

**NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026**  
**プログラム No. 603-3-01**

# **極低温流体マネジメント技術を基盤とした 液体水素の運用性向上と社会実装の加速**

水素利用拡大に向けた共通基盤強化のための研究開発事業/  
次世代燃料電池・水電解の要素技術開発/  
液体水素の極低温流体マネジメントに係る共通基盤技術開発

**発表：2026年7月23日**

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者：姫野 武洋

委託先：(国)東京大学、(国)神戸大学

問合先：東京大学・神戸大学 本NEDO事業事務局    [nedo-cfm-contact@aero.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:nedo-cfm-contact@aero.t.u-tokyo.ac.jp)

# 0 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2025年7月

終了(予定): 2030年6月

## 2. 最終目標

- ① 揺れ動くタンク内で発生する極低温液体・超臨界流体の汎用的な**共通実験設備**を構築し、液面揺動(スロッシング)抑制と圧力制御(蒸発抑制)技術の実証と標準化に資するデータを蓄積。
- ② 実験的理解と検証に基づき、液体水素貯蔵に係る**共通解析ツール**として現象予測のための**高忠実モデル(CFD)**と、**システム設計**のための**低次元化モデル(ROM)**を構築。
- ③ **実機では検証困難な**、急制動、異常入熱、緊急減圧などの**ハザード事象シミュレーション**を可能とする。

## 3. 成果・進捗概要

|                |                                             |
|----------------|---------------------------------------------|
| <b>共通実験設備</b>  | 多目的 <b>液体水素実験</b> 設備群 の機能拡充を着手。〔神戸大学〕 HyTec |
| <b>共通実験設備</b>  | 多目的液体 <b>揺動試験</b> 装置群 の機能拡充に着手。〔東京大学〕       |
| <b>共通解析ツール</b> | 独自 <b>数値流体解析</b> 手法 の改良と検証を進めた。〔東京大学〕       |
| <b>産学連携</b>    | <b>関心表明企業</b> との意見交換によりニーズ把握と共創連携体制の構築。     |

## 1 事業提案の背景

- ◎ **モビリティ(移動体)の電動化に向け、  
燃料として液体水素貯蔵を利用する検討が世界的にに進められている。**

## 提案背景

▶ **液体水素は貯蔵密度に優れ、大型車両・鉄道・航空機用途に期待。**



出典：『NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ』（2024年度版）

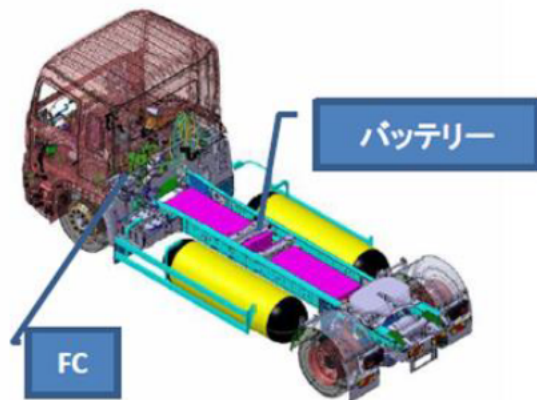
# 1 事業提案の背景…技術課題

◎ 極低温流体マネジメントとは、移動体搭載の振動環境などを含む特殊な加速度環境で、液体水素などの極低温流体の流動と熱移動を予測し、制御や設計に繋げる技術体系。

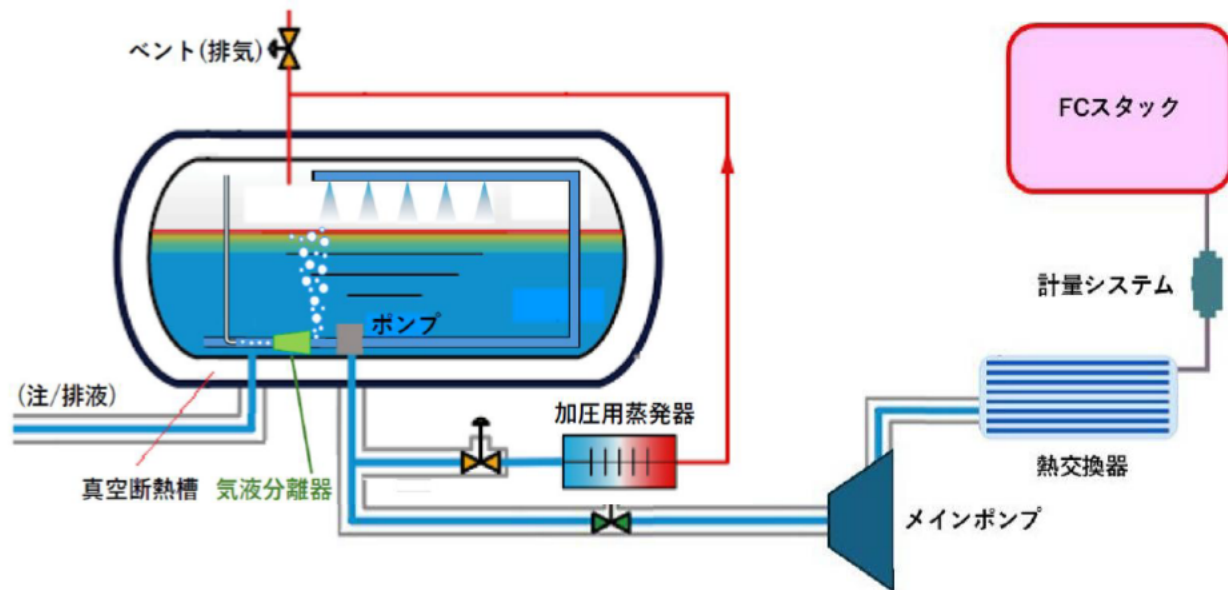
## 提案背景

- ▶ 液体水素は貯蔵密度に優れ、大型車両・鉄道・航空機用途に期待。
- ▶ 液体水素は侵入熱に敏感で、蒸発抑制と圧力制御が課題。
- ▶ 液体水素を加圧できる気体は、ヘリウムか水素蒸気のみ。  
→ 移動体用としては事実上 水素蒸気のみ (自己加圧)。

|      | 現合搭載量 | 搭載量Max | 航続距離(要求)       |
|------|-------|--------|----------------|
| 小トラ  | ~6kg  | 10kg   | 300km (400km)  |
| 大トラ  | ---kg | ~60kg  | 600km (1000km) |
| 路線バス | ~20kg | 30kg   | 300km (200km)  |



© トヨタ自動車



© 東京大学



# 1 事業提案の背景…技術課題

◎ 極低温流体マネジメントとは、**移動体搭載の振動環境などを含む特殊な加速度環境で、液体水素などの極低温流体の流動と熱移動を予測し、制御や設計に繋げる技術体系。**

## 提案背景

- ▶ 液体水素は貯蔵密度に優れ、大型車両・鉄道・航空機用途に期待。
- ▶ 液体水素は侵入熱に敏感で、蒸発抑制と圧力制御が課題。
- ▶ 液体水素を加圧できる気体は、ヘリウムか水素蒸気のみ。  
→ 移動体用としては事実上 水素蒸気 のみ (自己加圧)。



© JAXA

|           | 定置式タンク                            | 移動式(コンテナ)タンク                                           |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 蒸発ガスライン状態 | 通常、大気開放状態で、気相圧力はほぼ大気圧状態           | 移動中は閉状態で、気相圧力は容器設計圧力以内の大気圧以上                           |
| 液体水素の動的挙動 | 静定状態で外部入熱による自然対流発生                | 移動中の振動、加速度等の外乱によりスロッシング(液揺動)が発生                        |
| 液体水素の熱的挙動 | 液表面に成層(Thermal Stratification)を形成 | 液とタンク内壁との熱接触及び運動エネルギーの熱散逸で蒸発促進<br>液内部の混合による液面温度低下で蒸発抑制 |
| 流動模式図     | <div> </div>                      | <div> </div>                                           |

<https://www.technia.com/en/advanced-simulation/software/xflow/>



© 川崎重工業

# 1 事業提案の背景…技術課題

◎ 極低温流体マネジメントとは、移動体搭載の振動環境などを含む特殊な加速度環境で、液体水素などの極低温流体の流動と熱移動を予測し、制御や設計に繋げる技術体系。

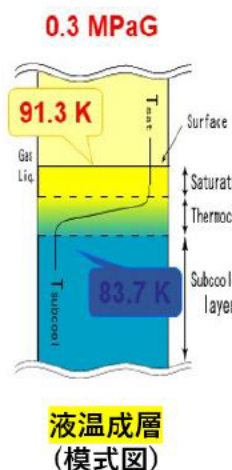
## 提案背景

- ▶ 液体水素は貯蔵密度に優れ、大型車両・鉄道・航空機用途に期待。
- ▶ 液体水素は侵入熱に敏感で、蒸発抑制と圧力制御が課題。
- ▶ 液体水素を加圧できる気体は、ヘリウムか水素蒸気のみ。  
→ 移動体用としては事実上 水素蒸気のみ（自己加圧）。

## 課題認識

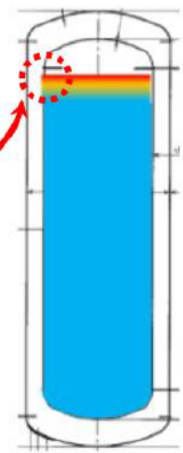
- ▶ 一成分二相系の圧力は液面成層の温度で決まる飽和蒸気圧になる。

### ※ LN2 の例



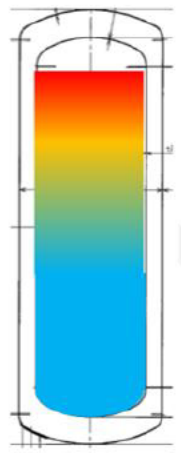
© 東京大学

温かい液面に  
気相が触れる



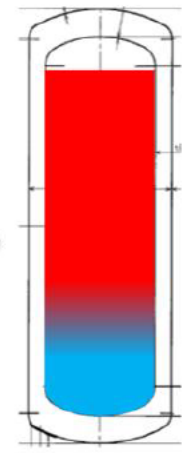
状態①

温かい液面に  
気相が触れる



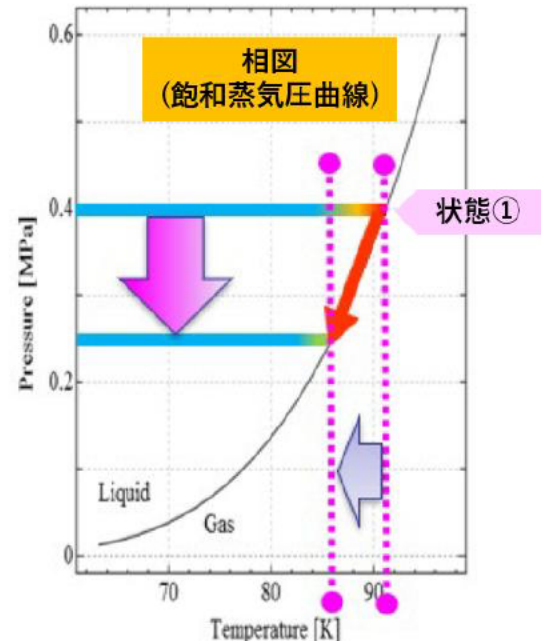
状態①'

温かい液面に  
気相が触れる



状態①''

液温成層形成



# 1 事業提案の背景…技術課題

◎ 極低温流体マネジメントとは、移動体搭載の振動環境などを含む特殊な加速度環境で、液体水素などの極低温流体の流動と熱移動を予測し、制御や設計に繋げる技術体系。

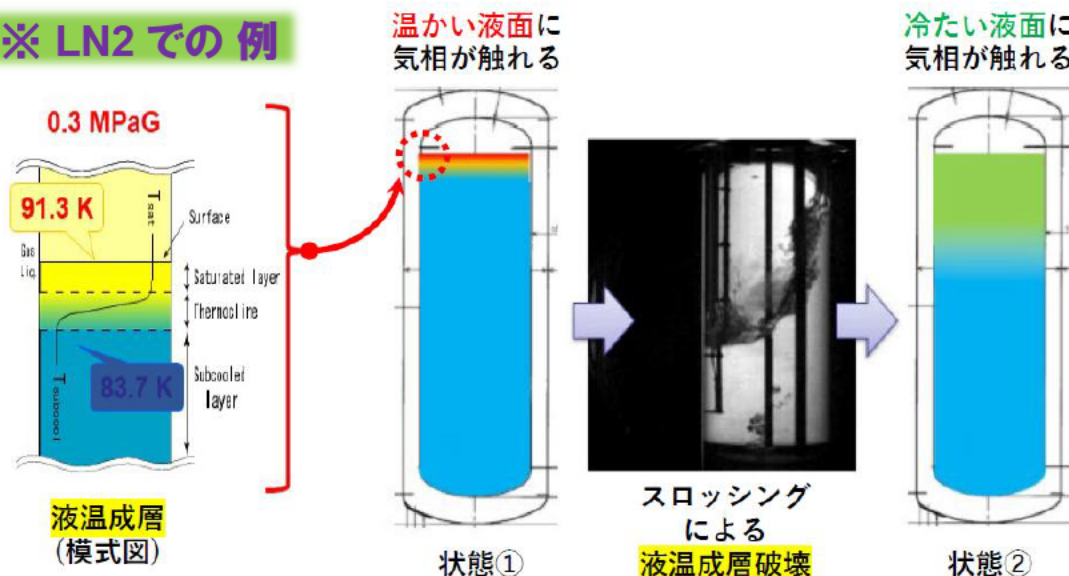
## 提案背景

- ▶ 液体水素は貯蔵密度に優れ、大型車両・鉄道・航空機用途に期待。
- ▶ 液体水素は侵入熱に敏感で、蒸発抑制と圧力制御が課題。
- ▶ 液体水素を加圧できる気体は、ヘリウムか水素蒸気のみ。  
→ 移動体用としては事実上 水素蒸気のみ（自己加圧）。

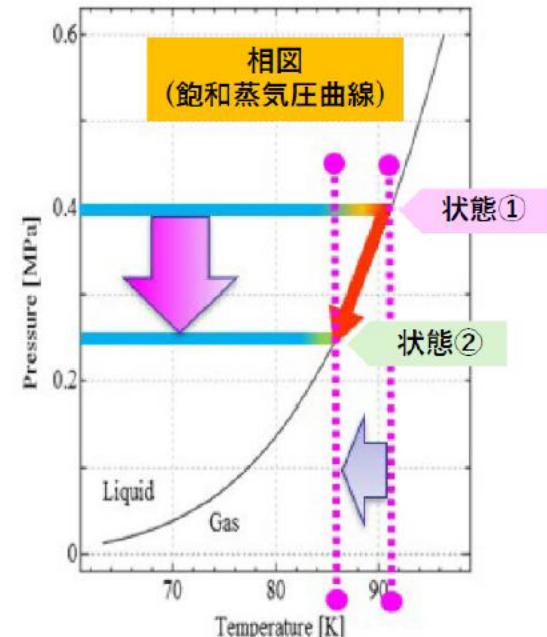
## 課題認識

- ▶ 一成分二相系の圧力は液面成層の温度で決まる飽和蒸気圧になる。
- ▶ 液面揺動(スロッシング)で液温成層が攪拌破壊されると圧力降下。

### ※ LN2 での例



© 東京大学

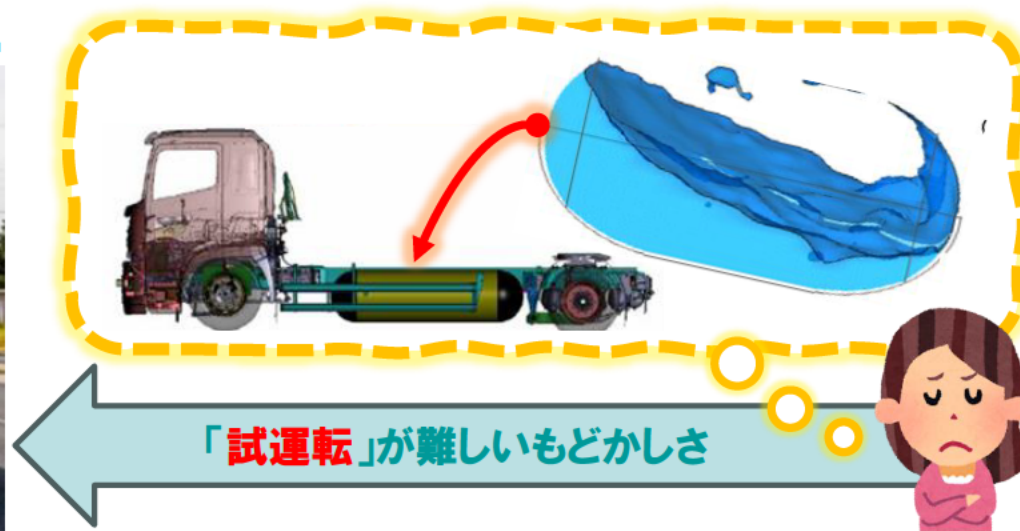




# 1 事業提案の背景…技術課題…解決手段の必要性

## 課題認識

© Hyzon



- ▶ 現象予測の不確実性のために、設計が保守的なものに留まり、技術革新が阻まれている。

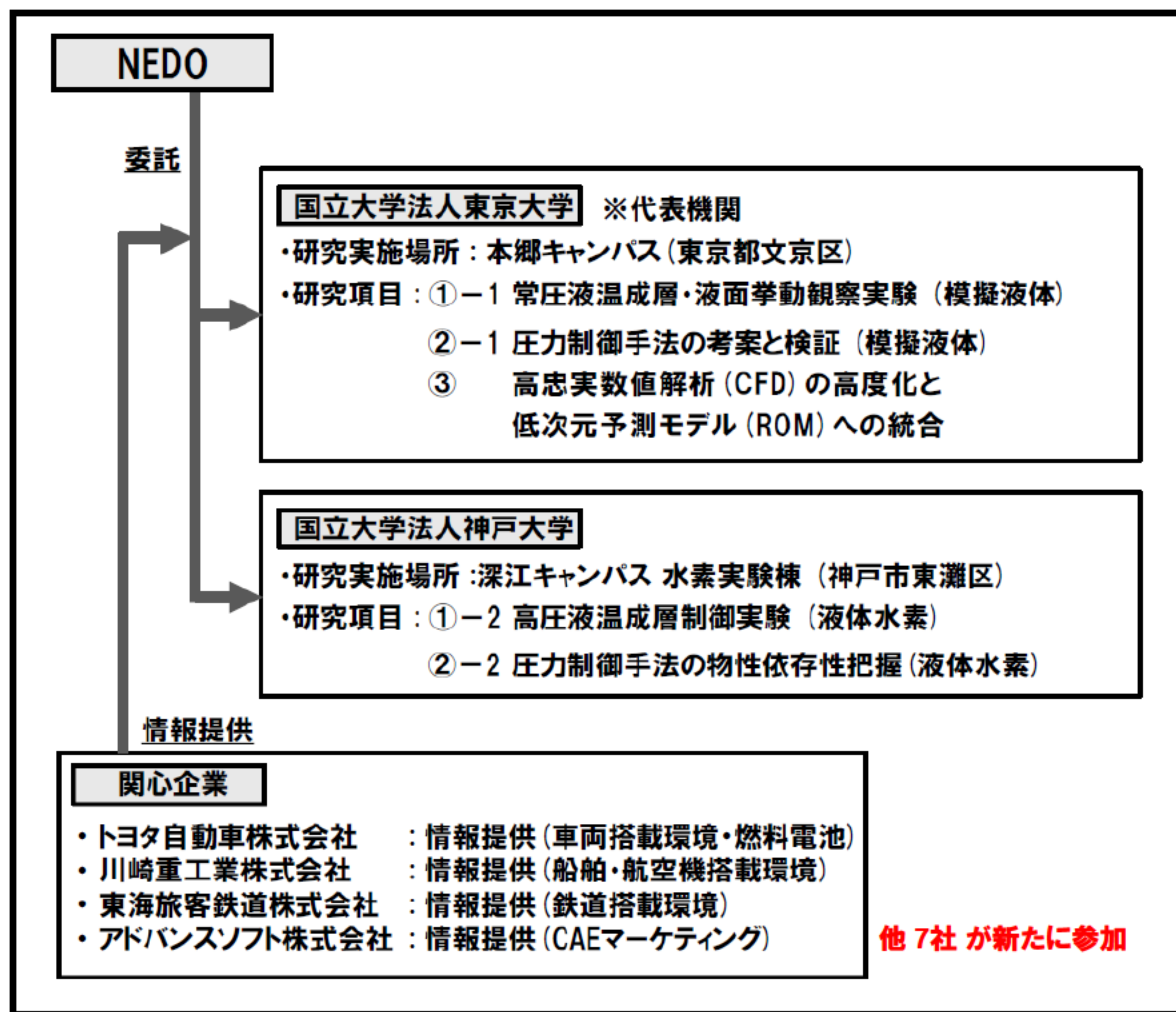
## 提案骨子

### 極低温流体マネジメント技術の高度化と汎用化

- ▶ 大型設備による揺動環境模擬実験を体系的に実施し、  
熱流動現象の機序解明と数理記述に取り組む。
- ▶ 実験により検証された数値解析手法を用い、  
実験的再現が困難な実機環境における熱流動現象の直接的予測を行う。
- ▶ 獲得知見は、低次元化モデルに反映して顕在知として蓄積し、  
液体水素供給システムレベルの動的作動予測に繋がる基盤とする。

## 2 事業目標と達成シナリオ…実施体制

- ▶ 極低温流体マネジメントで先行する宇宙分野の研究成果と、国内大学唯一の液体水素による試験環境とノウハウを活用することで設計・標準化に資する工学的基盤技術の構築を可能にできる。



東大

姫野 武洋

大学院工学研究科  
教授

推進工学・計算力学  
CFD解析・圧力制御

神大

武田 実

水素・未来エネルギー  
技術研究センター、  
教授

低温学・水素物性  
液体水素



## 2 事業目標と達成シナリオ…実施体制

- ▶ 極低温流体マネジメントで先行する宇宙分野の研究成果と、国内大学唯一の液体水素による試験環境とノウハウを活用することで設計・標準化に資する工学的基盤技術の構築を可能にできる。
- ▶ 移動体搭載式タンクの貯蔵・供給について、**自動車・船舶・航空の分野横断的な産学連携**につながる基盤的研究事業は世界的にも少ない。

東大

矩野 武洋

大学院工学研究科  
教授

推進工学・計算力学  
CFD解析・圧力制御



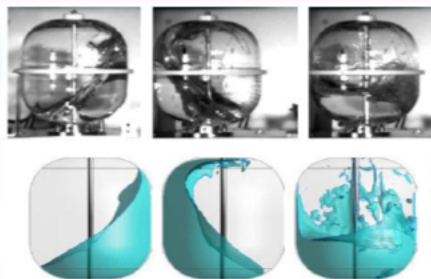
神大

武田 実

水素・未来エネルギー  
技術研究センター、  
教授  
低温学・水素物性  
液体水素



① 微小重力環境での気液二相熱流動と自由表面流シミュレーションの第一人者



液滴の分裂合体を伴うスロッシング

液面の解像度を従来比1桁向上させた数値シミュレーションを開発。

液滴や気泡の分裂合体を伴うロケット推進薬タンク内の複雑流動を、高精度に再現することに、世界に先駆けて成功。

日本機械学会賞をはじめとして、計算力学分野での高い評価。

再使用ロケットや火星衛星探査機の機体設計と飛行計画に使われる基盤技術。

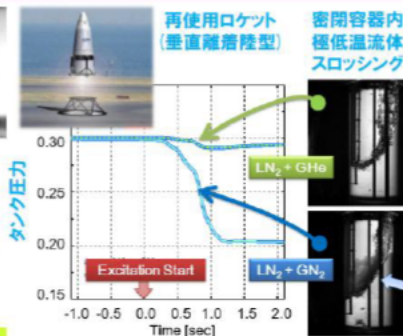
【日本機械学会賞】

矩野 武洋, 他, 日本機械学会論文集 (2010)

【日本計算力学賞論文賞】

矩野 武洋, 個人表彰 (2004)

② 地上では再現できないロケット飛行中の二相現象を基礎実験により解明。複雑流路流れの数値予測精度を実証し、国際的に高い評価。



スロッシングに伴うタンク急減圧



微小重力沸騰流の観察実験と数値解析

極低温推進薬のスロッシングがガス相の凝縮を促進し、タンクの急減圧を招く危険性を見え。独自の実験により証明。

米国航空宇宙学会からの2回の表彰など、国際的にも著名な業績。

加圧ガス種や液温分布を考慮した、圧力降下量の推定手法を新たに提案。

【米国航空宇宙学会賞】

T. Himeno, et al. AIAA JPC (2011)

【米国航空宇宙学会賞】

T. Himeno, et al. AIAA JPC (2007).

観測ロケットによる複雑流路の沸騰流実験チームを率い、熱伝達量が地上と飛行中で大きく異なる原因を解明。

実機エンジンの冷却剤流量を1/30に節約する根拠となり、ロケット積載貨物量の増強(H-IIA高度化)に貢献。

K. Kinefuchi, T. Himeno, AIAA J. Space Rocket (2019)

① 液体水素の貯蔵と流動制御に係る低温工学・熱流体工学分野の第一人者



液体水素海上輸送実験

液体水素実験棟

液体水素の海上輸送と圧力特性の取得実験を世界に先駆けて成功。

国内大学で唯一となる液体水素実験施設を設立。超臨界圧力を包含する高頻度な実験環境を提供。

液体水素運搬船の設計指針獲得に大きく貢献。

液体水素利用拡大に貢献する産学連携・高度人材集積の拠点として高評価。

## 2 事業目標と達成シナリオ…研究項目

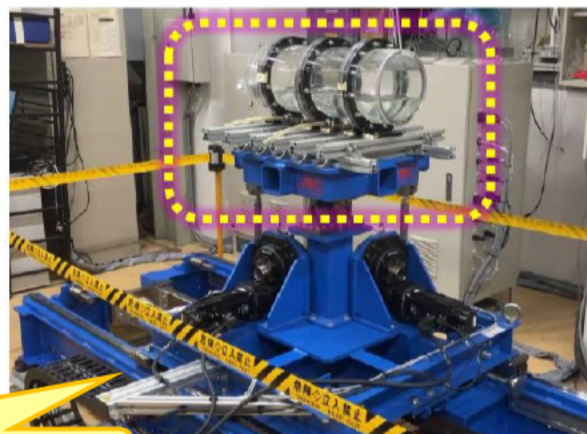
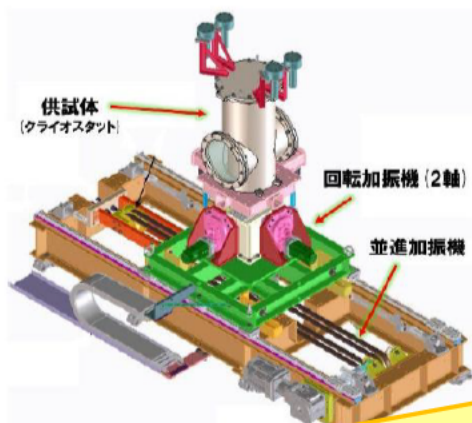
### 研究実施計画

|                                                     | 2025年度 |          |    |    | 2026年度      |    |           |        | 2027年度 |        |             |           | 2028年度 |    |        |    | 2029年度 |      |      |    |  |
|-----------------------------------------------------|--------|----------|----|----|-------------|----|-----------|--------|--------|--------|-------------|-----------|--------|----|--------|----|--------|------|------|----|--|
|                                                     | 1Q     | 2Q       | 3Q | 4Q | 1Q          | 2Q | 3Q        | 4Q     | 1Q     | 2Q     | 3Q          | 4Q        | 1Q     | 2Q | 3Q     | 4Q | 1Q     | 2Q   | 3Q   | 4Q |  |
| ①-1<br><br>常圧液温成層・液面挙動観察実験<br>(模擬液体)                |        | 可視化容器製作  |    |    | 加振条件定義      |    |           |        |        |        |             |           |        |    |        |    |        |      |      |    |  |
|                                                     |        | 容器設計     |    |    | 容器製作        |    |           | 成層破壊試験 |        |        |             | 揺動抑制試験    |        |    |        |    | 成果総括   |      |      |    |  |
| ①-2<br><br>高圧液温成層制御実験<br>(液体水素)                     |        | 水素供給系改修  |    |    | 成層形成試験      |    |           | 成層破壊試験 |        |        |             |           |        |    |        |    |        | 成果総括 |      |    |  |
| ②-1<br><br>圧力制御手法の考案と検証                             |        | 噴霧性能評価   |    |    | 気泡注入評価      |    |           |        |        |        |             |           |        |    |        |    |        |      |      |    |  |
|                                                     |        |          |    |    | デバイス設計      |    |           | 容器改造   |        | 圧力制御試験 |             |           |        |    |        |    |        |      | 成果総括 |    |  |
| ②-2<br><br>圧力制御手法の物性依存性把握                           |        |          |    |    |             |    |           |        |        |        |             |           | 容器改造   |    | 圧力制御試験 |    |        | 成果総括 |      |    |  |
| ③<br><br>高忠実数値解析(CFD)の高度化<br>と<br>低次元予測モデル(ROM)への統合 |        | 相変化モデル構築 |    |    | 液体窒素・成層破壊再現 |    |           |        |        |        | 液体水素・成層破壊再現 |           |        |    | 成果総括   |    |        |      |      |    |  |
|                                                     |        | 充填モデル構築  |    |    |             |    | 成層破壊モデル構築 |        |        |        |             | 成層破壊モデル拡張 |        |    |        |    | 成果総括   |      |      |    |  |

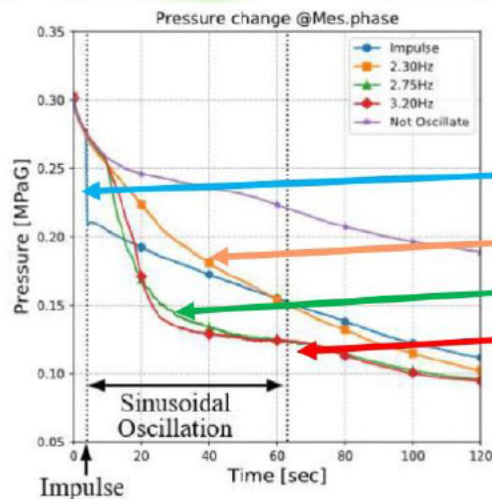


## 2 事業目標と達成シナリオ…研究項目

### 研究項目①-1 : 蒸発抑制と圧力制御に係る熱流動現象把握 (模擬液体・液体窒素)



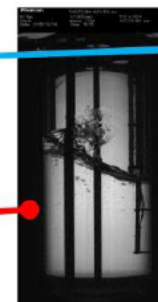
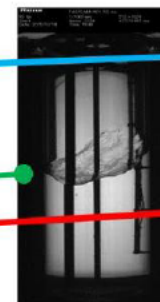
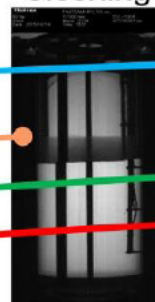
大型設備による揺動環境模擬実験を体系的に実施  
液面揺動による圧力変動の再現性良いデータ取得



先行NEDO事業の成果適用・発展

Lateral Sloshing

Swirl



<1.0

~1.0

>1.0

①2.30Hz

②2.75Hz

③3.20Hz

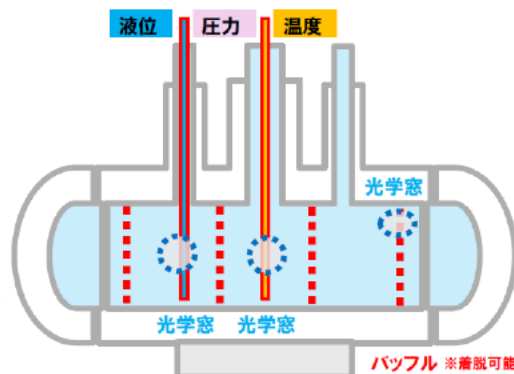
④Impulse

非等温スロッシングによる液温成層破壊とタンク圧降下の実験例 (東大)

## 2 事業目標と達成シナリオ…研究項目

### 研究項目①-2 : 蒸発抑制と圧力制御に係る熱流動現象把握 (液体水素)

アナログツイン



超臨界圧条件における液温成層破壊実験  
模擬液体(LN2)と液体水素(LH2)の物性感度を把握



超臨界耐圧仕様  
光学クライオスタット

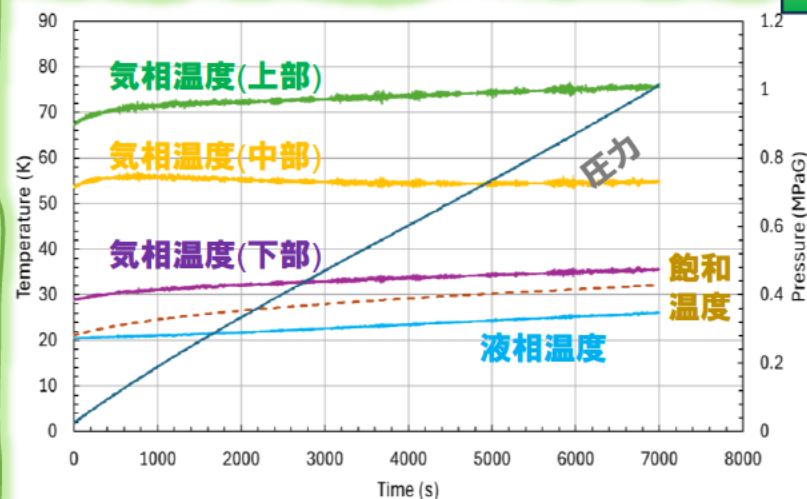
液体水素実験環境  
(国内大学唯一)

HyTec

大型液体水素貯槽  
(24m³)



防爆対応実験棟



外部入熱による液温成層化と圧力上昇

先行NEDO事業の成果適用・発展



全域飽和温度



液温成層

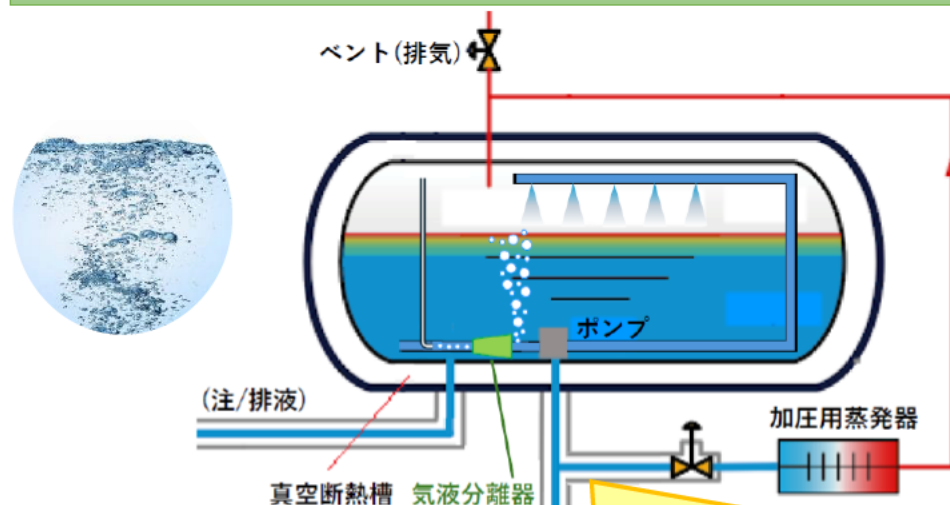
液体水素可視化例(減圧沸騰実験)



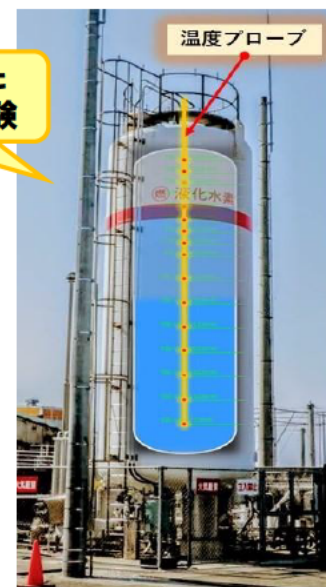
## 2 事業目標と達成シナリオ…研究項目

### 研究項目②：蒸発抑制と圧力制御の要素技術検証（液体窒素・液体水素）

アナログツイン



大型貯槽を用いた  
寸法効果確認試験



気泡注入・噴霧冷却による一成分二相系の圧力制御手法を実証  
循環流路/ノズル形状・サブクール度・流量の依存性を把握



超臨界圧条件における液面可視化  
模擬液体⇔液体水素の換算式獲得

- ▶ 気泡注入ならびに噴霧冷却による圧力降下実験を実施。ノズル形状や噴射位置を変えた場合について、高忠実数値流体解析の検証に適する定量データを取得して蓄積。
- ▶ 液体水素を用いた場合について、常圧(0.1MPa)から超臨界圧(1.5MPa)の初期条件を課したうえで、気泡注入と噴霧冷却による圧力降下実験を実施。
- ▶ 模擬液体と液体水素の物性の違い(ヤコブ数)に基づいて実験データの整理を行い、液体窒素を供試液体とする実験データを液体水素を供試液体とする場合への換算式の提案する。

## 2 事業目標と達成シナリオ…研究項目

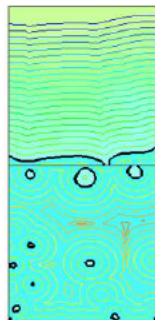
### 研究項目③：高忠実数値解析(CFD)の高度化と低次元予測モデル(ROM)への統合

デジタルツイン

#### 高忠実モデル(CFD)の高度化



スロッシング

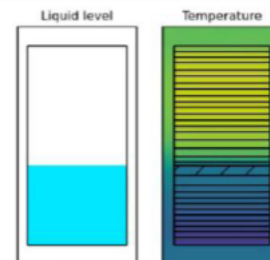


相変化

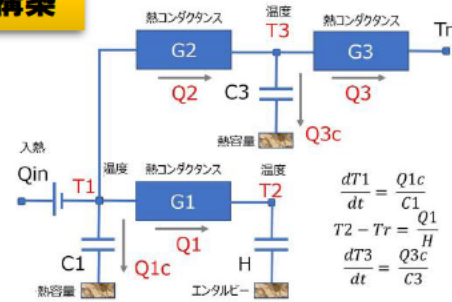


微粒化

#### 低次元化モデル(ROM)の構築



タンク



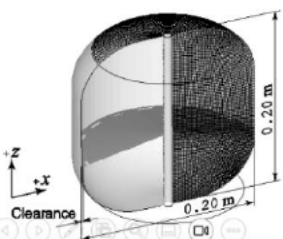
配管系統

▶ 数値解析により実験結果を模擬する試行を通じ、界面追跡・熱伝達・相変化・モデルを高度化。

獲得知見は、低次元化モデルに反映して顕在知として蓄積。システムレベルの動的作動予測に繋がる基盤とする。

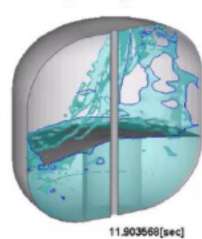


実験で検証された解析手法を用い、実験的再現が困難な実機環境における直接的に予測。



- ・相似流れについて実験と計算の相関を確認
- ・実機走行条件を計算で予測

CIP-LSM (東大コード) で計算



知恵を使って設計段階で「試運転」



## 2 事業目標と達成シナリオ…研究項目

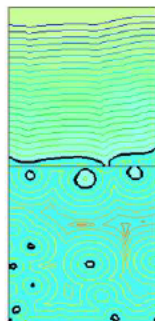
### 研究項目③：高忠実数値解析(CFD)の高度化と低次元予測モデル(ROM)への統合

デジタルツイン

#### 高忠実モデル(CFD)の高度化



スロッシング

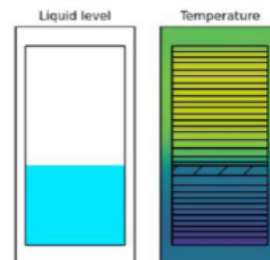


相変化

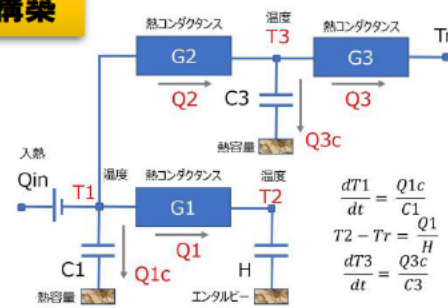


微粒化

#### 低次元化モデル(ROM)の構築



タンク



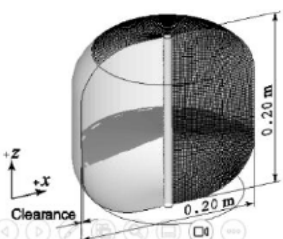
配管系統

▶ 数値解析により実験結果を模擬する試行を通じ、界面追跡・熱伝達・相変化・モデルを高度化。

獲得知見は、低次元化モデルに反映して顕在知として蓄積。システムレベルの動的作動予測に繋がる基盤とする。

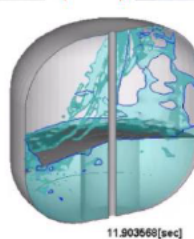


実験で検証された解析手法を用い、実験的再現が困難な実機環境における直接的に予測。



- ・相似流れについて実験と計算の相関を確認
- ・実機走行条件を計算で予測

CIP-LSM (東大コード) で計算

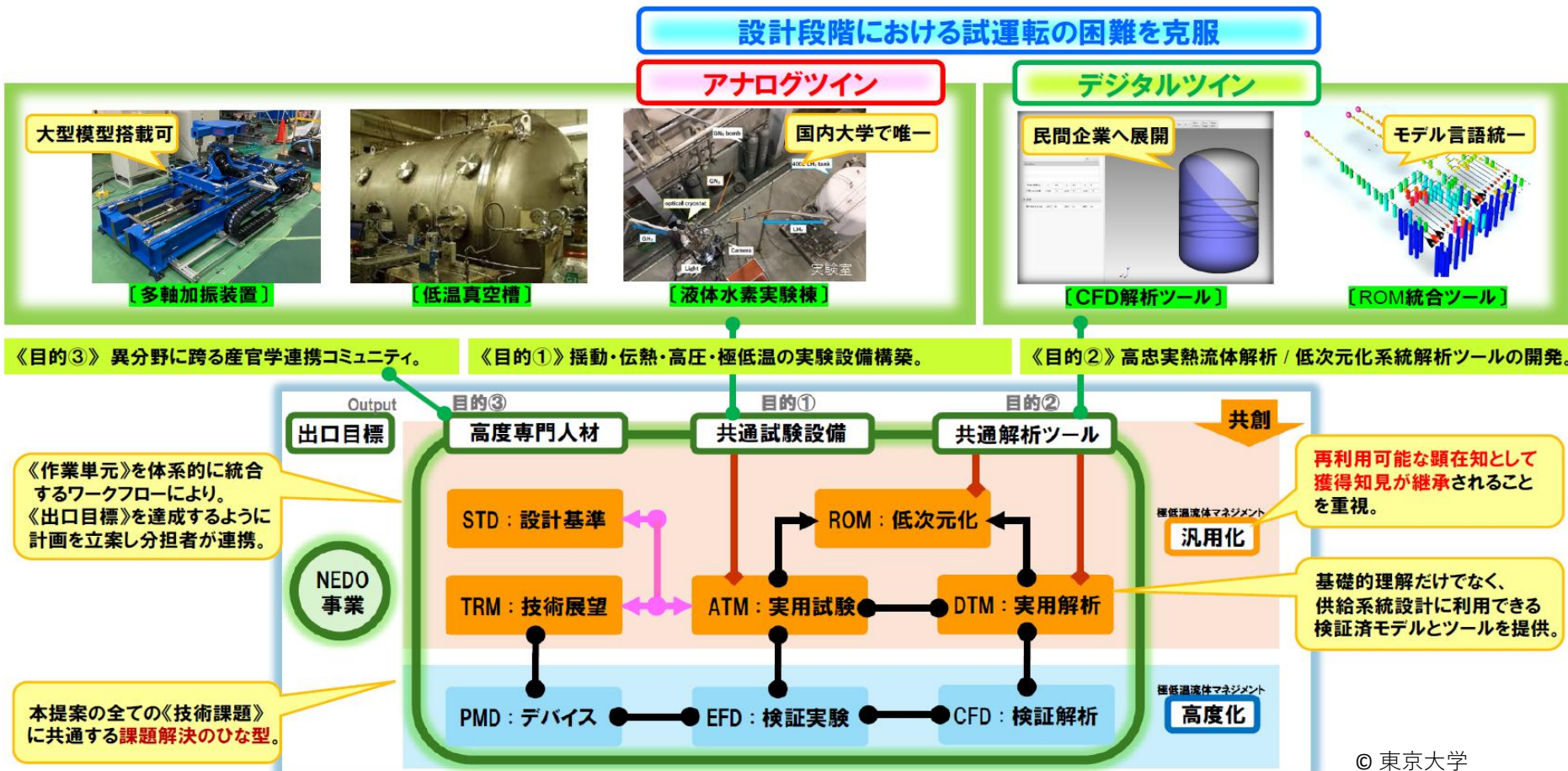


知恵を使って設計段階で「試運転」



### 3 出口目標 = アウトプット = 技術の汎用化

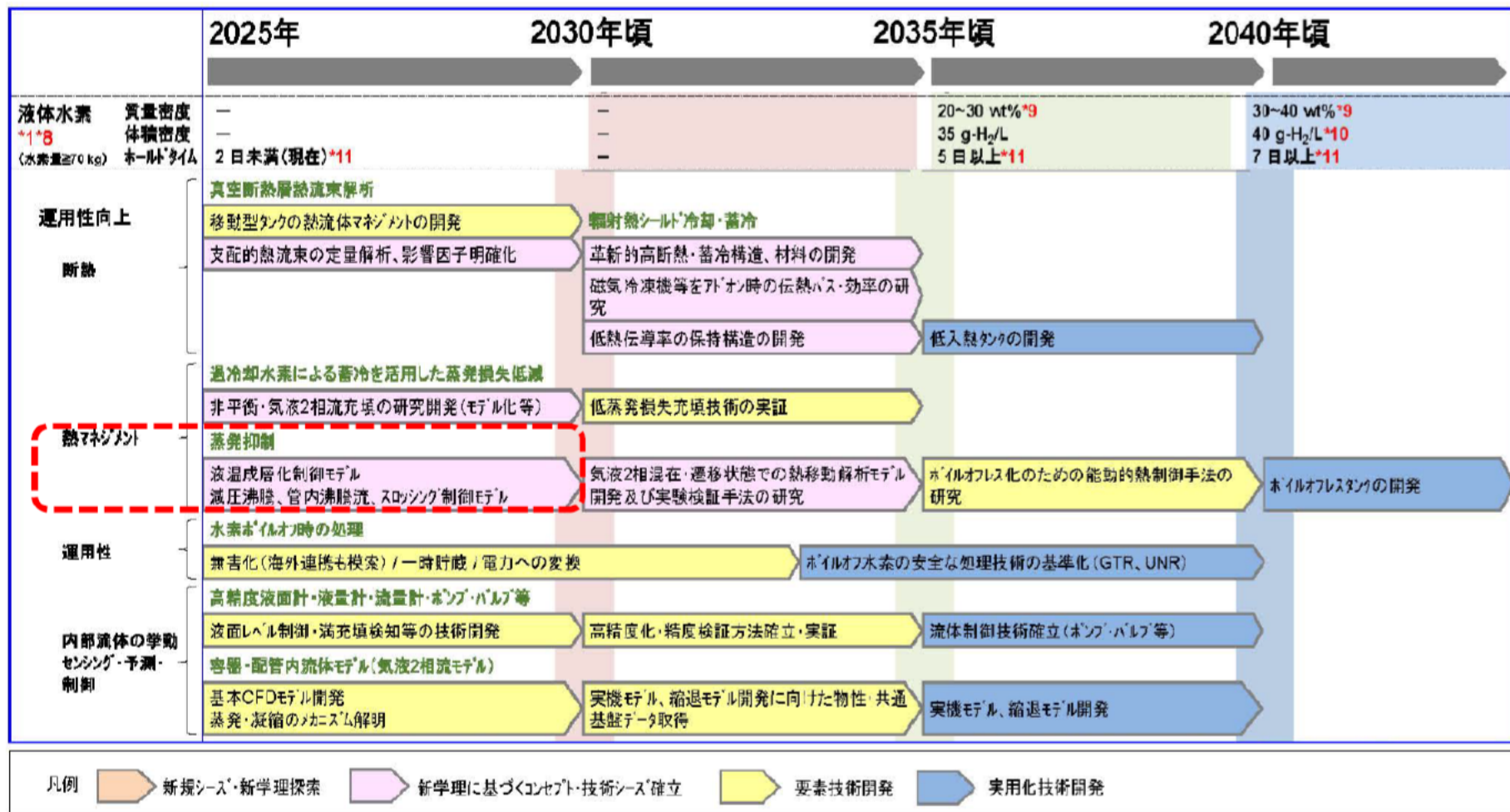
**目標：液体水素の貯蔵・充填・供給に係る物理的挙動を解明し数理モデルとして記述。モビリティ用の液体水素貯蔵・供給システムの開発に資する。**



**アウトプット：**① タンク内で起こる液体水素の熱流動現象の可視化と把握。  
② 液体水素貯蔵に係る物理現象予測に活用できる、実験で検証されたCFD/ROMモデルの構築。  
③ 実機では検証ができない、急制動、異常入熱、緊急減圧、などの事象模擬。

## 4 実用化・事業化の取組

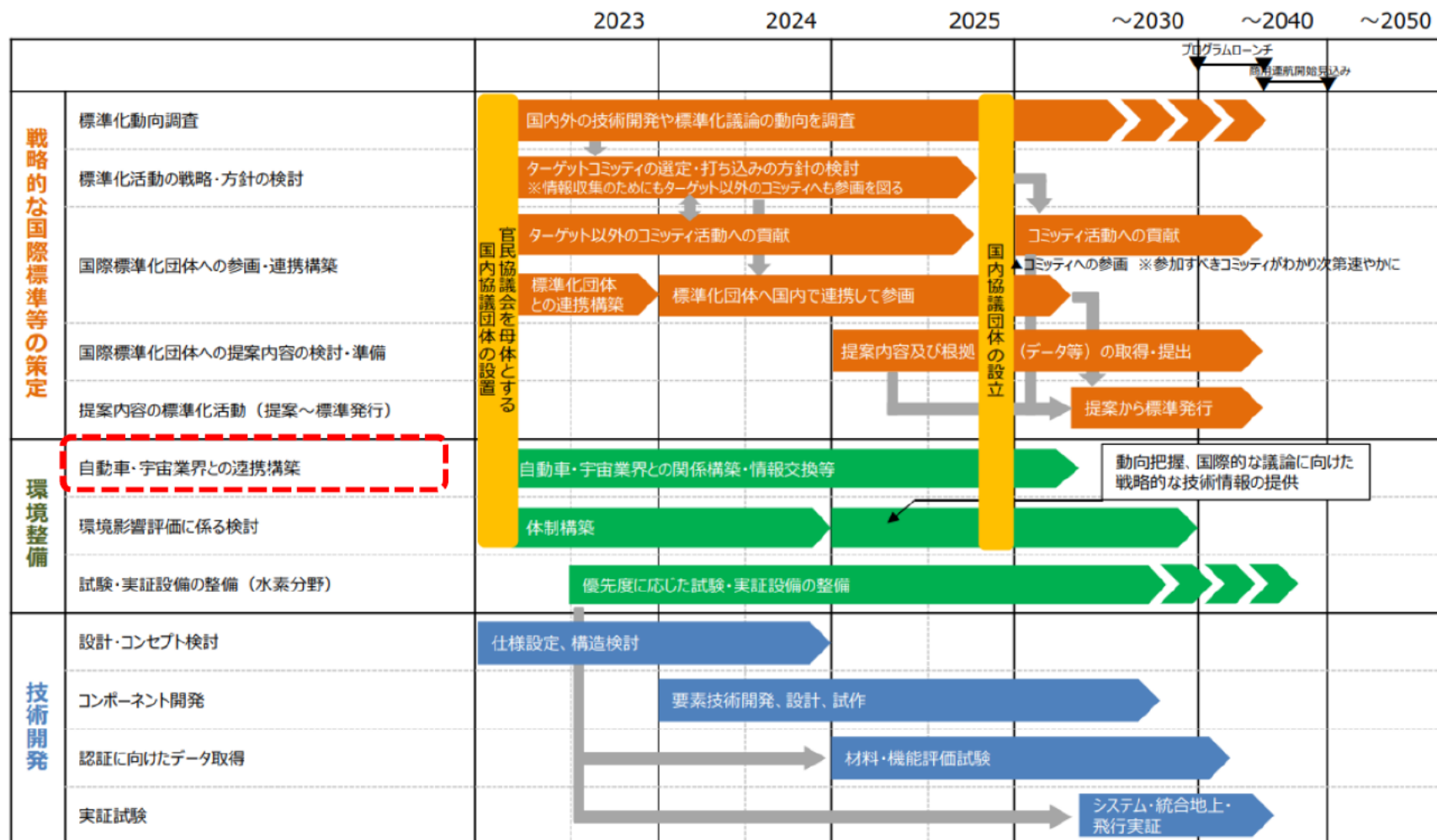
◎ 『水素・燃料電池戦略ロードマップ』では、液体水素貯蔵システム運用性向上のために、液温成層化制御モデル・スロッシング制御モデルの技術シーズ確立が明記されている。



(NEDO『燃料電池・水素技術開発ロードマップ』(2024年度改訂版)より抜粋)

## 4 実用化・事業化の取組

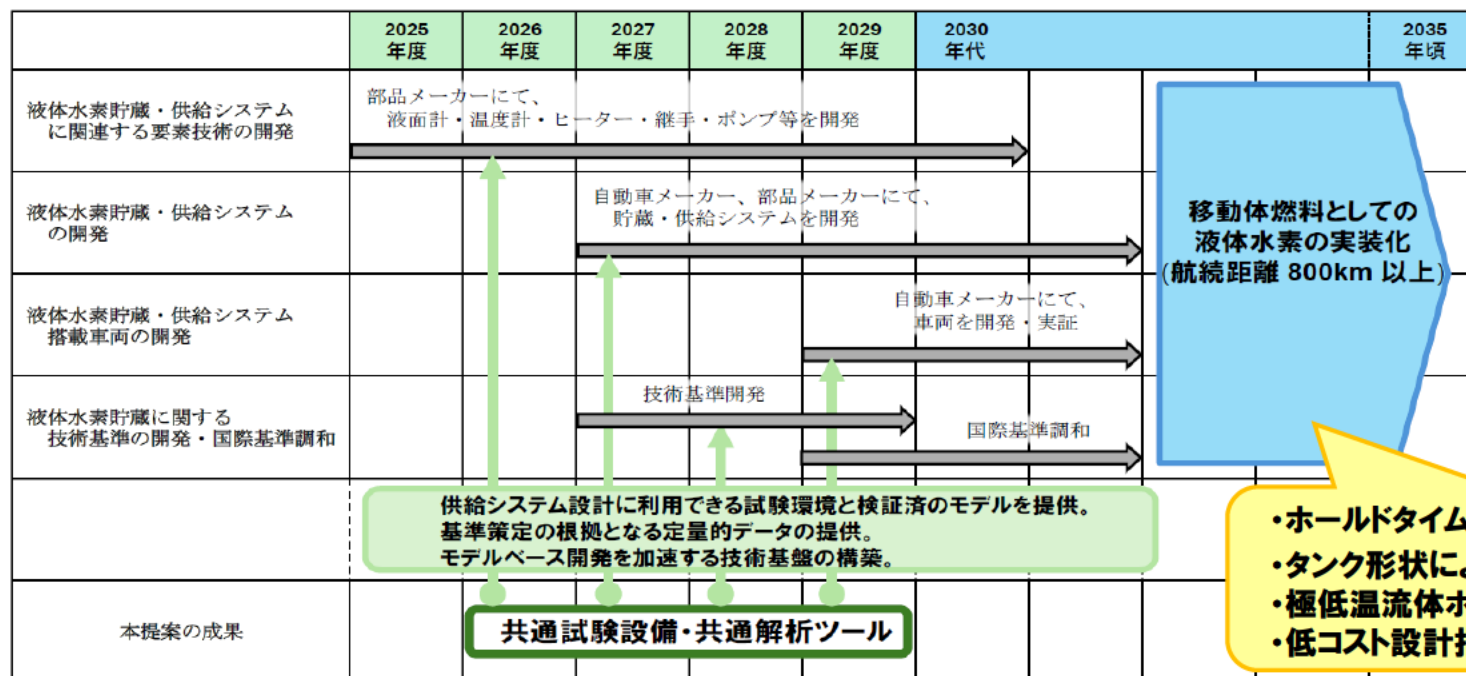
◎ 『**航空機の脱炭素化に向けた新技術ロードマップ**』でも、自動車業界との連携強化と、産業分野の垣根を超えた基盤技術の強化が重要とされている。



（『航空機の脱炭素化に向けた新技術ロードマップ（水素分野）』（2023年）より引用）

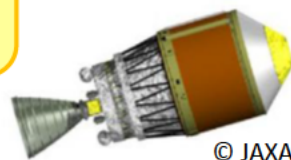


# 4 実用化・事業化の取組・・・出口目標(アウトプット)から成果目標(アウトカム)へ



- ・ホールドタイム延長 (2日→5日@2035年)
- ・タンク形状による蒸発抑制効果
- ・極低温流体ポンプの吸込条件予測
- ・低コスト設計指針検討 などに資する

研究の推進により、  
大型の燃料電池自動車・航空機・鉄道車両など  
実用化および国際流通を円滑にするとともに、  
我が国の産業競争力強化に貢献する。

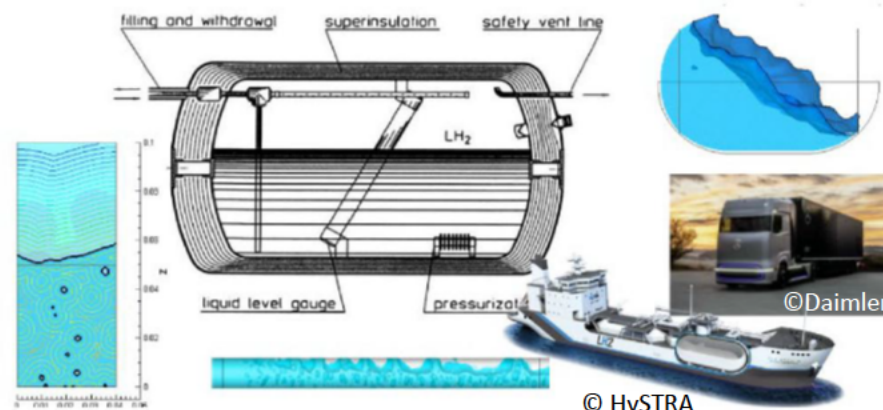


© JAXA



© Airbus

[https://www.researchgate.net/figure/Mobile-liquid-hydrogen-storage-tank\\_fig1\\_284618929](https://www.researchgate.net/figure/Mobile-liquid-hydrogen-storage-tank_fig1_284618929)



© HySTRA



©Daimler