

国際水素サプライチェーンと液化水素

川崎重工業株式会社 技術開発本部

海野 峻太郎

1. はじめに

低温工学・超電導学会関西支部 50 周年記念誌への投稿にあたり、この 10 年を振り返ると、水素社会に向けた LH2(液化水素)技術のレベルが、研究レベルから実運用レベルまで加速した。

10 年前の 40 周年記念誌でも「水素エネルギーと低温技術」を執筆したが、当時は 2011 年の東日本大震災による原子力発電所の事故により、将来のエネルギーに向けた論議が混沌する中で、環境負荷の小さい水素エネルギーへの期待が高まりつつあった¹⁾。その後、日本では 2020 年のカーボンニュートラル宣言により脱炭素化が加速されると、水素エネルギーへの期待が高まった。更に、昨年のロシアのウクライナ侵攻以降、水素は安全保障対策として重要度が増している。

本稿では、LH2 を水素キャリアとする国際水素サプライチェーンの構築に関する取り組みと構成設備等について述べる。

2. 国際水素サプライチェーン

当社は、将来の水素需要増加を予想して、海外から水素を輸入する「CO2 フリー水素サプライチェーン」構想を 2010 年に発表した。本構想では、豪州の褐炭からガス化・精製した水素ガス(発生 CO2 は回収・貯留する)を液化して LH2 を日本に海上輸送する。他水素源として豪州の再生可能エネルギーによる水素製造も有望である。本構想のイメージを図 1 に示す。サプライチェーンの商業化は 2030 年頃を目指す。その前段階の小規模チェーンは、日本側では当社主体の技術研究組合 HySTRA により、豪州側では豪州政府の補助を受けた当社の現地法人 HEA を中心としたコンソーシアムにより推進された²⁾。

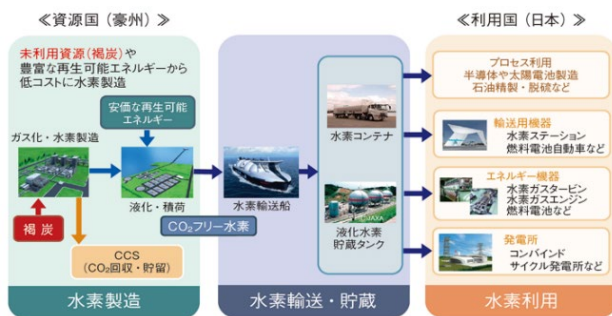


図 1 CO2 フリー水素サプライチェーン構想

3. LH2 と LNG

大規模輸送の水素キャリアとして、LH2、アンモニア、及び有機ヒドライド等が検討されているが、長期の商用実績のある LNG(液化天然ガス)技術が活用できる LH2 が水素キャリアとして有望である。表 1 に LH2 と LNG との物性比較を示し、LH2 の特徴は次の通り³⁾。

- ① 液密度が 70.8kg/m³ で LNG の約 1/6、大気圧・常温水素ガスの約 800 倍の高密度。
- ② 沸点は LNG より 90°C低い。
- ③ 体積当たりの潜熱は LNG の約 1/3。
- ④ 着火エネルギーが小さく、可燃性範囲が広い。

以上の特徴から LNG との物性ギャップを十分に考慮した LH2 関連設備の設計が重要となる。

表 1 液化水素と LNG との物性比較

物性	液化水素	LNG	
沸点	K (°C)	20.3(-253)	112(-162)
標準状態のガス密度	kg/Nm ³	0.089	0.717
飽和液密度	kg/m ³	70.8	442.5
飽和ガス密度	kg/m ³	1.34	1.82
潜熱	kJ/L (kJ/kg)	31.4 (444)	226(510)
低位発熱量	MJ/L (MJ/kg)	8.5 (120)	22.1 (50)
可燃性範囲	Vol %	4~75	5~15
最小着火エネルギー	mJ	0.02	0.33

4. 神戸液化水素荷役実証ターミナル⁴⁾

LH2 を揚荷又は積荷する荷役基地が夫々日本と豪州に必要となる。日本側の基地は神戸空港島に建設された。容積 2,500m³ の基地内 LH2 タンクは、JAXA 種子島宇宙センターの 600m³ タンクを凌ぎ、国内最大である。この LH2 タンクは外径 19m の球形二重殻タンクであり、断熱方式として真空パージ断熱方式を採用している。

基地内には LH2 タンク以外にローディングアーム(運搬船に LH2 を移送する荷役設備)、LH2 タンクからの蒸発ガスを回収貯蔵するガスホルダー等が建設された。ローディングアームはフレキシブルホース、フレーム駆動系及び ERS(緊急離脱機構)等から構成され、着岸した運搬船の動きに追従する機構を持つ。LH2 移送配管は入熱低減のため真空二重配管を採用した。図 2 に完成した LH2 タンクとローディングアームの外観を示す。



図2 神戸液化水素荷役実証ターミナル
(提供：HySTRA)

5. 液化水素運搬船⁵⁾

日豪実証プロジェクトにおいて、液化水素運搬船「すいそふろんていあ」が2021年度に建造された。液化水素運搬船は、二重殻貨物タンク(内容積1,250m³)1基を格納し、BOG(Boil Off Gas)を大気放出せずにタンク内に蓄圧する方式である。液化水素運搬船の写真を図3に示す。液化水素運搬船は、全長116m、全幅19m、総トン数約8,000トン、航速13ノット(24km/hr)であり、2基のLH2タンクを格納可能な船型であり、船首側に1基を搭載している。ディーゼル電気推進方式を採用して、豪州と日本の航海距離約9,000kmを約16日で航海する。

LH2タンクは巨大な魔法瓶のように、内槽、外槽及び内・外槽間の高真空スペースより構成される。スペース内に輻射入熱防止用の積層真空断熱材が採用され、内槽は低熱伝導率及び繊維強化樹脂製の支持材で保持される。支持構造は内槽が液化水素温度に冷却された時の内槽収縮変形を許容する。BOGは大気放出されず、タンク圧は上昇するが、上昇圧力は設計圧以下に制御される。タンク内にLH2荷役基地にLH2を移送する為の貨物ポンプとスプレーポンプ、及び液温度、圧力、液面を監視する計測設備等が装備される。貨物機械室内には圧縮機、加温器、蒸発器が設置される。液化水素運搬船の設計は、LNG、LPG等の液化ガス運搬船を規定するInternational Gas Carrier Codeがベースとなる。

2013年、当社は日本海事協会から世界初となる液化水素運搬船のCCS(貨物格納設備)の基本認証AiPを取得した。その後、CCSの設計、製造技術に関する国際的な論議がIMO(国際海事機関)の技術委員会で行われ、2017年に「IMO暫定勧告」が採択され、同年に安全基準が日豪間で合意された。

液化水素運搬船は2021年6月に神戸液化水

素荷役実証ターミナルに着岸し、CCS関連設備等の実液試験や日本近海沿岸のLH2満載航行試験を経て、2021年12月に船級を取得した。同年末に豪州に向け神戸液化水素荷役実証ターミナルから出港し、2022年1月初旬に豪州ビクトリア州ヘイスティング港に無事到着した。同地にて豪州産LH2を積載し、2022年2月末に神戸液化水素荷役実証ターミナルに帰港した。



図3 液化水素運搬船(提供：HySTRA)

6. あとがき

脱炭素化が国内外で加速する中、水素社会の実現への期待は更に大きくなった。今回の実証試験の成功によりLH2システムの有効性を示した。特に液化水素運搬船の役割は大きく、世界初のLH2海上輸送は、2030年頃の大量水素輸送の実現を近づけた。

次の60周年記念までには、極低温技術と水素技術のシナジー効果により更なる発展を期待する。

最後に、上記の日豪実証プロジェクトはNEDOの課題設定型参照技術開発費助成事業「未利用褐炭水素大規模輸送サプライチェーン構築実証事業」の一環として実施しており、ここに感謝の意を表す。

7. 参考文献

- 1) 神谷祥二：2015年以降の中長期を睨んだ液化システム、水素エネルギーシステム(2011)
- 2) 西村元彦他：国際液化水素サプライチェーン構築への取組み、川重技報(2020)
- 3) 神谷祥二他：液化水素をキャリアとする水素チェーンの実用化に向けて、水素エネルギーシステム(2018)
- 4) 猪股昭彦他：水素をためる -液化水素基地の開発-、川重技報,(2020)
- 5) 村岸治他、：水素をはこぶ -液化水素運搬船の開発-、川重技報,(2020)