

背景

大型FCV（特に長距離用）へは、貯蔵密度が高い**液体水素貯蔵システム**の搭載が期待される。ただし、液体水素貯蔵を実現するためには、充填時の水素排気ロス削減や水素供給制御等の課題を解決する必要がある。

本研究開発では、これらの課題解決のための基盤研究として、液体水素の充填・供給技術に係る物理的挙動の把握を行い、液体水素貯蔵・供給システムの開発促進に資する。

液体水素の差圧充填

フラッシュガス：排気による圧力低下に伴う蒸発ガス
（容器内よりやや高い圧力・やや高い温度）
1充填（100kg水素）で**30kg水素の排気ロス**が発生

subcooled LH2 (sLH2)充填

冷たい液体水 (sLH2)（容器内より高い圧力・低い温度）
sLH2充填により、**排気ロスをゼロに、排気ホースを不要に**することが可能
課題：sLH2充填の最適化のため、**再液化の物理現象を理解**することが必要

FCへの水素供給制御

対流、スロッシング、蒸発/沸騰
FCへの水素供給
走行中の燃料として使用するため、**取り出しのための圧力・温度制御と走行中の振動の影響を複合的に検討**する必要がある
⇒**物理的挙動の把握が必要**

②-3 気体／液体共存三次元シミュレーション解析による物理的挙動の把握

③-2 3次元シミュレーション解析によるハザード現象の把握と対策

目的：加振を受ける容器内の液面揺動(スロッシング)により促進される気液間の熱伝達と相変化を実験的に確認する。

目標：気体窒素とサブクール温度（飽和温度よりも低い温度）の液体窒素を封入した密閉容器について、スロッシング発生時の圧力降下を確認する。

成果：様々な周波数での加振条件により、液面変形や砕波発生に違いが生じ、液面付近の飽和温度層が破壊されることにより、圧力降下が促進されることが確認できた。数値解析の検証評価に有効な、再現性のあるデータを取得できた。

課題：容器固体壁の温度分布も含めた計算負荷の軽い境界条件のモデル化。

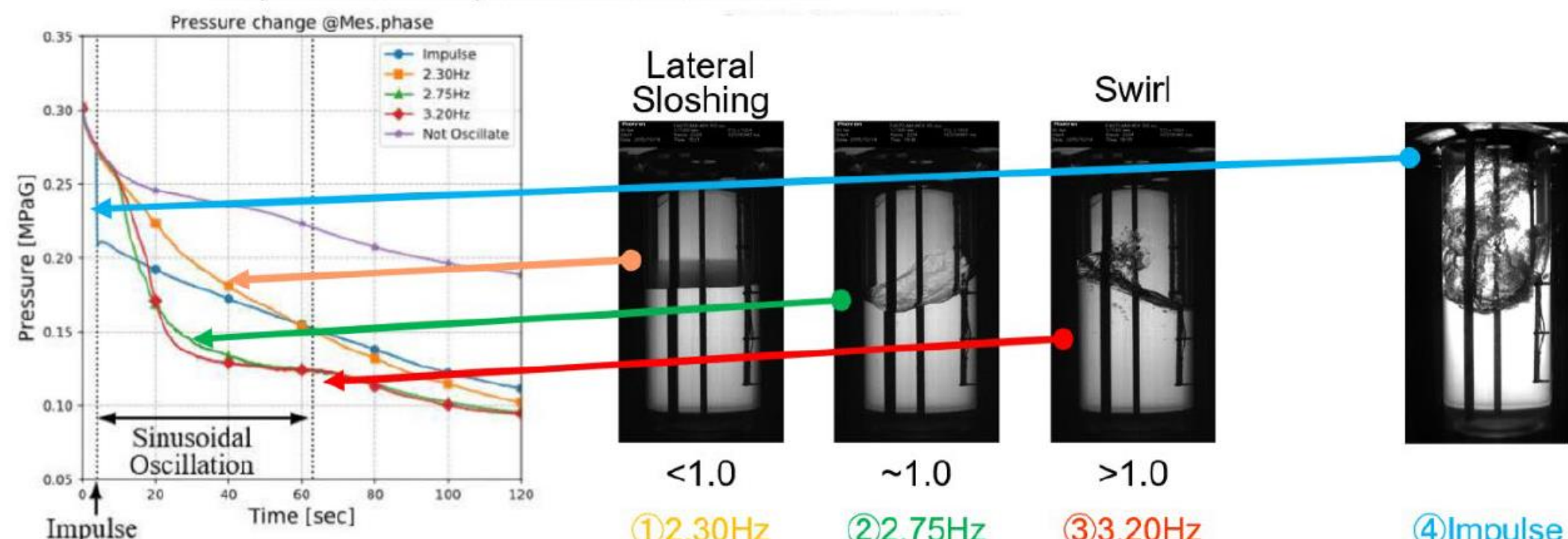


図5 スロッシングに誘起された圧力降下(実験)

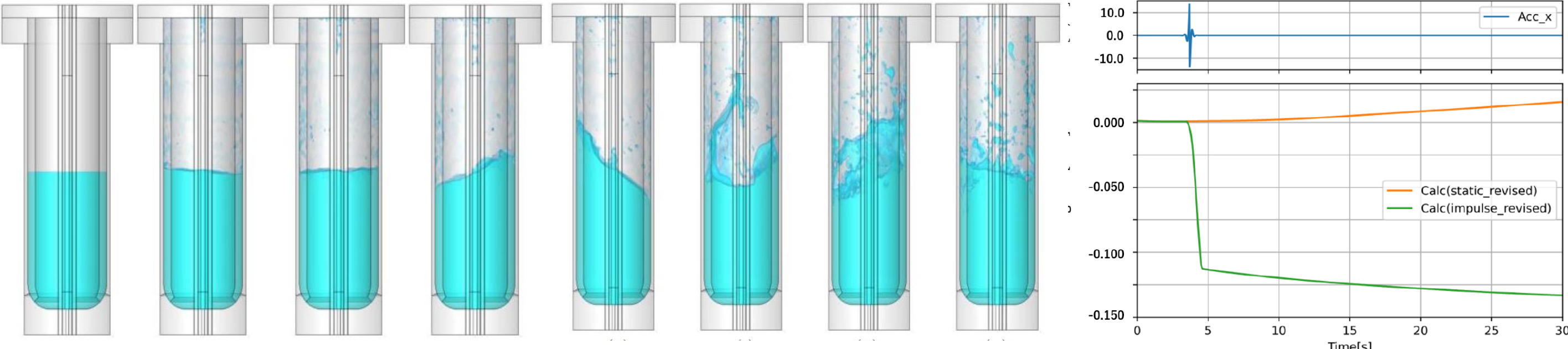


図6 スロッシングに伴う圧力降下(数値解析)

③-1 液体水素充填・供給時のハザード解析（JARI）

目的：液体水素貯蔵・供給システムのハザード解析による対策の検討。

目標：液体水素貯蔵・供給システムにおける望ましくない現象について、要因および対策を整理し、検証が必要な項目を明確にする。

成果：ハザード解析結果より、検証が必要な項目を整理した（表1）。

課題：液体水素を用いたハザード検証の実施（実施場所の検討含め）。

表1 液体水素貯蔵・供給システムのハザード解析結果（要検討項目）					
部品	危機の要因	危機	危機の程度	対策	対策後の懸念事項
インナータンク	・設計不良（腐食・疲労）	穴形成	アウトータンク破裂	・材料、肉厚設計（破裂・疲労） ・安全弁、ラフチャーデスクの設置	安全弁作動の影響？
インナータンク	・急制動、急転回	スロッシング	圧力低下？	・不要	？
アウトータンク	・断熱性能低下	入熱過剰	インナータンク圧力過剰による破裂	・断熱性能試験 ・安全弁、ラフチャーデスクの設置	安全弁作動の影響？
アウトータンク	・設計不良(腐食・疲労) ・車両底部の接触	穴形成	インナータンク圧力過剰による破裂	・材料、肉厚設計（破裂・疲労） ・安全弁、ラフチャーデスクの設置	安全弁作動の影響？
配管	・配管設計不良	液封	配管破裂	・液封が起こりえない配管設計	なし
継手	・シール不良（低温シール性）	水素漏れ	水素火災、水素爆発	・シール選定 ・気密試験	なし
充填設備	・ 過剰充填	圧力過剰	インナータンク破裂	・充填プロトコルの確立 ・安全弁、ラフチャーデスクの設置	安全弁作動の影響？
タンク	・衝突事故	衝撃	タンクサポートの破損？	・衝撃試験	？
タンク	・転覆事故	転覆	液体水素漏れ？	・転覆試験	？

実施項目

① 水素の凝縮／蒸発の物理的挙動の把握（琉球大学） [報告済み](#)

② 液体水素充填・供給技術に係る物理的挙動の把握

③ 液体水素充填・供給時のハザードの把握

②-1 容器内液化の検証（JARI）

目的：容器内の気体水素を液化することが可能か実験的に確認する。

目標：気体水素が液化する条件（温度・圧力）を実験的に評価する。

成果：可視化容器内の気体水素（0.05~0.5 MPaG）を液体水素で冷却することで、蒸気圧曲線上の温度・圧力で気体水素が液化することが確認できた。

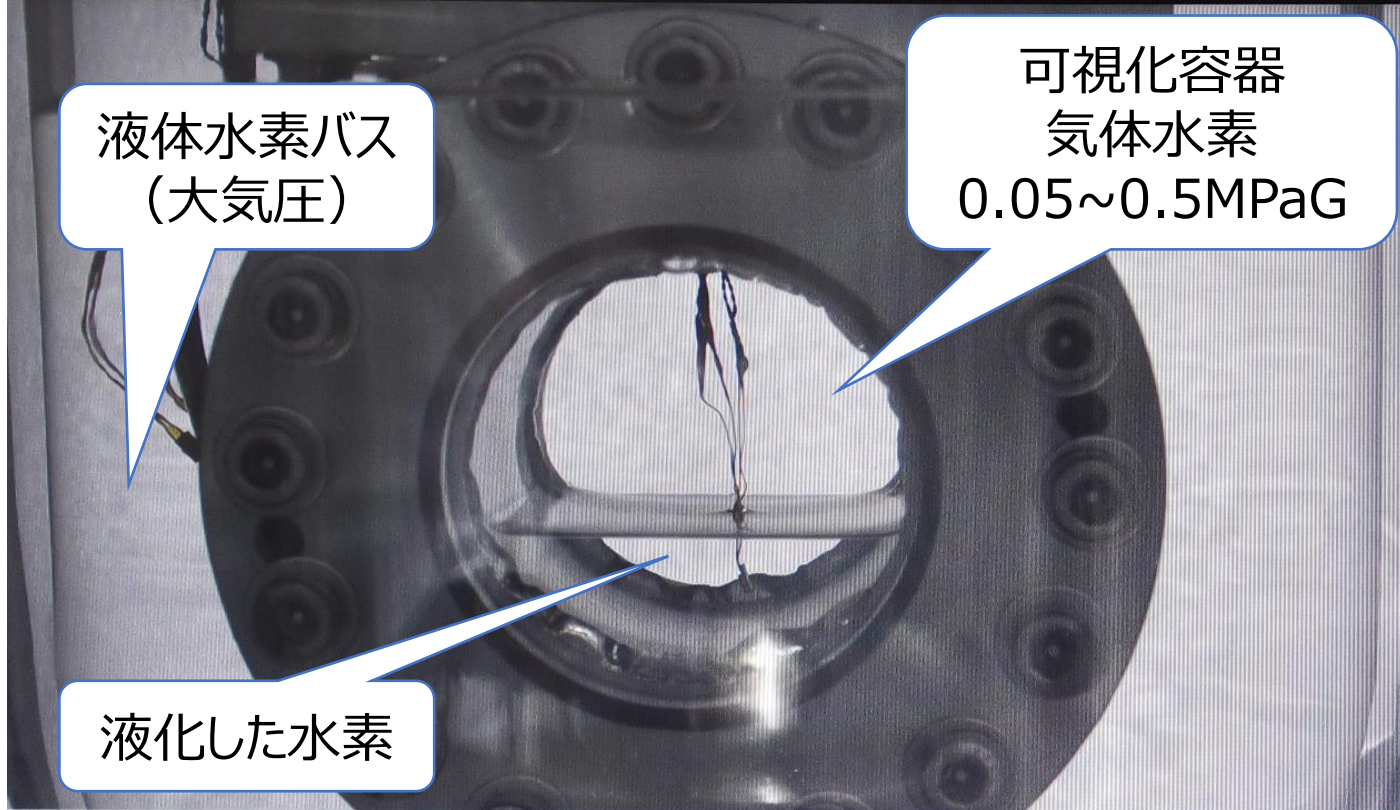


図1 容器内水素液化実験状況

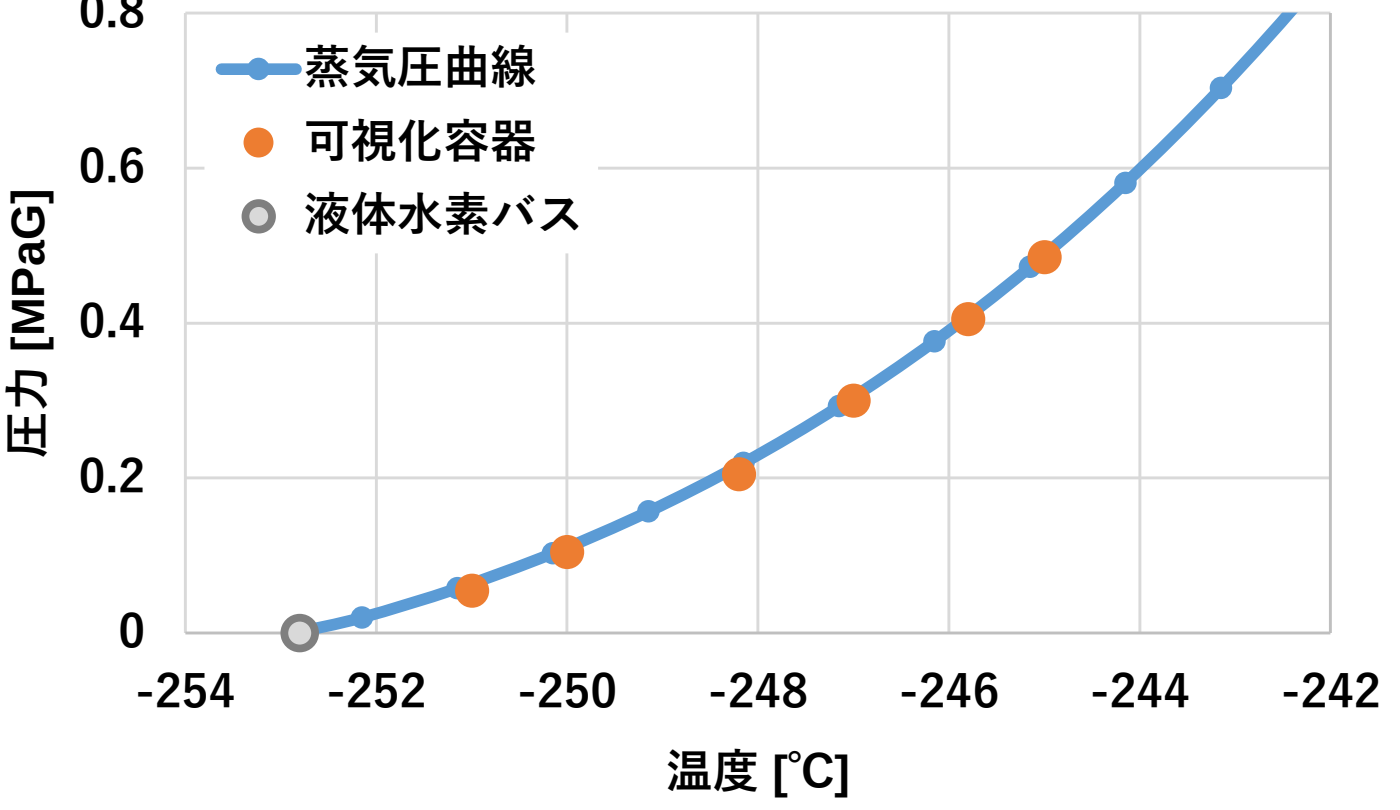


図2 容器内水素液化温度・圧力

②-2 充填シミュレーション解析による充填ロス削減の検証（JARI）

目的：充填シミュレーションにより効率的な充填方法を提案する。

目標：液体水素の0次元の充填シミュレーションを開発し、充填時の効率を検討する。

成果：0次元の充填シミュレーションにより、容器内の初期条件の影響を調査した。気体の初期温度が高いほど放出量が多く、液体の初期温度より再液化への影響が大きい。

課題：物性値の変化が顕著な三重点と臨界点近傍での解析が困難であり、改善が必要。別途実施した量子力学を考慮した分子動力学の成果を0次元のマクロな充填シミュレーションに適用することで信頼性の向上が期待される。

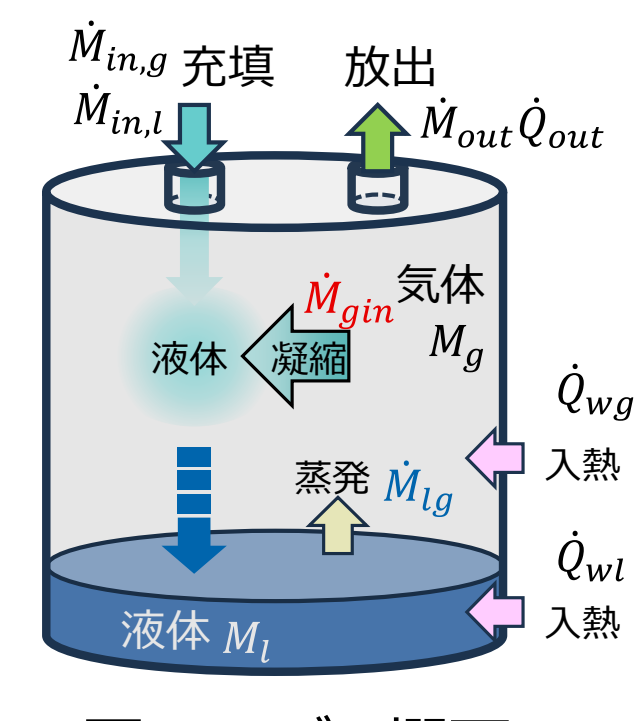


図3 モデル概要

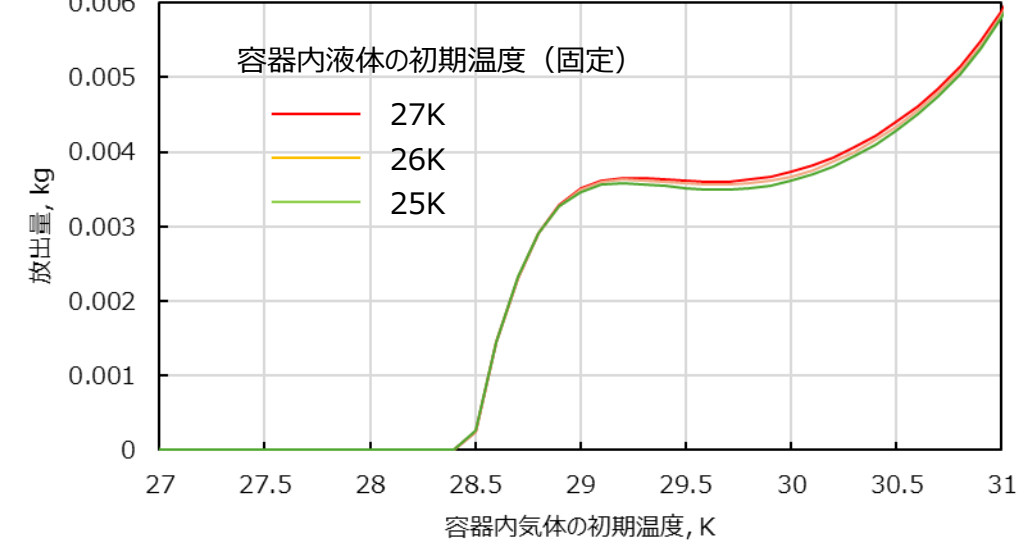


図4 容器内気体の初期温度と放出量

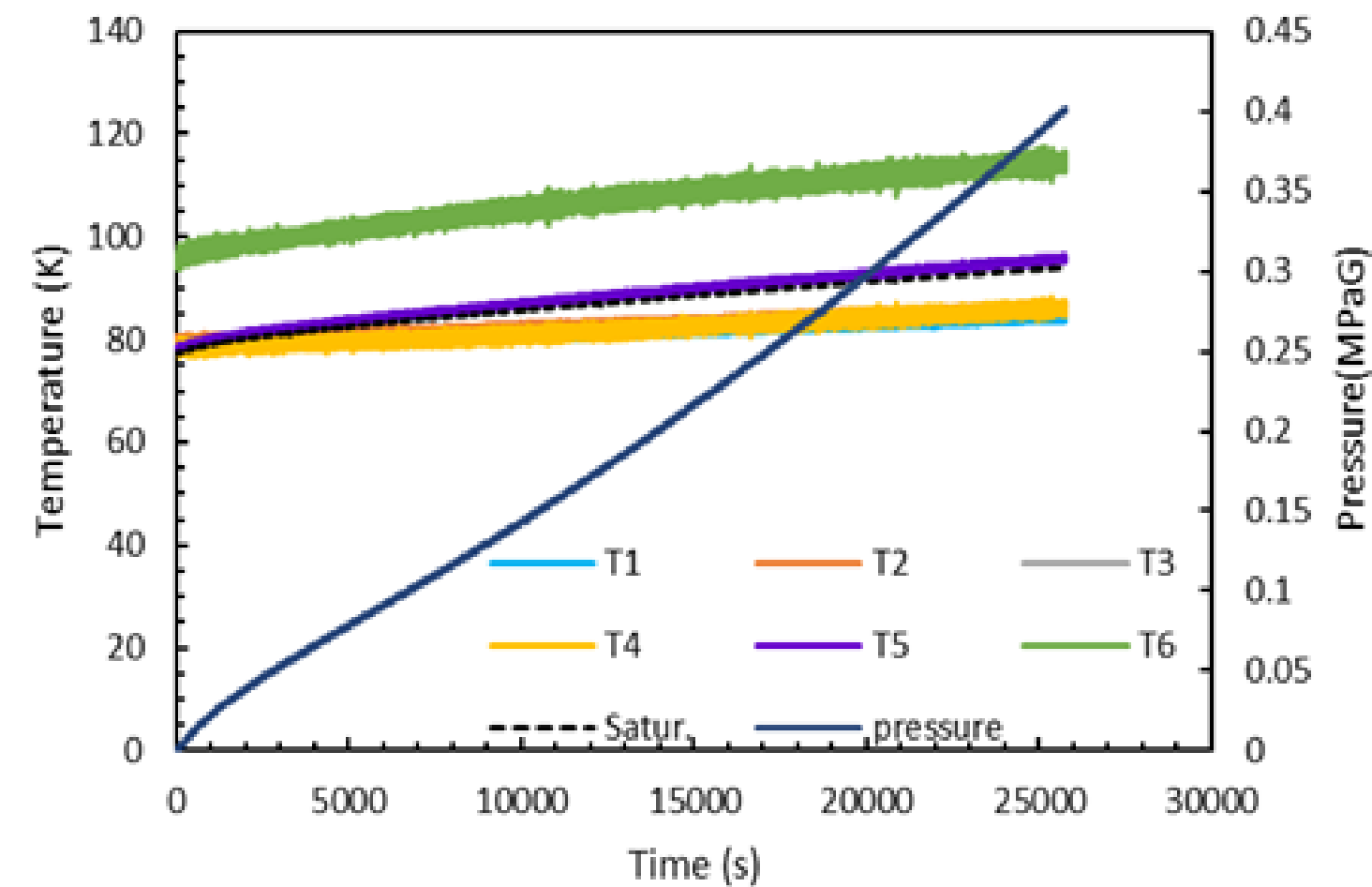
②-4 液体水素を用いた容器内気体／液体挙動把握（神戸大学）

目的：液体水素貯蔵実験（蓄圧・振動・加圧）等を行い、容器内の気体水素および液体水素の挙動を明らかにする。

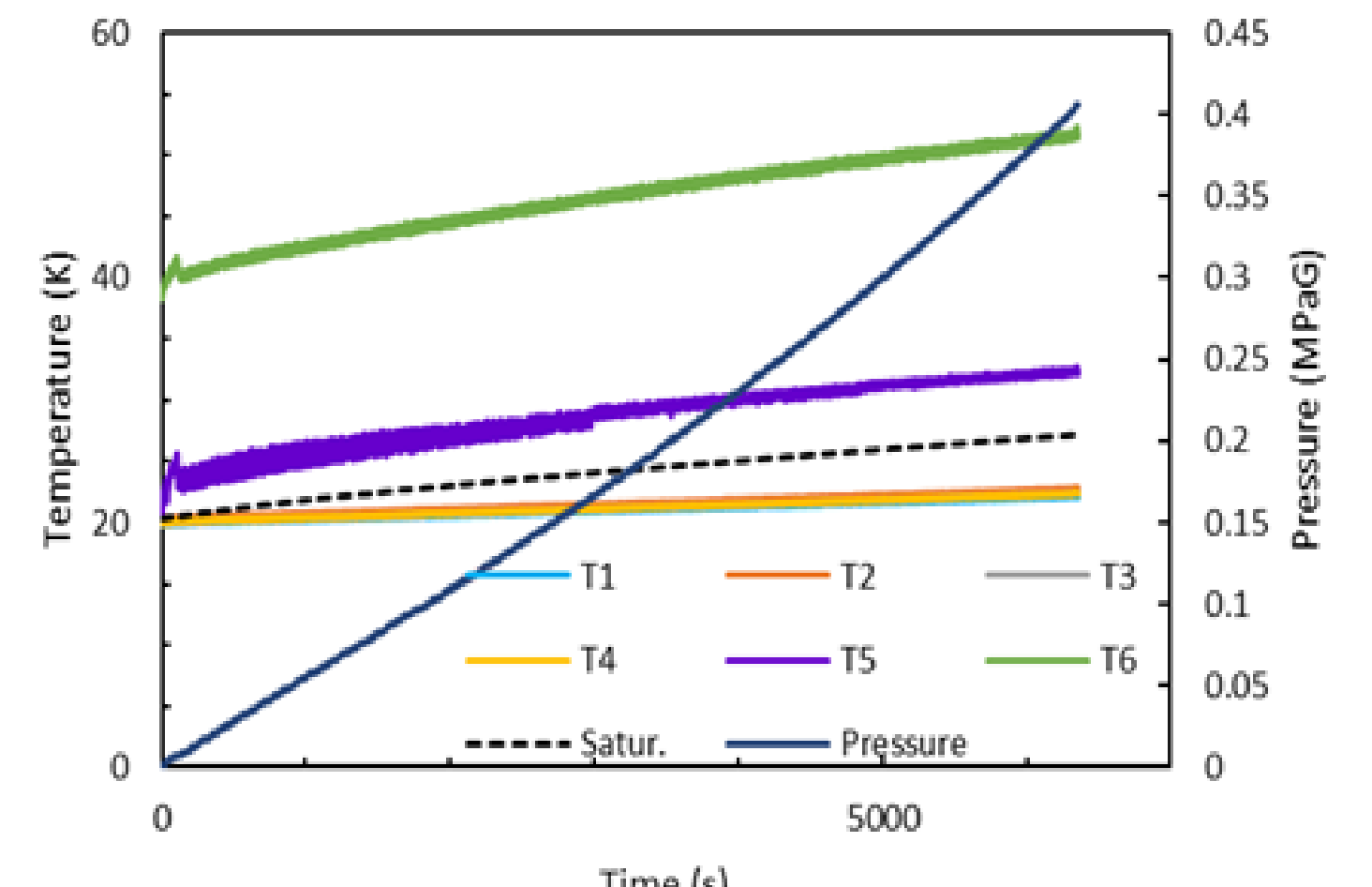
目標：0.4 MPaGまでの圧力下（更に車載用容器で想定される圧力下）での温度・圧力等の時間変化の実験データを取得する。また、液体水素の代わりに液体窒素で代替できる試験を調べる。

成果：充填率をパラメータとして、液体窒素と液体水素を用いた比較実験を実施した。図7に充填率70%での静止蓄圧試験における温度と圧力の時間変化を示す。液相部分の温度T1~T4は、窒素・水素ともにサブクール状態になっていた。一方、気相部分の温度T5~T6は、窒素・水素ともに緩やかに上昇していた。圧力の時間変化に注目すると、蓄圧開始直後を除き、窒素・水素ともに2次関数的に増加していた。充填率にも依存するが、静止蓄圧試験では水素の代わりに窒素で代替できると考えられる。

課題：車載用容器で想定される圧力および水素の超臨界圧力に達するまでの詳細な実験データを取得する。



液体窒素、充填率70.6%



液体水素、充填率70.0%

図7 温度と圧力の時間変化