

発表No.E-5

「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／  
液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」

発表者名：大江 知也

団体名：トヨカネツ株式会社

北海道大学

発表日：2022年7月29日

# 事業概要

## 1. 期間

開始：2019年7月

終了：2023年3月

## 2. 最終目標

実施項目	最終目標
I：真空排気システムの確立	数か月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。
II：内槽底部への入熱量算定手法の確立	底部断熱構造の精度良い伝熱解析手法を確立する。
III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	液化水素貯槽の使用環境下でも安全な継手となるSUS316Lの施工法を確立する。

## 3. 成果・進捗概要

実施項目	成果・進捗概要
I：真空排気システムの確立	シミュレーションや実験により、考案した真空排気方法及び貯槽構造で所要の真空度が得られることを概ね確認した。
II：内槽底部への入熱量算定手法の確立	底部断熱構造（1/3スケール）の断熱性能が実測できる装置を製作し、測定中である。今後、取得データと伝熱解析値を比較・分析する。
III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	破壊靱性試験（JIC試験）より、十分に破壊靱性を有すること、また、低歪速度引張試験（SSRT試験）により、水素脆化感受性は非常に低いことを検証した。疲労き裂進展試験、疲労試験により、繰り返し荷重耐性を検証中である。

# 1. 事業の位置付け・必要性

## ◆本事業を実施する背景や目的

### 背景

- ・水素は、燃焼時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、将来の二次エネルギーの中核的役割を担うことが期待される。
- ・2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会である「水素社会」の実現に向けた取組みを加速することが定められた。
- ・これを受けて、2014年6月に経済産業省は「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を策定し、その中で、水素発電の本格導入といった水素需要拡大の必要性が示された。

### 目的

- ・2030年頃の水素発電の商用化に向けた、安定的かつ大量な水素供給体制の構築に資する、大型液化水素貯槽の建設に必要な要素技術の開発を行う。
- ・これまで当社では、平底円筒形の大型液化水素貯槽の真空断熱構造を東京工業大学と開発してきた。
- ・実機建設に繋がるベンチスケールプラントによるシステム実証実験に向けた更なる課題として、「Ⅰ：真空排気システムの確立」、「Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立」及び「SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立」があるため、本事業においてこれらを解決する。

## ◆本事業の位置づけや意義、必要性

- ・大型液化水素貯槽の開発は、CO2フリー水素サプライチェーン実現の鍵であり、エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が高い。
- ・世界的にも前例がない極めてチャレンジングな開発テーマであり、事業化するまでに時間を要し、民間単独では開発リスクが大きいことから、国の支援が必要。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### ◆研究開発の目標と目標設定の考え方

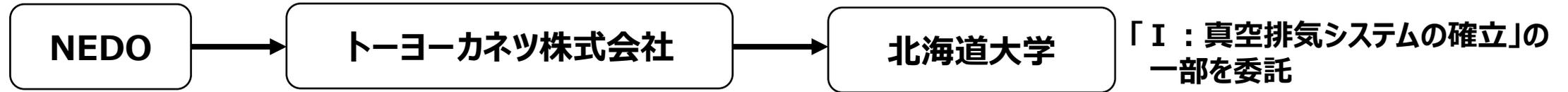
研究開発項目	研究開発目標	根拠
I : 真空排気システムの確立	数か月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。	トヨタカネツ(株)はLNG等の大型極低温貯槽の納入実績を有し、既存技術の延長という形で大型液化水素貯槽の製作が可能である。 本事業開始までに、東京工業大学と真空断熱構造を開発したが、残る課題として、真空排気方法の構築があるため、本目標を設定した。
II : 内槽底部への入熱量算定手法の確立	底部断熱構造の精度良い伝熱解析手法を確立する。	底部断熱構造の伝熱量は、伝導とふく射を考慮した熱解析により算定できるが、伝熱経路が複雑であることから、熱解析手法の妥当性を検証する必要があるため、本目標を設定した。
III : SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	液化水素貯槽の使用環境下でも安全な継手となるSUS316Lの施工法を確立する。	LNG貯槽の溶接継手に要求される機械試験（引張試験、曲げ試験、シャルピー衝撃試験）での安全性は検証済みであったが、液化水素貯槽においては、更に、破壊靱性、疲労、水素脆化に対する安全性を検証する必要があるため、本目標を設定した。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### ◆研究開発スケジュール

研究開発項目	2019年	2020年	2021年	2022年
I : 真空排気システムの確立		ガス放出量（設計基礎データ）の測定		
		ベーキング手法の確立		
		底部断熱構造の詳細仕様の決定		
		シミュレーションの構築及び検証実験、詳細設計、組立方法の決定		
			真空排気システムの確立	
			真空ポンプ仕様決定、貯槽底部実証実験	
II : 内槽底部への入熱量 算定手法の確立			断熱性能測定装置の設計・製作	断熱性能測定
			底部断熱構造（1/3スケール）の設計・製作	熱解析手法の確立
III : SUS316Lの溶接材料を 使用した溶接施工法の確立	継手作製		継手作製	
		試験・評価 破壊靱性、水素脆化		試験・評価 疲労特性、水素脆化（追加）

### ◆研究開発の実施体制



### ◆知的財産権等に関する戦略

○平底円筒形大型液化水素タンクの断熱構造を設計をする段階で、3件の特許を出願済。

①特願2018-071914

(断熱パネル構造、液化ガス貯蔵容器、及び断熱パネル構造の製造方法、並びに液化ガス貯蔵容器の製造方法)

②特願2018-154158 (断熱床構造)

③特願2018-154159 (アンカーストラップ構造)

○本事業に伴い、真空断熱貯槽構造とその製造方法に関して1件の特許を出願済

①特願2022-111671 (平底円筒形大型極低温タンク及びその製造方法)

○引き続き、研究開発を行う過程で新しい知見が得られた場合は特許出願を予定

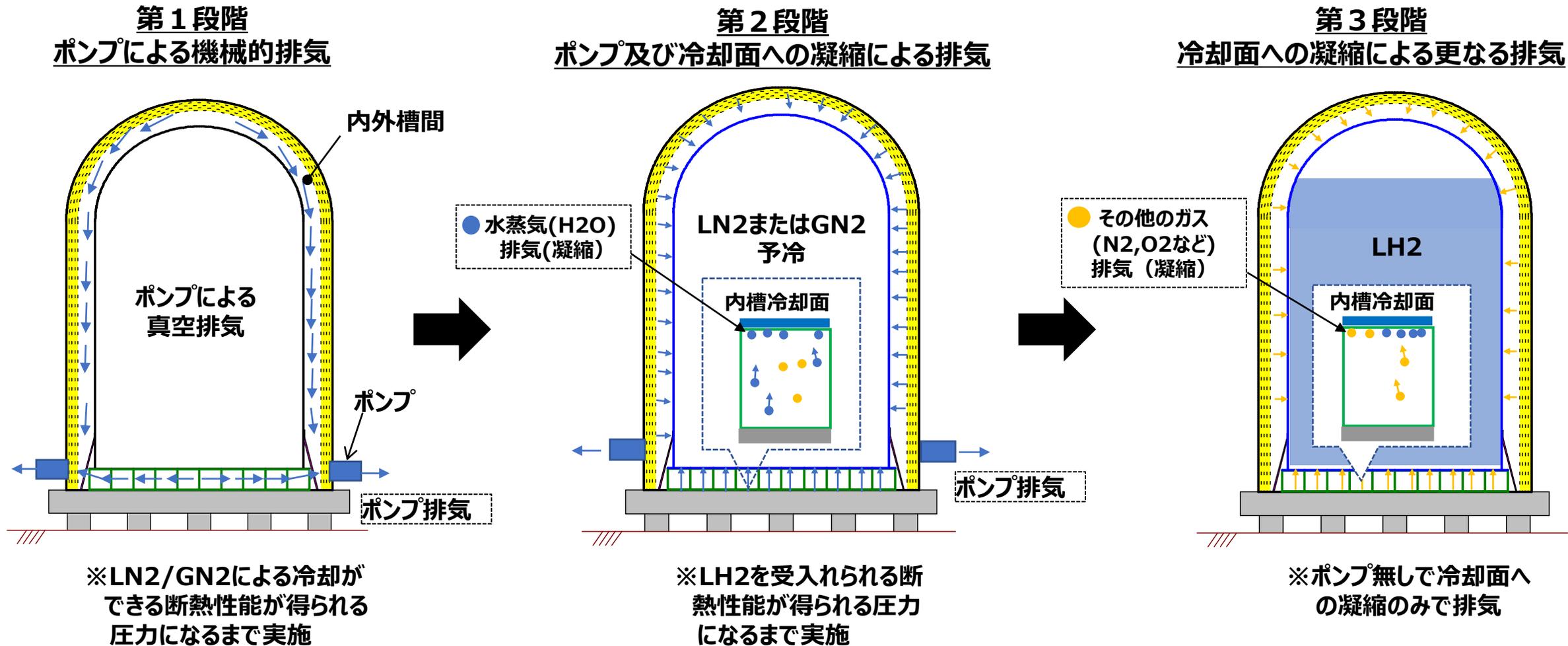
### 3. 研究開発成果について

#### ◆研究開発の目標及び進捗状況

研究開発項目	最終目標	これまでの成果
I : 真空排気システムの確立	数か月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。	<ul style="list-style-type: none"><li>・貯槽内の主要材料のガス放出量を測定し、設計基礎データを取得した。</li><li>・大型タンクに適用可能なベーキング手法を決定した。</li><li>・<u>貯槽底部のポンプ排気時における圧力分布を計算するシミュレーションを開発し、実験によりその妥当性を検証した。</u></li><li>・底部断熱構造の詳細仕様を決定した。</li><li>・<u>内槽予冷時のクライオ効果により、貯槽底部が所要の真空度になることを実験により実証した。</u></li></ul>
II : 内槽底部への入熱量算定手法の確立	底部断熱構造の精度良い伝熱解析手法を確立する。	<u>底部断熱構造（1/3スケール）の断熱性能を実測できる実験装置を設計・製作した。（現在、測定中である。）</u>
III : SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	液化水素貯槽の使用環境下でも安全な継手となるSUS316Lの施工法を確立する。	<ul style="list-style-type: none"><li>・<u>破壊靱性試験（JIC試験）を実施して、十分な破壊靱性を有することを確認した。</u></li><li>・<u>低歪速度引張試験（SSRT試験）を実施して、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。</u></li><li>・疲労き裂進展試験を実施した。（現在、評価中である。）</li></ul>

### 3. 研究開発成果について

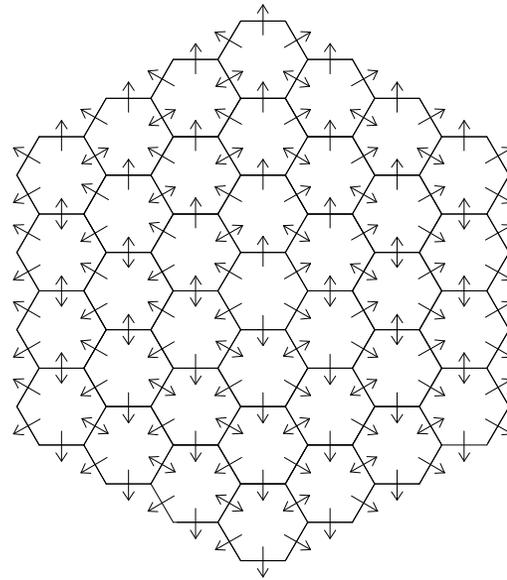
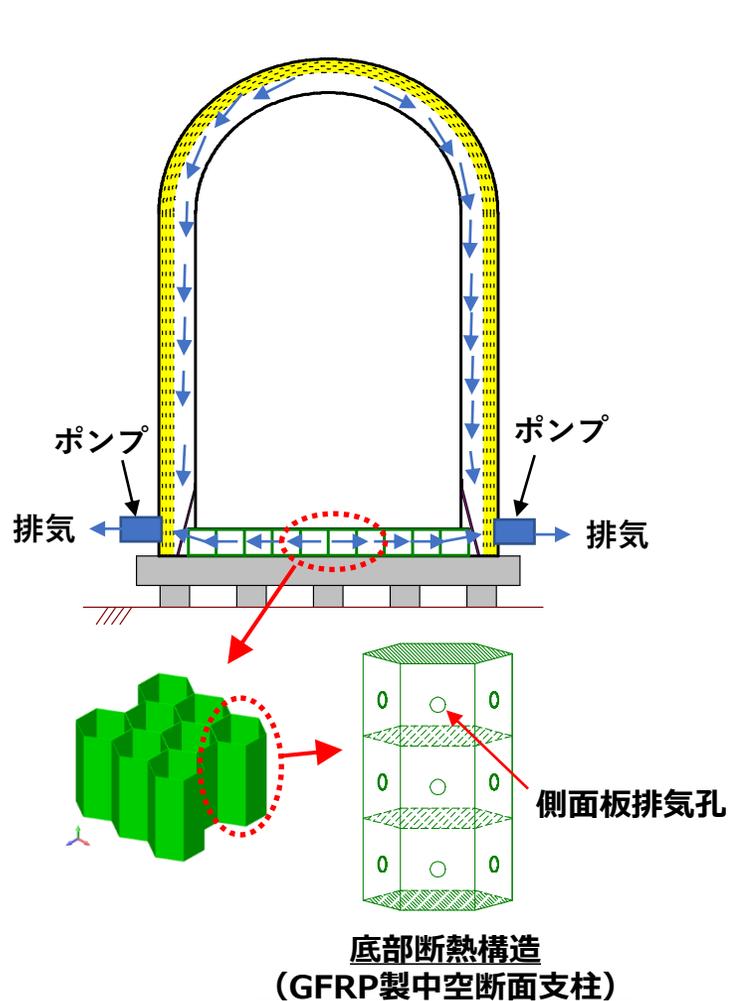
#### I : 真空排気システム的确立 (1) 真空排気方法



### 3. 研究開発成果について

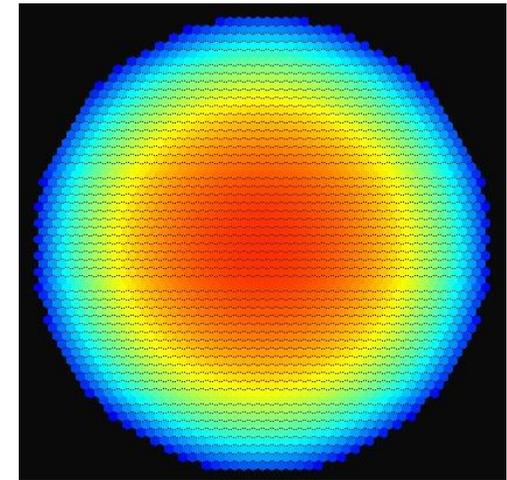
#### I : 真空排気システムの確立 (2) 底部断熱構造集合体の真空排気シミュレーション及び検証実験 (その1)

ポンプ排気時に必要な底部断熱構造側面板の排気孔径を決定するため、底部断熱構造集合体の圧力分布を算定するシミュレーションプログラムを開発し、実験によりその計算手法の妥当性を検証した。



底部断熱構造の平面配列と  
ガスの流れ

底部断熱構造集合体のガスの流れは複雑であり、数量が多い（1万m<sup>3</sup>で約1700個、5万m<sup>3</sup>で約5300個）ため、真空排気シミュレーションプログラムを開発した。

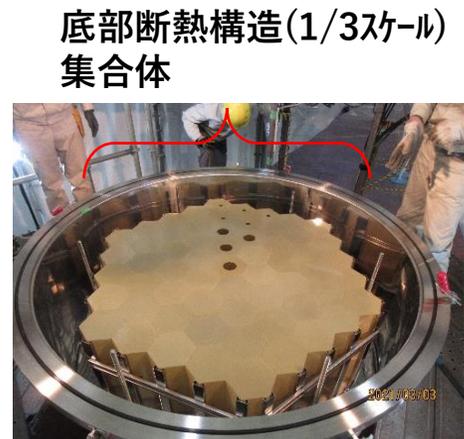
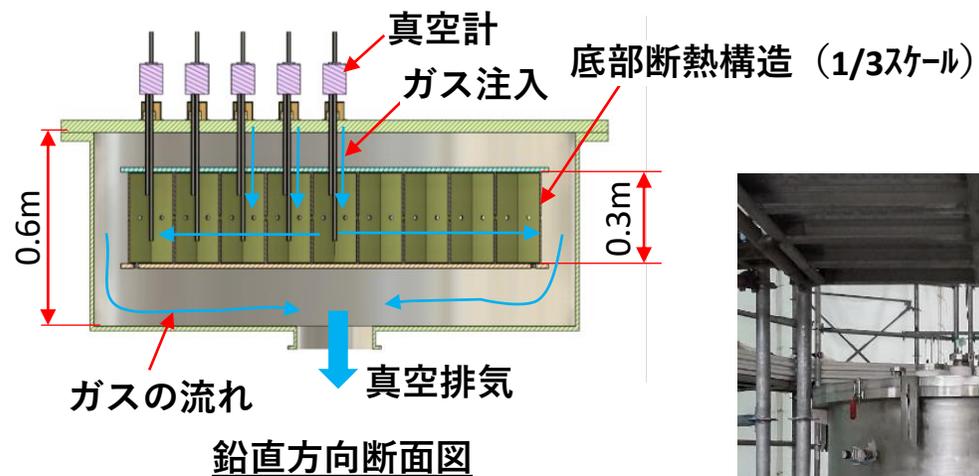


シミュレーションプログラムによる  
底部断熱構造全体の圧力算定結果  
赤 (圧力高) ⇔ 青 (圧力低)

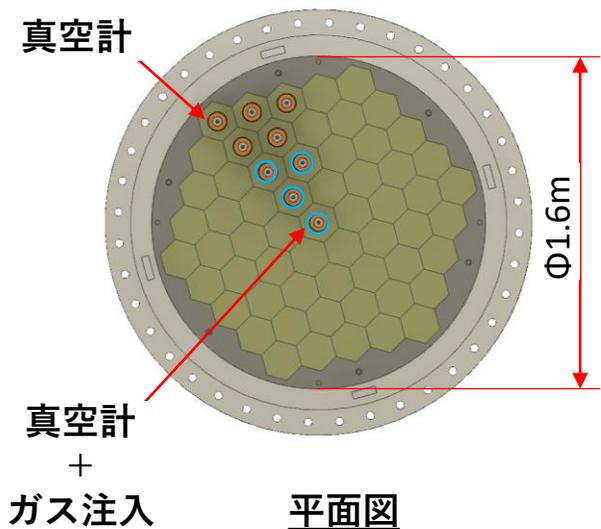
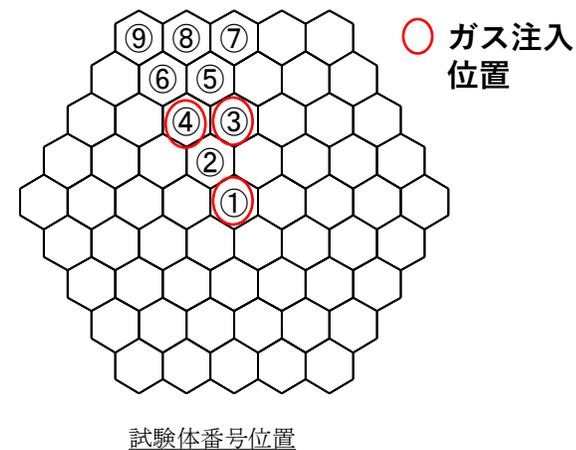
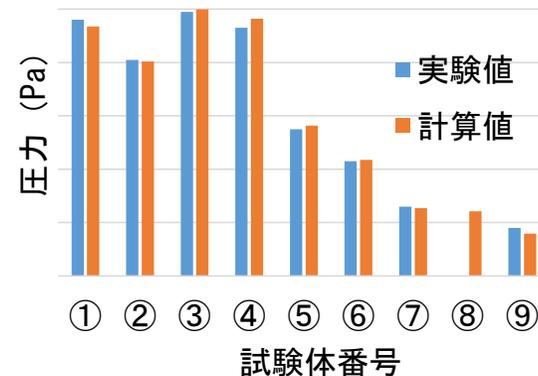
所要圧力以下になるように、底部断熱構造の側面板の排気孔形状を決定した。

# 3. 研究開発成果について

## I : 真空排気システムの確立 (2) 底部断熱構造集合体の真空排気シミュレーション及び検証実験 (その2)



装置写真 (上蓋無し)

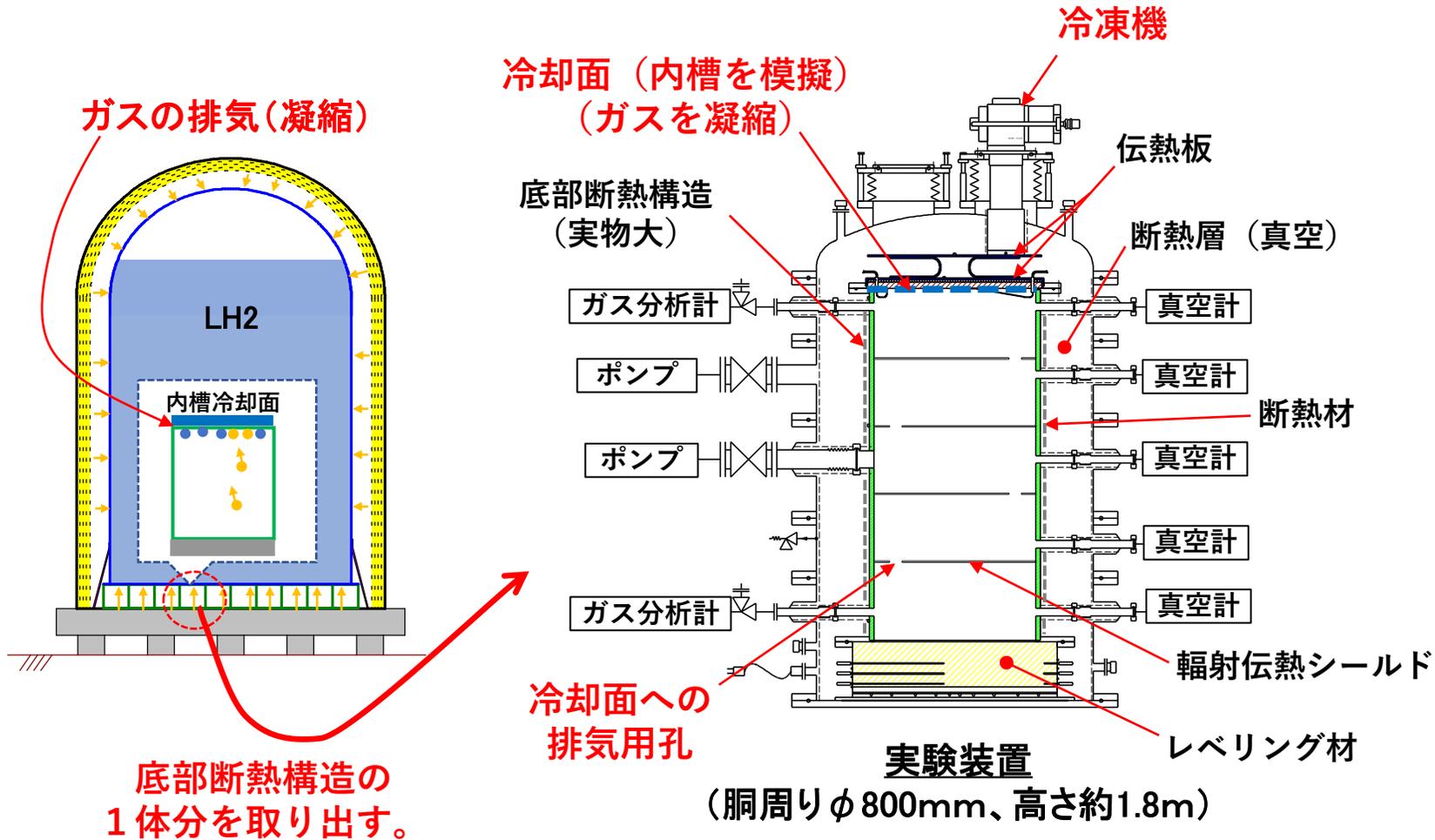


**実験結果**  
圧力レンジに対して実験値と計算値の差異は5%以下であり、シミュレーションは妥当といえる。

### 3. 研究開発成果について

#### I : 真空排気システムの確立 (3) 貯槽底部真空排気実証実験 (その1)

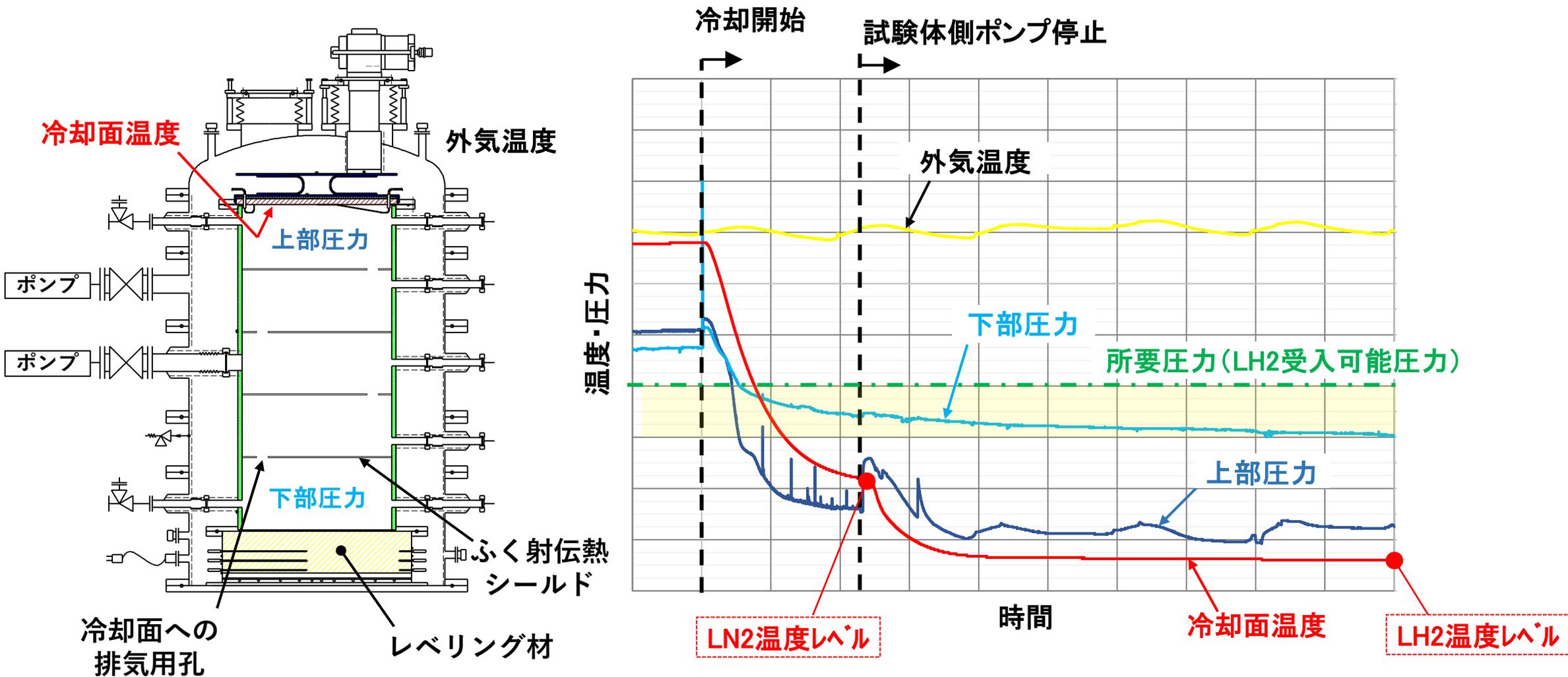
冷却面へのガスの凝縮により、内外槽間のガス量を減少させて、所要の真空度が得られることを、実物大底部da断熱構造を使った模擬実験により実証する。



実験装置写真

### 3. 研究開発成果について

#### I : 真空排気システムの確立 (3) 貯槽底部真空排気実証実験 (その2)

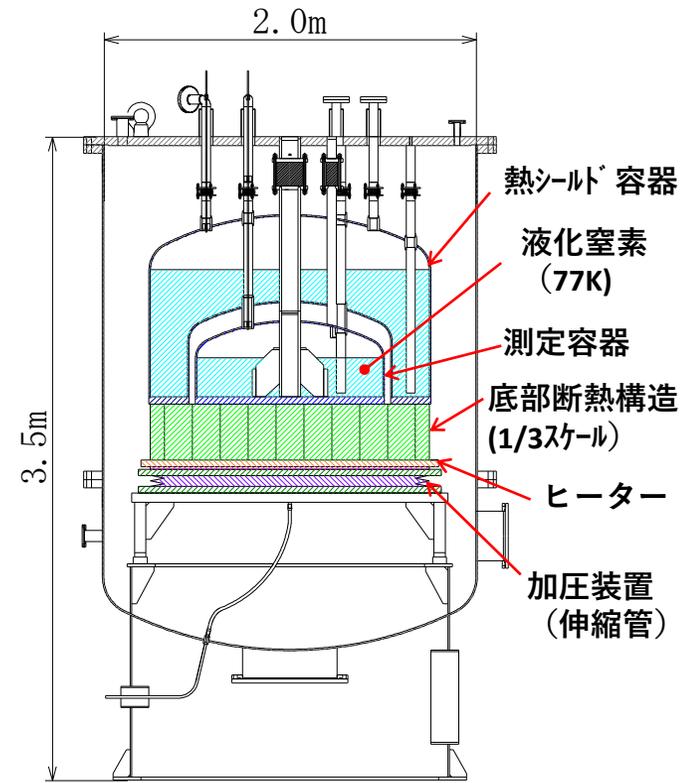
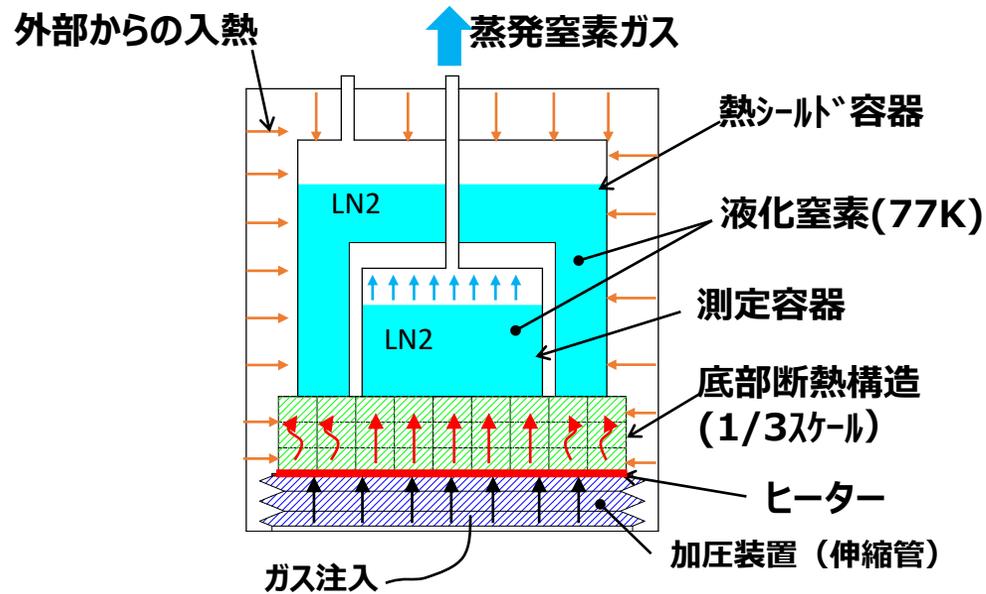


**冷却面にガスを排気（凝縮）させることで所要の真空度を得られることを検証した。**

### 3. 研究開発成果について

#### II : 内槽底部への入熱量算定手法の確立

これまでの東工大との研究において、底部断熱構造集合体から内槽への入熱量は熱解析で算定していた。この妥当性を検証するため、底部断熱構造集合体（1/3スケール）の断熱性能を実測し、得られた実測データと解析値とを比較分析をすることで、精度が高い解析手法を確立する。



- [測定容器通過熱量] = [窒素ガス質量流量] × [蒸発潜熱]
- 熱電対（6ヶ所/一体 × 13体 = 78ヶ所）により温度測定
- 熱シールド容器により、測定容器への入熱を防止する。
- 加圧装置により、実機と同等の圧縮荷重を作用させる。

断熱性能測定装置

### 3. 研究開発成果について

#### Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立

液化水素貯槽の使用環境下でも安全であるSUS316Lの溶接継手の施工法を確立する。

##### (1) 破壊靱性試験 (JIC試験)

-269℃環境でJIC試験を実施した結果、溶接金属部及び Fusion Line部共にASMEやJIS B 8267で要求される破壊靱性値 (KIC値) 132 MPa $\cdot\sqrt{m}$ を上回っており、十分な破壊靱性を有していることを確認した。



破壊靱性試験 (J<sub>IC</sub>試験) 装置

##### (2) 低歪速度引張試験 (SSRT試験)

-70℃での低歪速度引張試験 (SSRT試験) を実施した結果、水素チャージした場合であっても、十分な絞りが得られたこと、また、相対絞りは、水素チャージの有無に関わらず、低下しなかったことから、水素感受性は非常に低いと考えられる。



低歪速度引張試験 (SSRT試験) 装置

## 4. 今後の見通しについて

### ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 当該製品は、水素サプライチェーンの上流の供給元での設備、また、下流の需要家での設備の双方に採用される。
- 顧客は、水素供給者、大口需要家である電力会社、ガス会社、石油会社等エネルギー関連の会社となる。また、液化水素基地の施設全体を建設するゼネラルコントラクター、エンジニアリング会社等、コントラクターを通しての販路もある。
- 現在のLNGチェーンと同様に、水素利用が世界的な広がりを見せることが予想されるので、グローバル市場への参入を想定している。

### ◆成果の実用化・事業化の見通し

- 当該製品は、水素・燃料電池戦略ロードマップにおけるターゲット『2030年頃の水素発電の商用化』に向け必須の製品であり、概ね技術的課題解決への道筋が見えていることから、事業化の可能性は十分に高いものと考える。
- 貯槽専門メーカーである当社は、既存事業の延長という形で参入し、継続した受注により、技術水準、経済性を高め、高い競争力を維持することが可能である。その背景として、
  - ・既存の貯槽関連事業における人的資源をそのまま転用できる。
  - ・自前の貯槽製作工場を運営しており、案件が具体化すれば即時に製作を開始できる。
  - ・国内、海外での建設工事实績から、貯槽工事業者、貯槽専門工を多く擁している。
  - ・LNG貯槽、その他大型貯槽で築いたブランド力があり、顧客への強い訴求力がある。

# 4. 今後の見通しについて

## ◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組み

