備えている。BOGホルダーに貯蔵した水素ガスは、基地内設備のガス置換や、液化水素を船から揚荷する際のバックアップなどに使用される。また、液化水素タンクへの液化水素充填のため、液化水素ローリーの受入設備も有している。

(1) 液化水素タンク

図3に示す液化水素タンクは、公称幾何容積2,500m³の球形真空二重殻貯槽としている。豪州から輸送されてくる液化水素の受入・貯蔵を行うとともに、液化水素運搬船への積荷に対応するため、日本国内から陸送された液化水素の貯蔵を行う。

液化水素を長期間に渡り蒸発損失を抑えて貯蔵するために、LNGタンクなどと比較してより高い断熱性能が液化



図2 BOGホルダー
Fig. 2 BOG holder



図3 液化水素タンク
Fig. 3 Liquefied hydrogen storage tank

水素タンクには要求される。そのため、真空断熱方式を採用した。日本国内の液化水素用タンクとしては種子島宇宙センターの容量540m³が従来の最大サイズであり、本基地のタンクは容量にしてその4倍以上と国内最大の液化水素タンクとなる。図4に示すように断熱構造にはパーライト真空断熱方式を採用しており、球形の外槽と内槽の間に断熱材であるパーライトを充填の上、真空引きを行って断熱性能を高めている。

大型化を実現するために、肉厚の大きな板材を工場ではなく建設現場で溶接するための適切な施工方法、および作業効率を高めるための最適な板割などの検討を行い、将来の大型タンク製作に向けたノウハウを蓄積している。また、大型タンクの運用に向け、液化水素充填前の水素ガス置換手法や、タンク冷却手順の最適化といった運用面の検討を行っており、2020年度の実証に臨む。

(2) ローディングアームシステム

LASは海上に係留される液化水素運搬船と接続して荷役

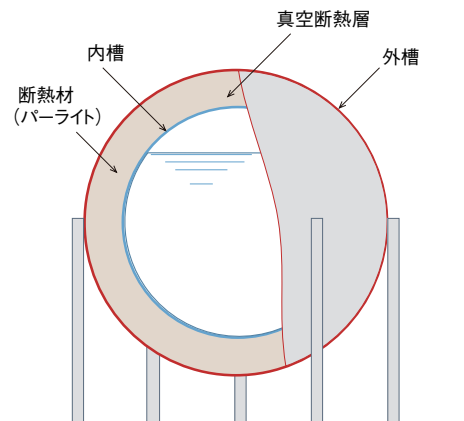


図4 真空断熱構造の概念図
Fig. 4 Conceptual diagram of vacuum thermal insulation structure

を行うために陸上側に設置される設備である。対象船舶の着岸後、LASを操作して船側の配管マニホールドと接続し、液化水素運搬船の海上揺動に追従しながら液化水素を移送する。

液化水素用のLASには既存LNG用よりも高い断熱性能が求められるため、真空断熱構造とすることが望まれる。同時に海上の揺動に追従する柔軟性あるいは可動性が必要となる。これらのことから、LASには真空二重フレキシブルホースを採用した。

液化水素運搬船の揺動に対応するために、真空二重フレキシブルホースをクレーン状のアームでつり下げる構造とした。図5に船との接続状態イメージを、図6に工場製作中の実証用LASを示す。フレキシブルホースをつり下げるアーム構造はLNG用でも実績がないため、さまざまなアーム姿勢での構造解析を行った。さらに極低温状態での繰り返し変位への耐久性を確認するために、プロトタイプを製作して液化水素を使用した各種性能試験を実施した。

LASは、海上揺動への追従機能だけでなく、緊急事態発生時に安全かつ速やかに離岸するための緊急離脱機構(ERS: Emergency Release System)を備える。緊急離脱機構は許容範囲を超えて船舶が変位したときには自動的に作動し、離脱時の液化水素の外部漏洩を最小限に抑えるものである。また、火災などの緊急事態発生時には、離脱スイッチにより手動で作動させることも可能である。緊急離脱機構はLNG用LASにも備わっているが、フレキシブルホースと同じく、高い断熱性能を得るため真空断熱構造を

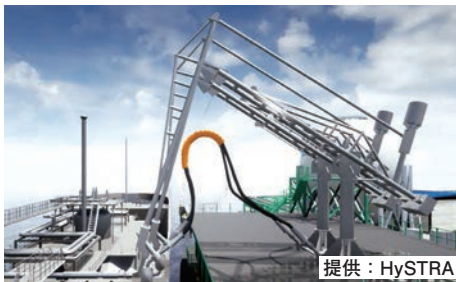


図5 船陸接続状態イメージ
Fig. 5 Image of a ship connecting to terminal



図6 実証用ローディングアームシステム
Fig. 6 Loading arm systems for demonstration project

適用し、かつ緊急時に閉止するバルブからの入熱を抑制する構造とした点がLNG用と異なっている。構造開発に際しては、当社の有する極低温条件での熱応力解析技術を駆使した³⁾。本機器は、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」にて製品開発を行い、プロトタイプを製作の上、液化水素充填状態での離脱試験や離脱後の閉止性能試験などを実施した⁴⁾。

これらの真空二重フレキシブルホース、クレーン状のアーム、緊急離脱機構および油圧機構の制御装置などを合わせてLASと称している。

4 今後の取組み

(1) 液化水素タンクの大型化

パイロット実証で建設する球形の真空断熱構造の液化水素タンクは、内部の真空圧による座屈を避けるために、タンク外槽の肉厚を大きくする必要がある。商用段階で必要となる数万 m^3 級のタンクになると、外槽は相当な厚みを要求されることから、板材の入手性や加工性が困難となる。

このため、当社は商用化に向けた新たな構造の大型液化水素タンクの開発をNEDO助成事業「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」で行っている。検討している構造の一つに図7のようなLNG大型タンクと同様の球形より容積効率の高い平底円筒形がある。内外槽間に常圧の水素ガスを供給した非真空構造とすることで、真空断熱構造で課題となる真空圧による座屈を防ぐ。また、発泡断熱材の内部に水素ガスが浸透して断熱性能が低下することを避けるため、断熱材の表面にガスバリア材を適用することを検討している。本構造は、既存のLNGタンクを改造して適用することをコンセプトとしており、水素社会の導入段階でLNGから水素に段階的に移行する際に有効となる。

(2) 液化水素LASの大型化

商用段階では、大口徑のLASが必要となるが、設置スペースや重量を考慮すると、LNG基地で適用されている回転式の継手(スィベルジョイント)を適用して、接続時の船の揺動に適応する形式が主流になると考えられる。そこ

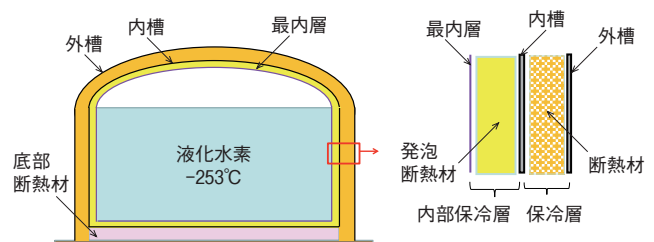


図7 大型タンクの構造図案
Fig. 7 Structural design of a large-scale tank



図8 商用液化水素ローディングアームシステム
Fig. 8 Liquefied hydrogen loading arm systems for commercial use

で、LNG用LASで世界トップクラスのシェアを有する東京貿易エンジニアリング株式会社とのSIPでの共同開発において、図8に示す本形式のLASを試作し、正常に作動することを確認した。引き続き、液化水素を用いた実証試験を行うことにより、本開発を完了させる予定である。

(3) 国際標準化

現在、LASの低温用の国際規格は、LNG用については、ISOの規格が制定されているが、液化水素用は存在していない。そのため、液化水素用LASの国際規格化に向けた取り組みを進めている。ISO内にワーキンググループを設置し、定期的に開催する国内外での会議などにより、各国のエキスパートと議論を行っている。これまで、石油・ガス関連の基準・規格化は欧米のエネルギー会社が主体となって行われるケースが多かったが、本ワーキンググループは、日本船舶技術研究協会が議長となり、当社がプロジェクトリーダーを務めて主導的に議論を進めている。今後も各国との議論を継続し、2022年のISO規格制定を目指している。

将来的には、LASのみならず、他の液化水素機器についても国際規格化に取り組み、安全な液化水素サプライチェーンの構築に貢献していく。

あ と が き

2030年の液化水素基地の商用化に向けて、小規模の実証

設備を建設し、荷役の実証に向けた準備を着々と進めるとともに、商用スケールの機器開発を行っている。今後はこれらの実証・開発を完遂し、商用仕様に準じた施設の実証を通して、商用規模の液化水素サプライチェーンの実現を目指す。

参 考 文 献

- 1) 大江, 藤極, “大型液化水素タンクの開発”, 産業機械, No.830, pp.23-25 (2019)
- 2) H. Suzuki, T. Yoshiyama, K. Shindo, and M. Nishimura, “International Liquefied Hydrogen Supply Chain”, International Conference on Power Engineering-2019
- 3) 猪股昭彦, 梅村友章, 河合務, 成尾芳博, 丸祐介, 武田実, 千田哲也: “液化水素用緊急離脱機構の熱応力特性”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第54巻, pp97-102 (2019)
- 4) A. Inomata, T. Umemura, J. Kawaguchi, T. Kawai, Y. Naruo, Y. Maru, T. Senda and M. Takeda, “Performance test and analysis of the developed emergency release system for liquefied hydrogen installed in loading systems”, Materials Science and Engineering, 502 (2019)



猪股 昭彦



橋本 成樹



山之内 耕一郎



山本 哲夫