

競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／総合調査研究／
液化水素流体機械・機器の性能評価に関連する標準化・ガイドライン策定の課題整理に係る調査

団体名：学校法人 早稲田大学、国立大学法人 東北大学流体科学研究所
発表日：2025年7月15日

目的

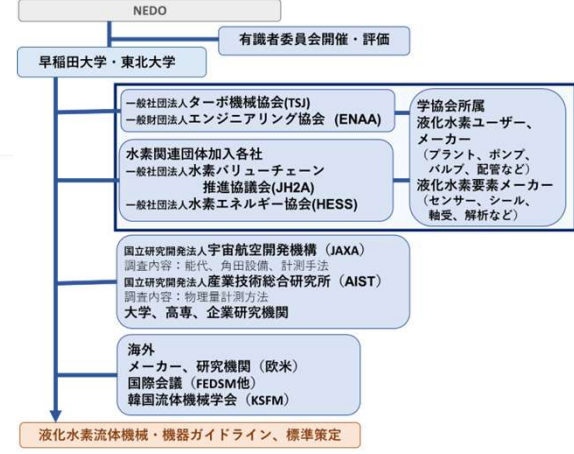
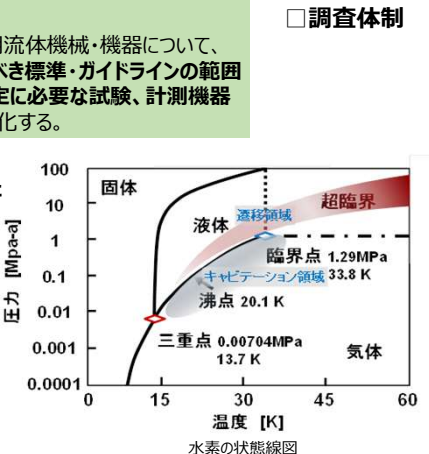
液化水素輸送の際に必要なポンプ、バルブ等の液化水素用流体機械・機器について、メーカー、ユーザー双方の立場から性能評価に際して適用されるべき標準・ガイドラインの範囲を、その効果とともに明確化する。また、標準化・ガイドライン策定に必要な試験、計測機器及び計測手法と技術課題とその解決策をその費用とともに明確化する。

背景

液化水素性質の特異性（圧縮性、沸点、臨界点）を考慮した計測、性能評価

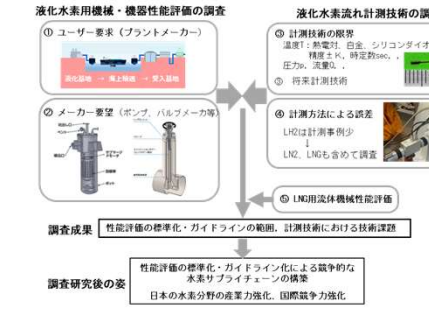
- a. ポンプの輸送能力喪失の主要因であるキャビテーション（液化水素が持つキャビテーション抑制効果の把握と抽出）
- b. 臨界点近傍（気体と液体が共存できる境界の温度・圧力条件の周辺）で生じる流体物性の急変現象
- c. 外部入熱により発生するボイルオフガス（沸騰現象）

※宇宙分野での液化水素利用が先行しているが、運用形態（オフ・デザイン運転、長時間運転）やコスト要求が異質であることなどにより、水素社会向け設備の具体化には多くの技術課題が残されている。



調査方法

液化水素用流体機械・機器の性能評価に関して
① ユーザー（プラントメーカー）の要求
② 流体機械・機器メーカーの要望
③ 現状の計測技術の計測精度
④ 計測方法による計測誤差
⑤ 先行するLNG分野における標準・ガイドラインを調査する。
①～⑤の調査結果を総合し、性能評価の標準化・ガイドラインの適用されるべき範囲と、計測技術における技術課題を導く。



得られる効果

- 標準化・ガイドライン策定による液化水素インフラの性能・信頼性の確保
- 性能評価の標準化による高い性能のポンプ、バルブの適用
- メンテナンスコストの低減
- 性能評価の精度向上によりマージンを低減、システム全体の最適化が可能
- 競争的な水素サプライチェーンの構築
- 日本の水素分野の産業力強化、国際競争力強化

標準化・ガイドライン策定の課題

各事業者間でコンセンサスを得ることのできる共通領域、競争領域の境界設定
全ての性能評価項目を標準化するとすると

推奨される試験構成 (例) 条件設定 (試験ベースライン)：			
●温度：-253℃ (20 K) (液体水素環境)			
●圧力：最大30 MPa (定格評価は15-25 MPa範囲)			
●流量：ポンプ≧100 kg/h、バルブは30-300 g/sレンジ			
●使用回数：10^5サイクル以上を想定した耐久評価			
試験項目	概要	評価基準	
定格性能試験	圧力・流量・温度安定性を記録	定格内動作が連続60分可能	
動的応答試験	立ち上り時間・回転変動・圧力応答	オーバーシュート<10%	
キャビテーション試験	NPSH測定・流量境界の特性化	NPSH ₃ を明確化	
振動試験	回転軸ブレ・応力波形計測	設計域内変位・共振回避	
寿命加速試験	周期動作×環境再現	性能変化<±10%以内	
漏洩試験	低温・圧力環境下リーク確認	Heベース<10 ⁻⁷ Pa・m ³ /s	
項目	目的・内容	関連規格／試験プロトコル	
機能評価	流量・圧力応答・温度安定性試験 (実運用条件模擬)	LLNL実験手法／HGV 3.1耐圧・性能試験	
劣化耐久	長期サイクル (300~1,000回)／連続運転 (100~300時間) での性能維持確認	LLNL・MH実績／HGV 3.1耐久連続試験	
ボイルオフ損失	充填中・保管中の蒸発量測定 (初期最大3%→安定後0.25%以下)	LLNL解析法	
電力消費・効率	kWh/kgH ₂ 値の計測と最適化	EC-79、ANSI/CSA HGV 3.1, RDW	
耐圧・漏洩	最大350/700 bar圧力下でのリーク試験	EC-79／HGV 3.1条項	
耐環境試験	耐低温／高温／振動／腐食／UV劣化など	EC-79／HGV 3.1条項	

→この中から、各事業者の競争できる領域を残しつつ、事業者間で共通であることが有効である項目について、標準化・ガイドライン化を行う必要がある

極低温計測機器 (③)

物理量	方式	液化水素実績	気液二相流	備考 (数値は代表的なメーカーのもの)
温度	白金/白金コバルト温度抵抗体	○		
	セルランクス (半導体)	○		
	シリコニダオード	○		精度±12 mK@10K, 時定数100ms @77K
	エタパ熱電対	○		
	金鉄クロメル熱電対	○		
流量	タービン	○	×	
	コリオリ	○	○	Qmax=56,000 L/min, Pmax=35MPa, タービン流量計を用いてコリオリ流量計を校正
	渦式	×	×	Qmax=2510 m ³ /h, Tmin=-269K
圧力	ひずみ式	×	(気)	ガス化して静圧計測
	圧電式水晶計	○	(気)	フラッシュマウントで変動圧をガス化して静圧計測
	ダイヤフラム式	×	(気)	Tmin=-20℃, Pmax=100MPa
	ブルドン管	×	(気)	ガス化して静圧計測
	光学式	○		Tmin=-10℃, Pmax=60MPa
液面	差圧	○		現在開発中, Tmin=-253℃, Pmax=100MPa
	静電式	○		

調査結果の例

欧米の液化水素試験装置 (②)

ヨーロッパの試験設備、ベンダー
1. Kiwa 社 (オランダ) - H₂ラボ
● 圧力耐性：最大1,100 bar (110 MPa)、温度 -50~+120 °C
● 自動車用部品やFC部品の試験・認証サービスを提供
● EUおよび北米基準 (例：HGV 3.1) に対応
● 広い圧力範囲での高い実績。要件にマッチしない場合でも用途拡張性がある
2. ET EnergieTechnologie GmbH (ドイツ)
● 標準で液化水素に対し40 MPa (約400 bar) までの試験設備を有する
● スペース・自動車・産業用途の試験を手がけ、試験台設計・認証まで対応
3. Cryostar (フランス)
● LH₂用ピストンポンプA-MRP 40/55-KJシリーズ
● 60 g/s 程度の吐出能力 (≒約30 MPaのガス圧換算域)
● 省エネ、ボイルオフ低減、安全設計が特徴

アメリカの試験設備・機関
1. Chart Industries (ミネソタ州 New Prague)
● 2021年6月開設のLH₂専門 Cryogenic Test Facility
● -423°Fまでの温度制御、99.999%高純度LH₂、計測機器完備
● バルブ・ポンプ・接続部・メーターなどの試験対象
● 吐出圧30 MPa以下のLH₂ポンプ試験に最適。性能・耐久・規格適合の評価が可能
2. LLNL (ロサンゼルス・リバモア国立研究所)
● 875 bar (87.5 MPa) LH₂ポンプ搭載の大規模テスト設備を保有
● 700 barでの456回サイクル試験を実施。性能・劣化・ボイルオフなど詳細評価済み
● 30 MPa以下については過剰仕様かもしれませんが、研究基準の評価に利用可能

LNG用流体機械性能評価 (⑤)

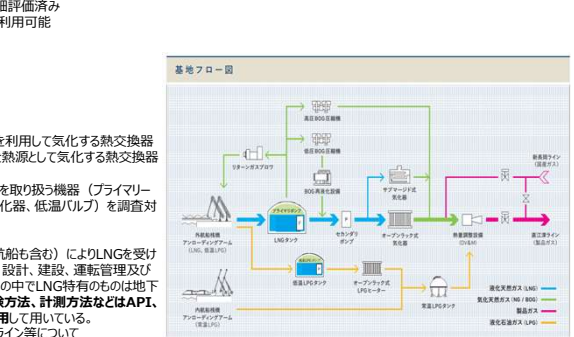
1. LNG基地と構成設備 (ex. INPEX直江津LNG基地)
・アンローディングアーム (荷役設備)
・LNG貯蔵タンク (貯蔵設備)
・オフブランク式気化器 (ORV)：海氷を利用して気化する熱交換器
・サブマージド式気化器 (SMV)：緊急時に天然ガスの燃焼を熱源として気化する熱交換器
2. 調査対象 (低温流体を使用する流体機械・機器)
上記の設備のうち、極低温流体としてLNG (液化天然ガス) を取り扱う機器 (プライマリーポンプ (サブマージドポンプ)、セカンダリポンプ、オフブランク式気化器、低温バルブ) を調査対象とする
3. 低温流体を使用する流体機械・機器の性能評価の方法
「LNG受入基地設備指針JGA指-102-221：LNG船 (内航船も含む) によりLNGを受け入れる基地のLNG設備 (LNG貯槽を除く) について、その計画、設計、建設、運転管理及び維持管理に係る事項を規定した総合的な技術指針。この指針の中でLNG特有のものは下式指針やタンクローリーにかかわるもので、例えばボンプ性能や試験方法、計測方法などはAPI、ASME、JEA、JGA、JIS、JPIの一般的な規格や指針等を用いている。
4. LNG 等で使用される性能評価方法の現状、標準・ガイドライン等について
LNGに関するISO規格では、自動車向けの規格と船舶向けの規格が産業用及び発電設備用の規格に比べて多い。特に、自動車向けのCNGに関する規格が1998年頃に、LNGに関する規格が2010年にまとまって提案されている。また、例えばISO-22547 (2021)：船舶用LNG燃料ガス供給システムの高圧ポンプの性能試験手順」は比較的近年の2017年に提案されている。

液水計測実施者所見の一例 (④)

- 液水仕様の計器はほとんどないため、原理的に使えるものを校正して使用
- 温度計測方法の標準化が必要 (複数意見)
- 二相流状態がわからないと計測が正しいかどうか判断できないため、ボイド率計の開発に期待
- 真空断熱の維持としては真空計も重要

国内外の液化水素ポンプ試験装置 (閉ループ) (②)

企業	主な製品／用途	特徴
三菱重工業 (MHI)	90 MPa 昇圧ポンプ	高圧・高流量、FCV向けステーション用
Torishima 京大	高流量・高効率LH ₂ ポンプ (能代)	超電導モーター活用
荏原 (Ebara)	発電用ガスタービン向け LH ₂ ブースターポンプ開発中	-253 °C、大流量対応
Cryostar	A-MRPピストン、SUBTRAN移送ポンプ	ステーションへ輸送用途に実績多数
Barber-Nichols	BNHP in-line、スラッシュ水素ポンプ	密閉構造、NASA向け実証例あり
Nikkiso	遠心・往復運動ポンプ	50年以上のクライオ技術
Kindyo Suncy	ボンプ・コンプレッサー全般	バリエーション全体をカバー
FirstElement Fuel社 (FEF)	90 MPa 昇圧ポンプ	水素ステーションで連続長期耐久試験 (累計250→1,200時間)
Linde (Germany)	圧縮ユニット (最大100 MPa)	高圧水素ガス供給に強み
Air Liquide (France)	液体・圧縮水素ガス供給	グローバル供給、エンジニアリング力あり
Nel ASA (Norway)	水素製造・貯蔵・供給ソリューションステーション含む一貫供給	



LNG基地フローイメージ