

液化水素輸送船の安全性評価 に関する研究開発(その2)

2015年9月

川崎重工業株式会社
岩谷産業株式会社
川崎汽船株式会社

1. 背景

【国際社会のニーズ】

- ・低炭素社会への移行

温室効果ガス削減目標「2050年に、1990年比で80%削減」

【解決策】

- ・CO₂フリー水素の導入

CO₂を排出しない自然エネルギー由来
あるいは
製造時に発生するCO₂を回収・貯留

川崎重工業の水素サプライチェーン構想

海外の未利用エネルギーを活用して水素を大量製造

→ 液化して日本国内あるいはその他へ海上輸送

→ プロセス利用・輸送用機器/エネルギー機器・発電所で利用

【課題】

- ・液化水素の海上輸送が必須であるが規定がない。
- ・液化水素の取り扱いや漏洩時に関する安全性評価が必要。

2. 目的

【前期研究事業での実施内容】

- ・液化水素輸送船の概念設計
- ・リスク評価設計
- ・液化水素が漏洩時を想定したシミュレーションおよび試験



- ・現行規格の一般要件/特別要件を検討
- ・追加項目の提案に反映

【本研究の目的】

今期の研究開発ではさらに一歩進め、積荷・揚荷他の液化水素運搬船の運用操作について、リスク評価、安全対策の検討を行うとともに、明らかになった課題について、シミュレーションおよび要素試験にて対策を検討する。

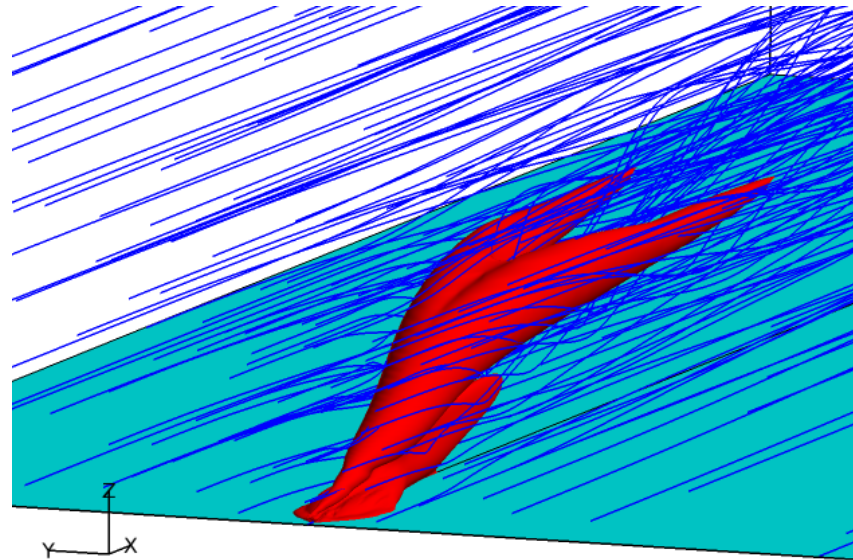
3. 事業内容

【本研究の実施内容】

- (1) 液化水素漏洩・放出に関する要素試験
- (2) 液化水素漏洩・放出に関するシミュレーション
- (3) 固体窒素生成に関する要素試験
- (4) 液化水素輸送船のオペレーション検討



LH2漏洩・放出試験



LH2放出シミュレーション



固体窒素生成試験

3. 事業内容 (1)LH2漏洩・放出に関する要素試験

【背景】

液化水素を海上輸送する際のハザード

- ・積荷/航行/揚荷中の液化水素の漏洩
- ・非常時の海上投棄(液化水素の海上への放出)

液化水素の漏洩・放出に関する安全性評価を行う場合、
シミュレーション技術を活用することが有効。



課題 :シミュレーションモデル構築のための
必要なデータが少ない。

【目的】

シミュレーションモデル構築に必要なデータを収集するために、
外乱の少ない屋内で液化水素を漏洩させた際の拡散挙動を
定量的に把握する。

3. 事業内容 (1)LH2漏洩・放出に関する要素試験

【試験項目】

- 100Lの液化水素をノズルより下方、もしくは上方に向け放出し、
- ・液化水素の蒸発・拡散現象を調査する。
 - ・水素の拡散現象を水素濃度計を用いることで把握する。

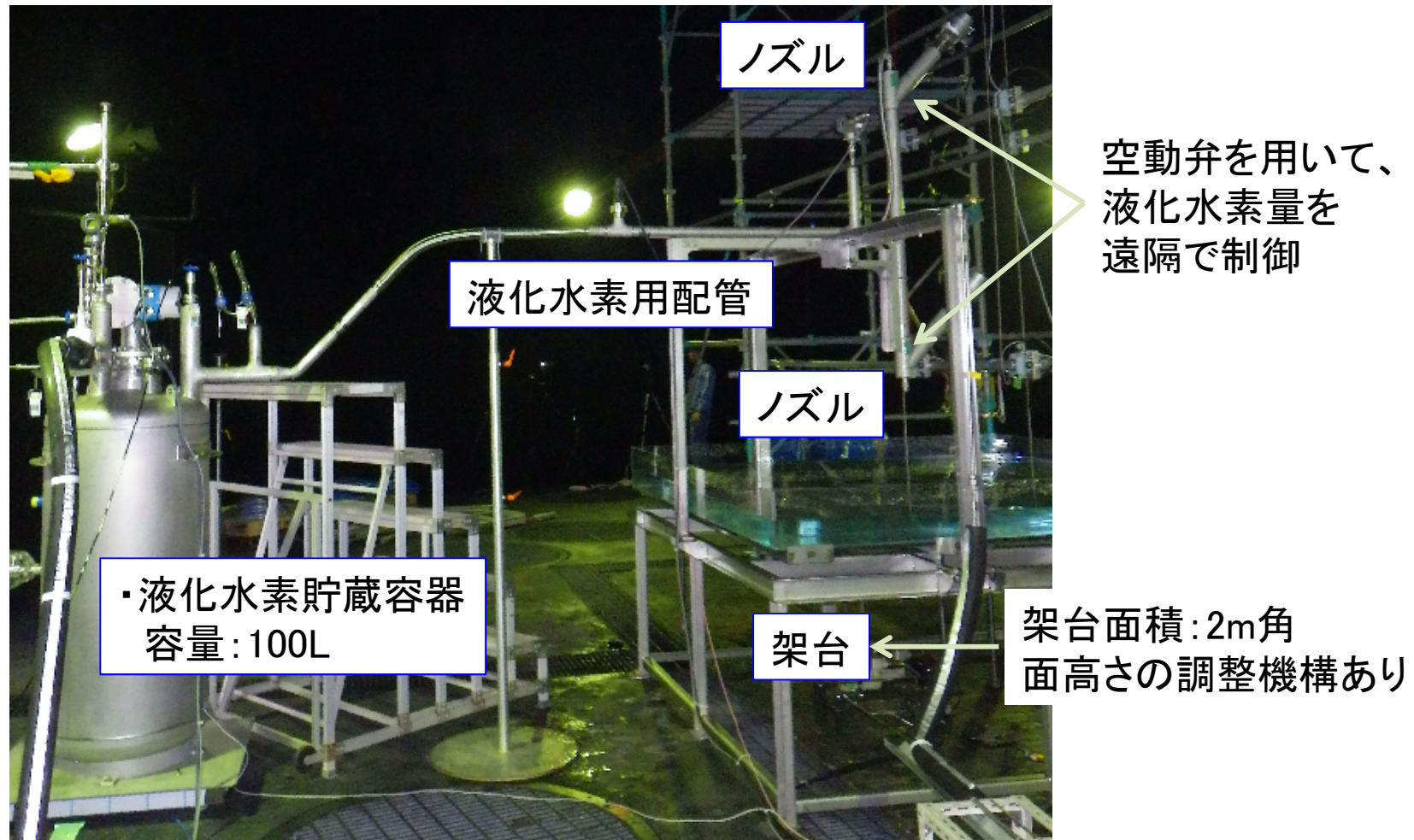
【試験パラメータ】

ノズル孔径のサイズ/方向・受け面をパラメータに試験を実施。

ノズル孔径	想定事象	方向	受け面	模擬対象
0.2 mm	継ぎ手からの漏れ	上方	(大気)	配管からの漏れ 海上投棄
1.0 mm	海上投棄の基礎データ	下方	SUS316L	デッキ上への漏れ
3.0 mm	海上投棄の基礎データ	下方	水面	海上投棄

3. 事業内容 (1)LH2漏洩・放出に関する要素試験

【試験設備】

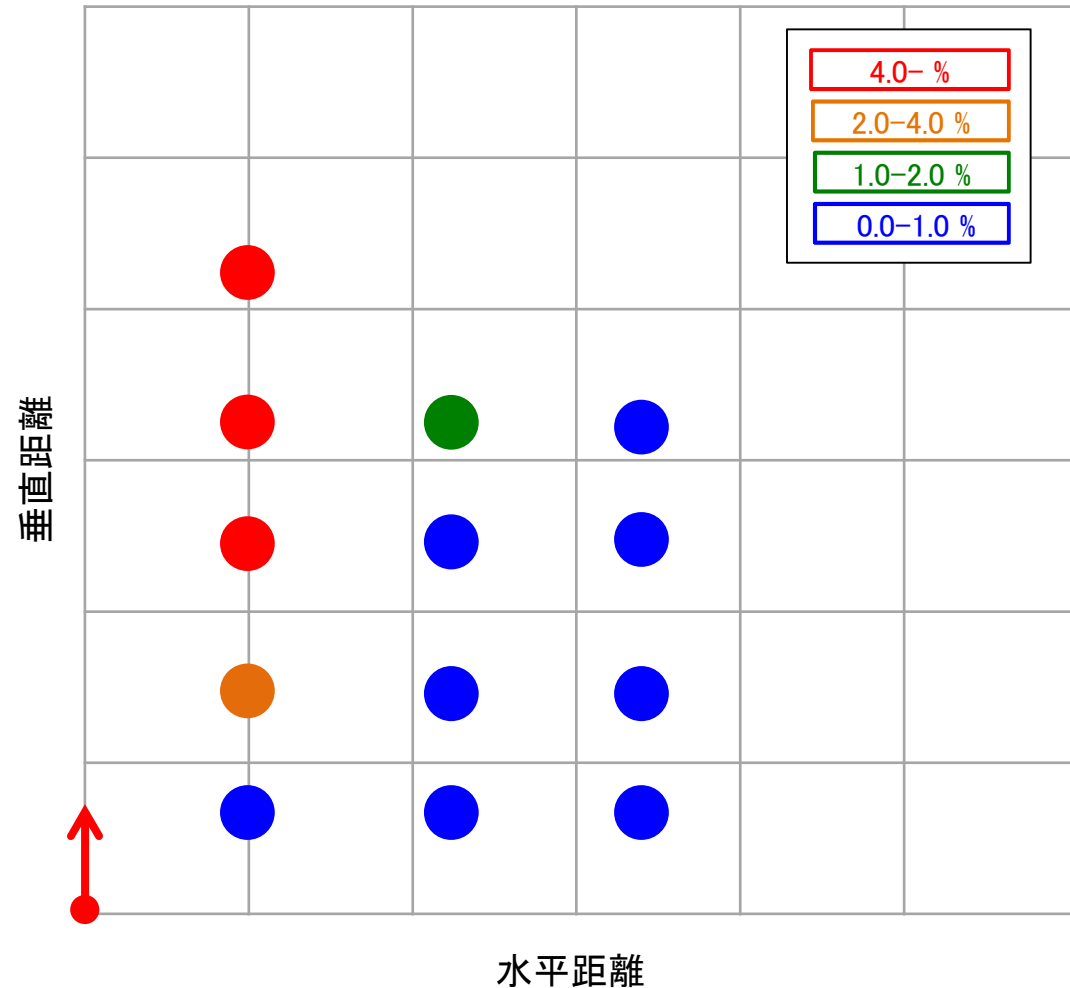


3. 事業内容 (1)LH2漏洩・放出に関する要素試験

【試験結果(例: 受け面: 大気、孔径: 3.0 mm)】



液化水素放出時の蒸気雲の様子



水素濃度の空間分布 [%]

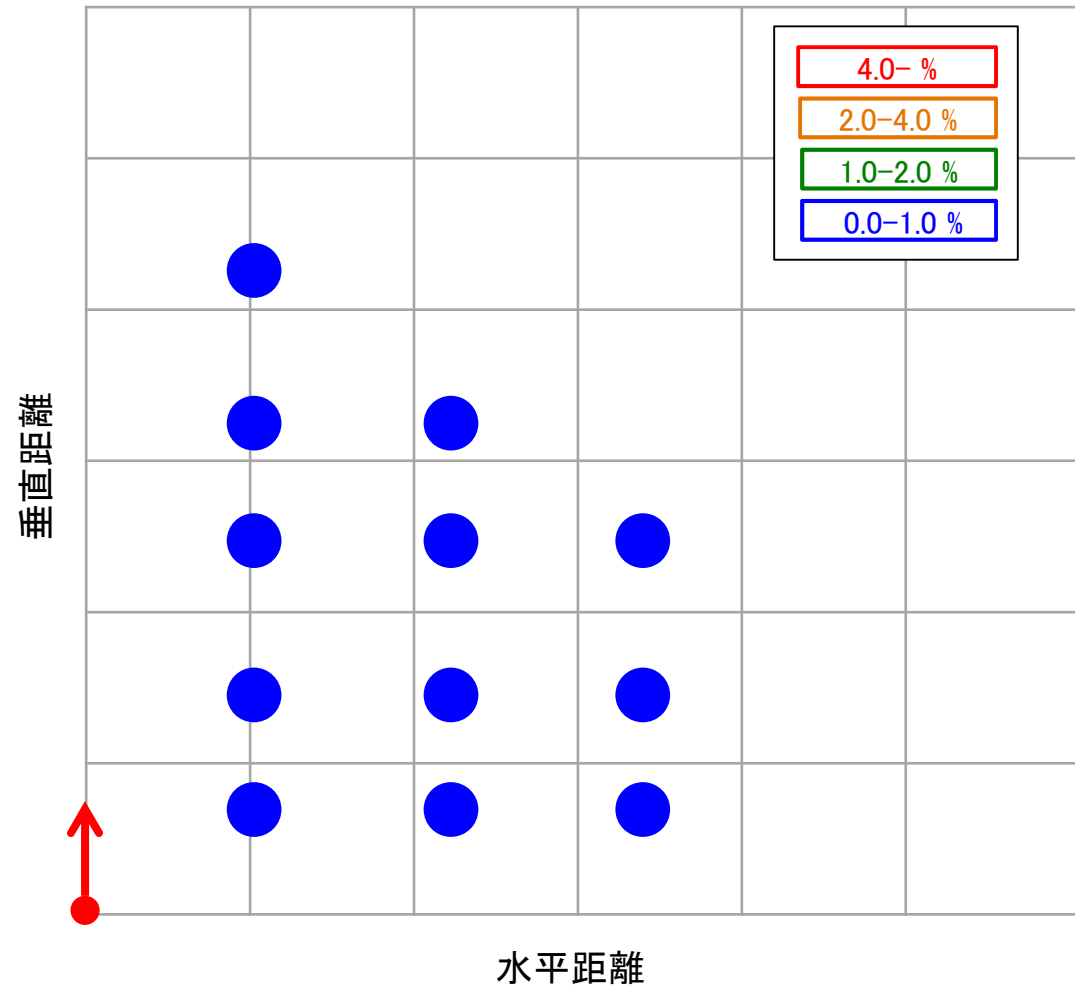
シミュレーションモデル構築のためのデータを取得

3. 事業内容 (1)LH2漏洩・放出に関する要素試験

【試験結果(例: 受け面: 大気、孔径: 0.2 mm)】



液化水素放出時の蒸気雲の様子



水素濃度の空間分布 [%]

液体として放出されず、水素ガスが拡散

3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

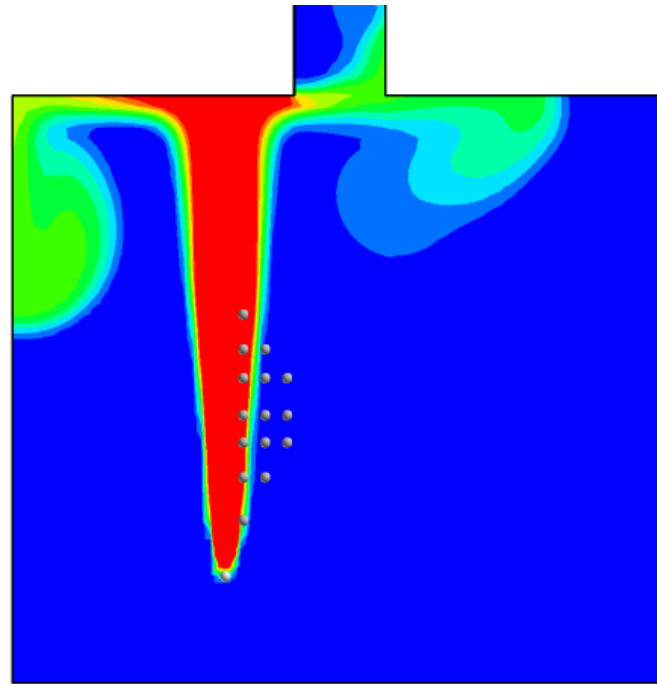
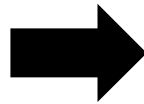
①CFD解析モデルの構築

【目的】

LH2漏洩・放出に関する要素試験の結果を用いて、液化水素における放出・拡散のCFD(Computational Fluid Dynamics)解析モデルを構築する。



試験結果



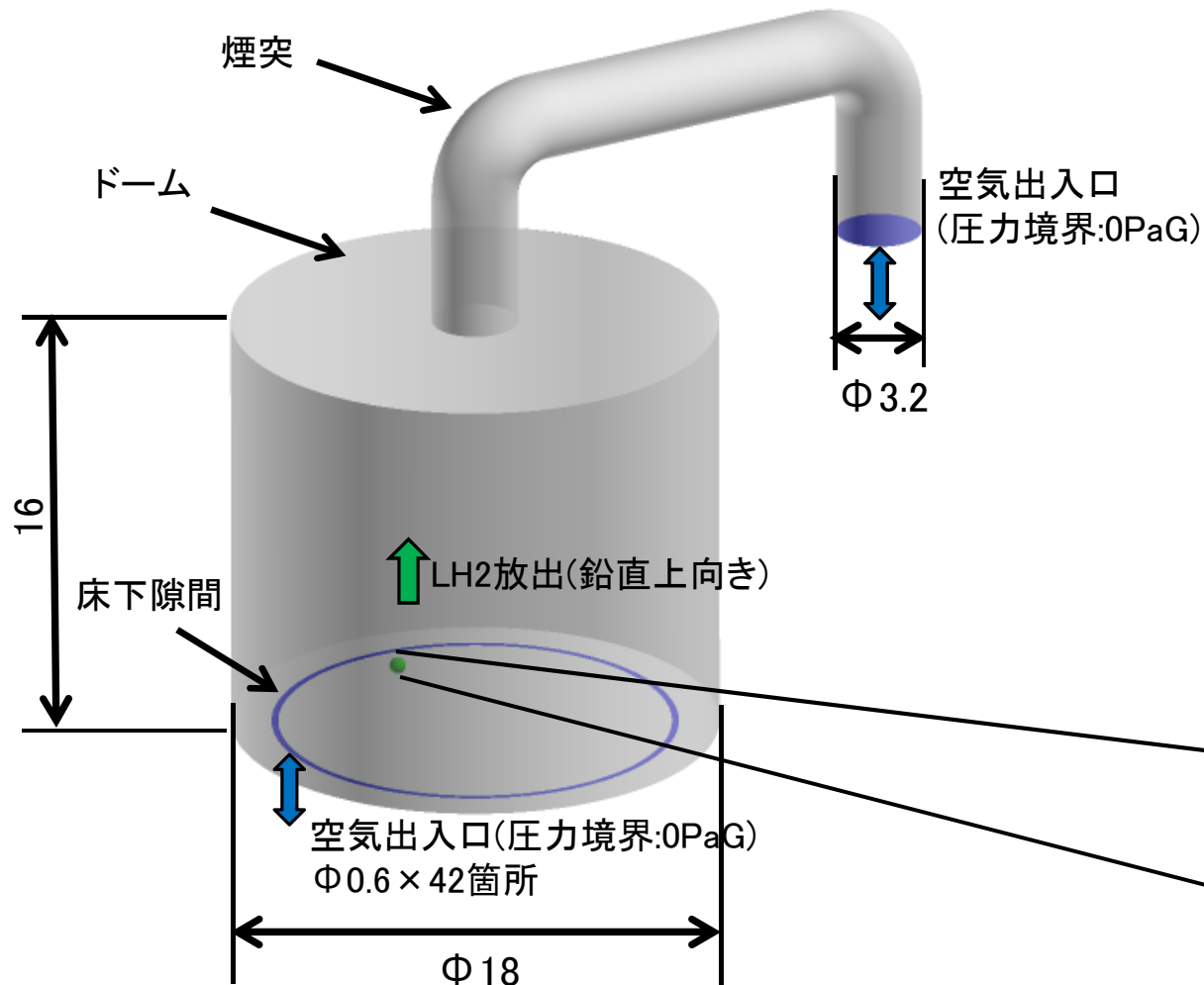
解析結果

3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

①CFD解析モデルの構築

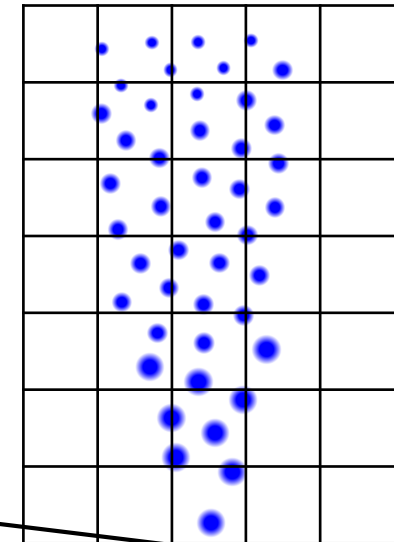
【解析方法】汎用解析ソフトウェア, FLUENT (Ver15.0)を使用

1.解析領域: 要素試験の試験場内を再現



2.液放出モデル

- ・放出された液化水素の液滴ごとの物理量を計算
- ・ガス(空気・水素)は空間を格子に分割し、格子ごとの物理量を計算

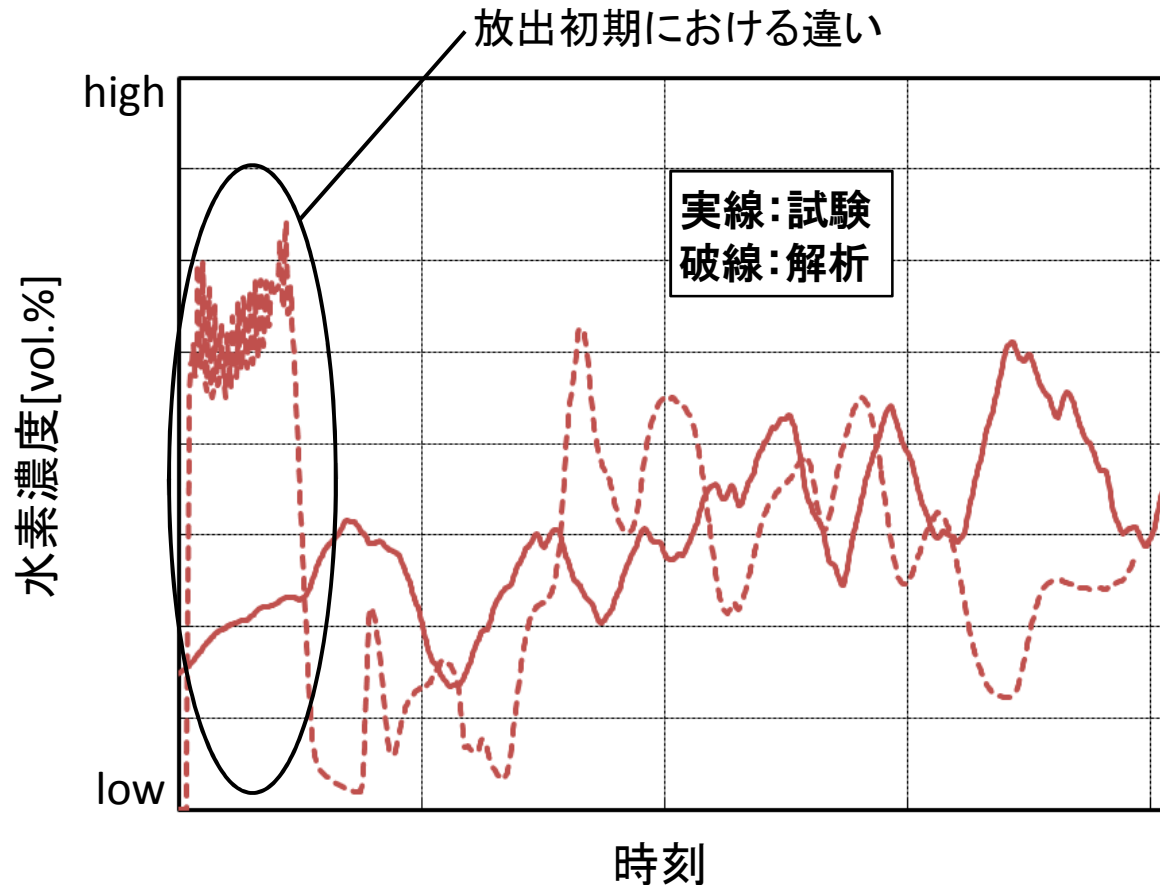


ノズル孔径:
1mm, 3mm

3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

①CFD解析モデルの構築

【解析結果と試験結果の比較】



解析結果と試験結果の比較

試験結果と解析結果で水素濃度の大きさ、時間変動の周期は概ね一致

3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

②海上投棄シミュレーション

【目的】

構築したモデルにより液化水素の海上投棄シミュレーションを実施し、海上投棄時の漏洩・拡散範囲を把握する。



LNG船海上投棄の様子¹⁾

1)J.L. Woodward and R.M. Pitblado, LNG risk based safety, John Wiley & Sons, Inc., 2010

3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

②海上投棄シミュレーション

【検討方針】

構築した解析モデルを用いて、実船スケールの海上投棄時の危険範囲の予測を行い、液化水素輸送船における海上投棄の安全性を評価する。

【解析条件】

本解析では、LNG海上投棄試験¹⁾と同等の条件にて液化水素の拡散範囲を把握する。

放出条件	流量[m ³ /h]	ノズル径[mm]	噴出速度[m/s]
	1158	102	39.4

気象条件	風速[m/s]	湿度[%]
	3.3	85

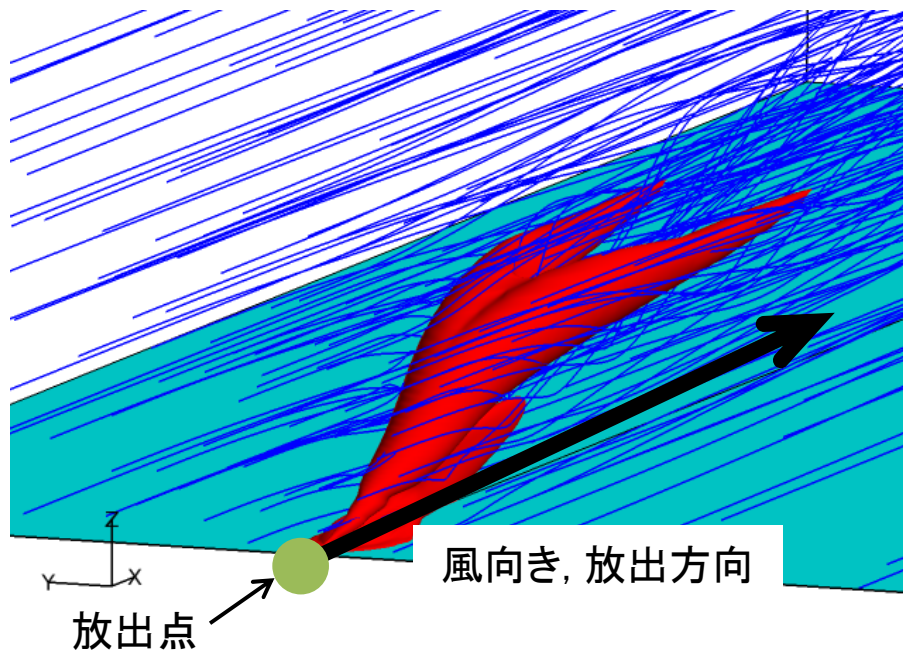
1)Kneebone and Prew, Shipboard Jettison tests of LNG onto the sea, Fourth international conference on liquefied natural gas, 1974

3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

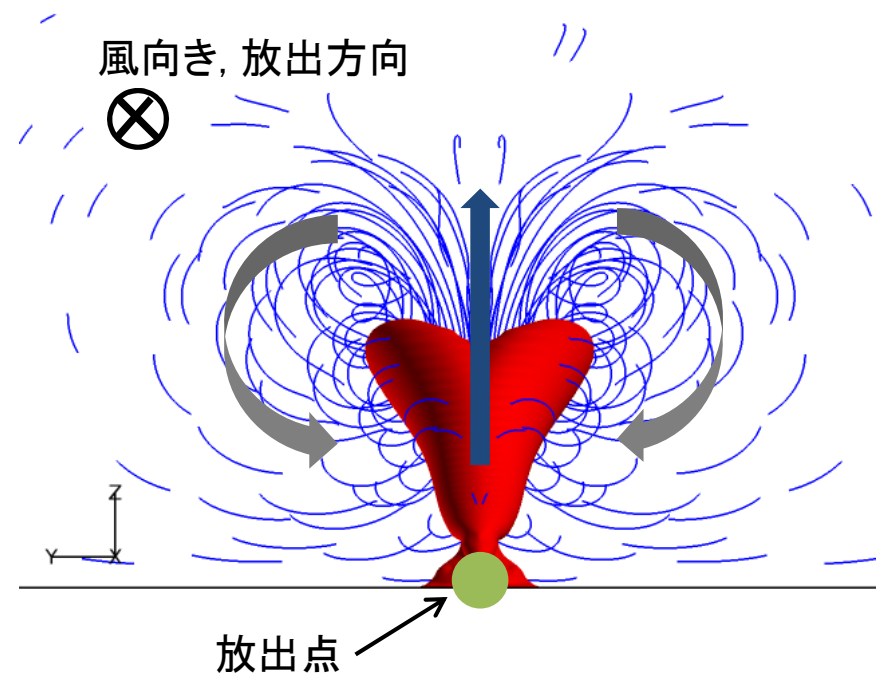
②海上投棄シミュレーション

【解析結果】

水素濃度1%の等値面および流線



上流から鳥瞰的に見た図



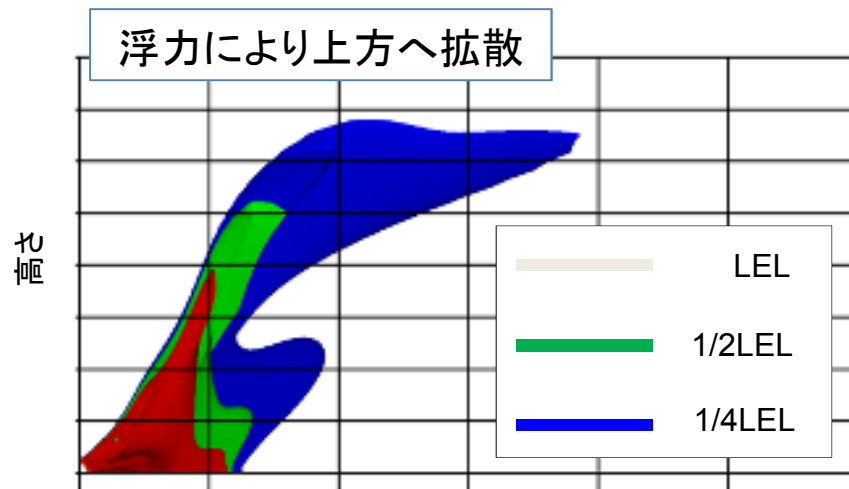
上流から正面に見た図

水素プルームの上昇流に伴い、双子渦が発生

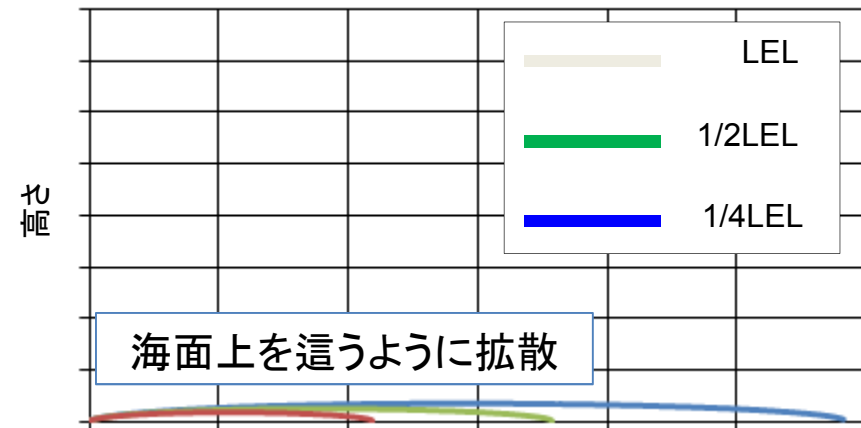
3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

②海上投棄シミュレーション

【液化水素・LNGの拡散範囲の比較】



液化水素



LNG

※LEL:Lower Explosive Limit; 爆発下限界

水平拡散距離は液化水素の方が狭い

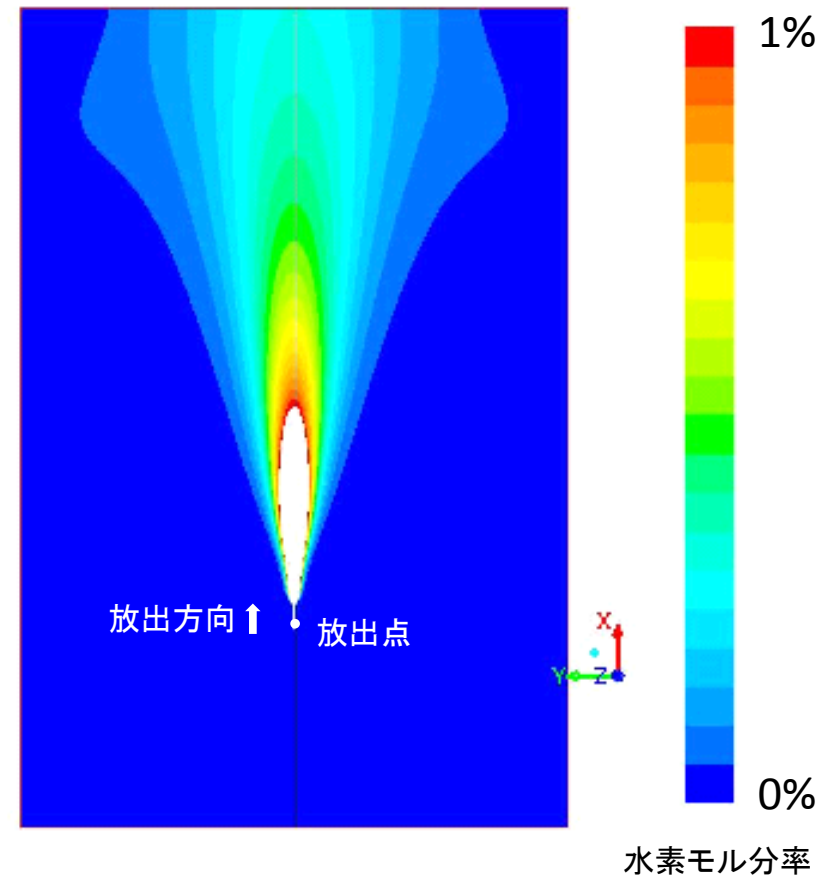
3. 事業内容 (2) LH2漏洩・放出に関するシミュレーション

③微小漏洩シミュレーション

【目的】

微小漏洩を模擬したノズル孔径0.2mmからの液化水素の漏洩・放出試験から液化水素は完全に気化して水素ガスとして放出されることを確認した。

前期の研究事業において構築した、水素ガス拡散のCFD解析モデルを一部修正して、液化水素の漏洩・放出試験の再現可否を検討する。



解析結果

試験結果と解析結果の傾向が概ね一致することを確認

3. 事業内容 (3)固体窒素生成に関する要素試験

【固体窒素生成における課題】

- ・バルブ、計装機器の小配管等の閉塞
- ・液化水素に混入することによる純度低下

対策	方法
事前対策	窒素ガスが残留しない窒素→水素置換
事後対策	フィルター等による固体窒素の除去

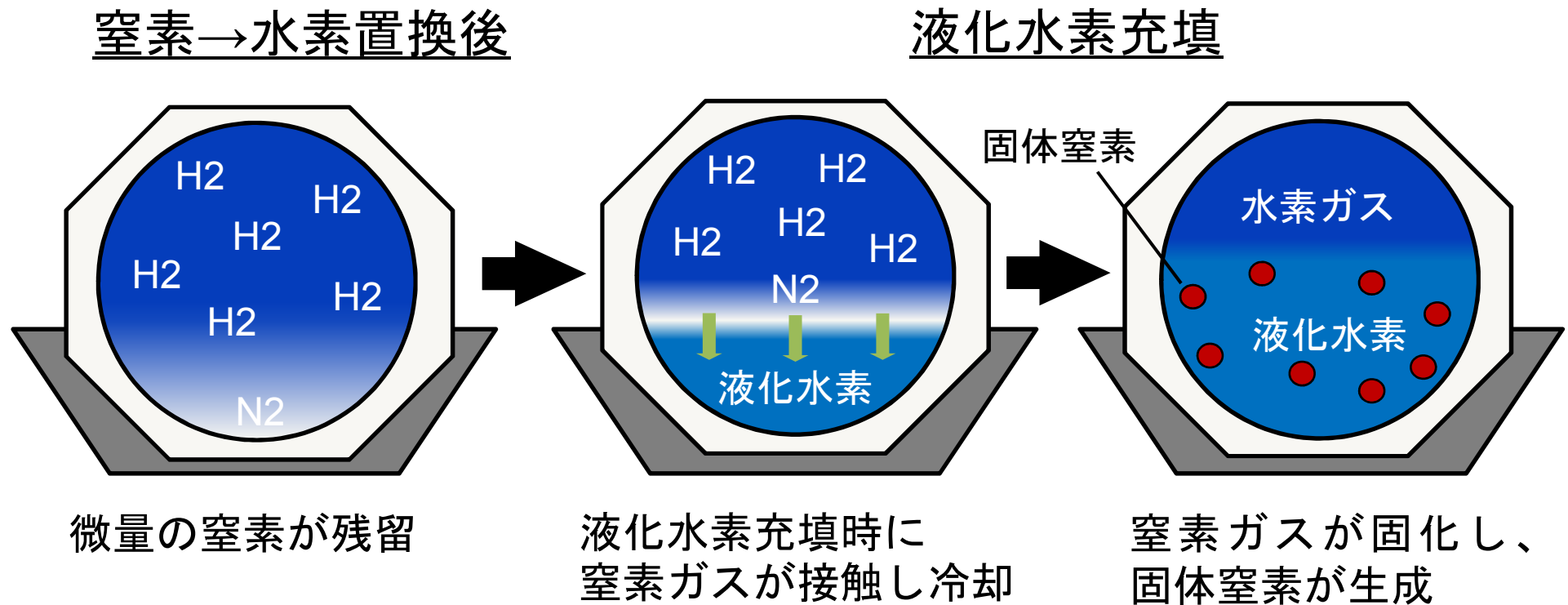
対策方法の策定のため、固体窒素の生成過程・
液化水素中での挙動を調査する必要がある。

【本試験の目的】

実機にて想定される現象を模擬して固体窒素を生成し、
その生成現象を把握する。

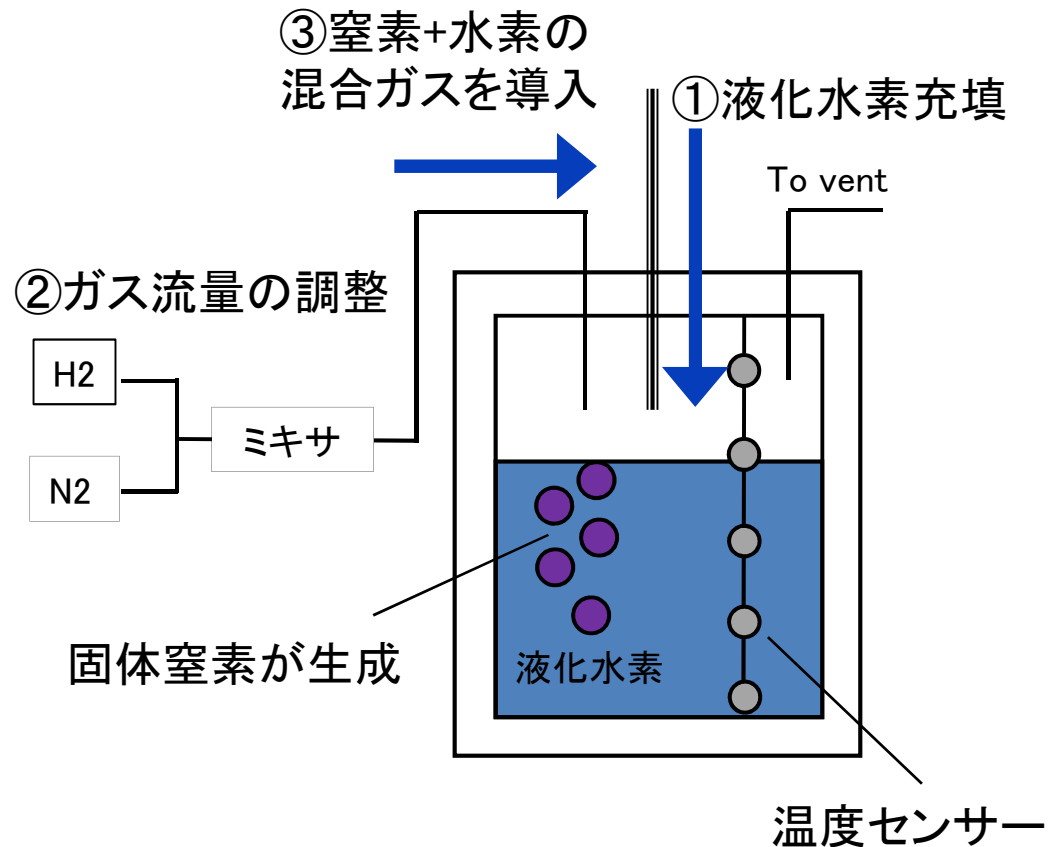
3. 事業内容 (3)固体窒素生成に関する要素試験

【液化水素輸送船で想定される固体窒素の生成過程】

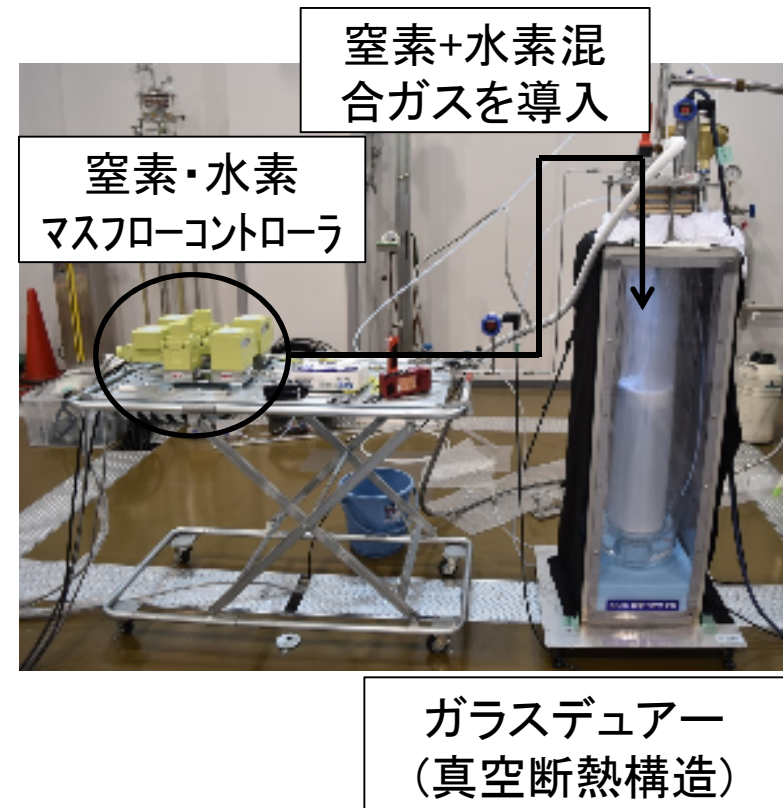


3. 事業内容 (3)固体窒素生成に関する要素試験

【試験方法】



試験装置フロー

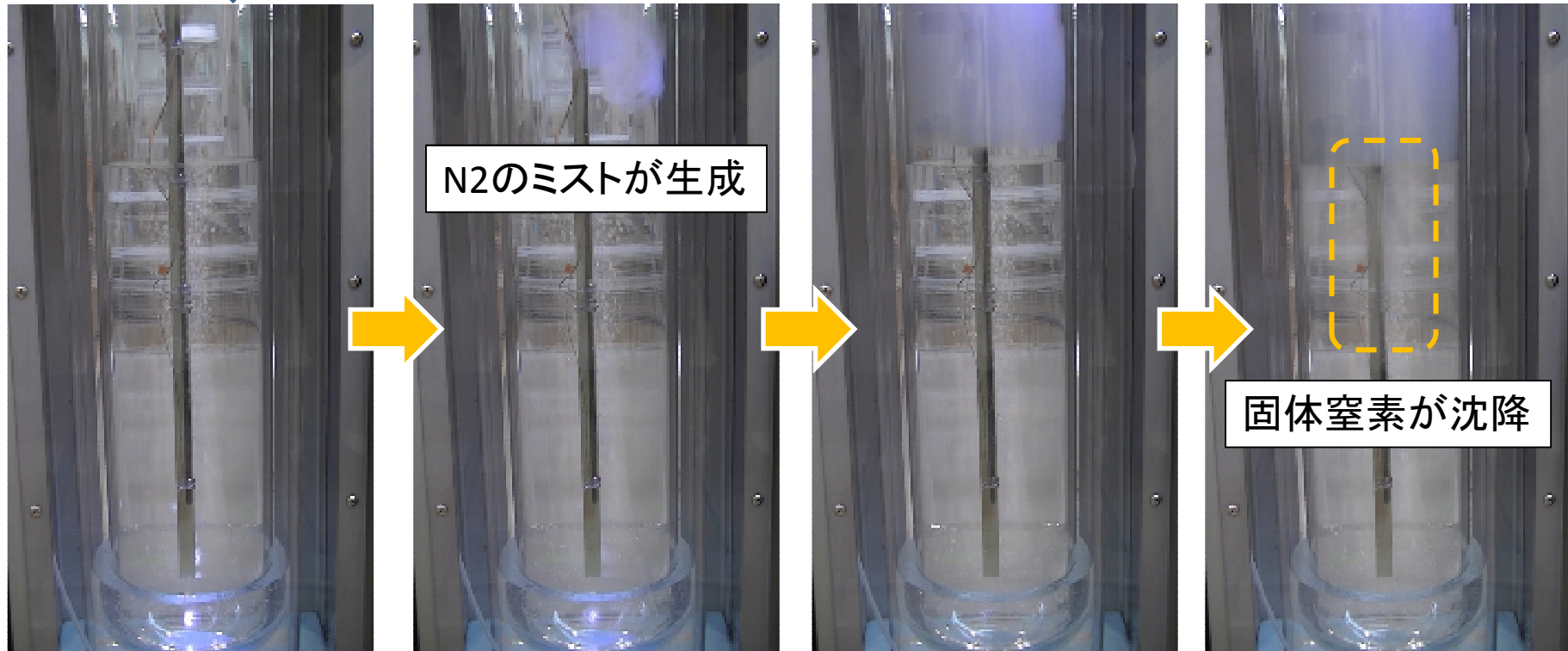


試験装置写真

3. 事業内容 (3)固体窒素生成に関する要素試験

【試験結果】

100%窒素を水素ガス相部に導入



低温水素ガス層で窒素がミスト化→液化水素中に沈降

3. 事業内容 (4)液化水素輸送船のオペレーション検討

【実施内容】

オペレーションの安全面に反映させるべくメタン(LNG)との物性の比較に基づいて定めた項目を含め、水素の危険性として考慮すべき事項を抽出。

検討内容の例

項目	懸念事項	対策(例)
低温性	液化水素の冷熱により、高濃度酸素雰囲気層の形成を避ける必要がある。	極低温となる箇所は真空二重管構造とすることで、高濃度酸素雰囲気の形成を回避する。
水素脆化	水素脆化による材料の経年劣化が懸念される。	一般的に液化水素を常圧で貯蔵する場合、水素脆化よりも低温脆化が問題となる。そこで、極低温用材料であるオーステナイト系ステンレス鋼を採用する。

4. まとめ

前期の研究事業に引き続き、液化水素の漏洩・放出に関する検討を実施し、液化水素漏洩・放出時の定量的な拡散データを取得するとともに、拡散挙動に関するシミュレーションモデルを構築した。また、液化水素輸送船のオペレーションについて検討した。

今後は本研究結果を踏まえ、明らかとなった課題を解決するとともに、液化水素輸送船の設計開発に反映することで、液化水素の海上輸送の安全に貢献していく所存である。