

発表No. A1-13

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官  
連携研究開発事業/水素利用等高度化先端技術開発/  
軽量液体水素タンク用高分子系  
ハイブリッド複合材料の研究開発

内藤 公喜

国立研究開発法人物質・材料研究機構

2024/7/18

連絡先：

内藤 公喜

NAITO.Kimiyoshi@nims.go.jp

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : (西暦) 2022年9月  
終了 (予定) : (西暦) 2025年3月

## 2. 最終目標

- ▶ サンドイッチ構造 (コア) での**断熱性の実現可能性**を明らかにする。
- ▶ 複合材料の**液体窒素浸漬下での静的力学特性**を明らかにする。
- ▶ 複合材料の**液体窒素浸漬下での疲労力学特性**を評価する。

## 3. 成果・進捗概要

### ▶ サンドイッチ構造 (コア) の**断熱性評価**

室温 $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ の環境下で、液体窒素導入時のコアのみで最外層の温度は $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ となり、目標である $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ を達成

侵入熱量は、コアのない場合と比較してコアのある場合で**約1/10**となった。

コア配置のみの構造では**ボイルオフ対策等の長期的な断熱性は不十分**であることがわかった。

### ▶ 複合材料の液体窒素浸漬下での**静的力学特性**

液体窒素浸漬環境下での静的強度は**GFRPで1.29 GPa** (室温環境下での試験に対して27%向上)

**CFRPで3.05 GPa** (室温環境下での試験に対して2%向上) となり、目標である0.9、2GPa以上を達成

# 1. 事業の位置付け・必要性

- 燃料電池の普及、水素活用では、エネルギー密度の高い液体水素が重要
  - **貯蔵として液体水素タンクに関する研究開発**が必要
    - 高圧気体水素タンク（TOYOTA MIRAI等）で成功（低コスト化が課題）
    - 液体水素タンクについては**金属製真空断熱タンク**の検討（船舶液体水素輸送用、レース用）はあるが、軽量とは言えない
    - 水素関連ロードマップでは**大型トラックでは液体水素貯蔵へのニーズ**がはっきりと記載
- 輸送機等での液体水素タンクの場合、タンクの断熱性と軽量化が重要
  - 軽量化では**複合材料（FRP：Fiber Reinforced Plastic）**の表皮と超軽量材料であるコアで構成させるサンドイッチ構造が有効
  - 海外勢は**航空機利用**を中心に研究が加速（WEB等で軽量液体水素タンクの例がある）
  - 【断熱性】
  - **サンドイッチ構造での断熱性は不確定**
  - 【極低温環境下での力学特性】
  - 軽量タンク構造での適用が想定される**繊維強化プラスチック（FRP：Fiber Reinforced Plastic）**の**材料特性の明確化**
  - 評価設備（特に液体水素）、試験の困難さの課題（特に、FRP関連用試験治具）

### < 研究開発の目標と目標設定の考え方 >

#### 【断熱性】

- サンドイッチ構造での**断熱性の実現可能性**を明らかにする。  
円筒内部に液体窒素を導入した場合、最低限断熱性として最外層の温度が室温 ( $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) であることが必須であり、 $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ を目標とする。

#### 【極低温環境下での力学特性】

- **液体窒素浸漬下での静的力学特性**を明らかにする。  
FRP関連用の**試験治具**（疲労荷重下も想定）を検討し、研究機関としての価値から**知財化を検討**  
液体窒素浸漬下での一方向のGFRPおよびCFRPの引張強度が90%程度維持すると仮定し、**0.9および2 GPa以上**を目標とする。
- **液体窒素浸漬下での疲労力学特性**を評価する。  
実際に材料を適用するためには疲労負荷での力学挙動が必要  
液体窒素浸漬下での一方向のGFRPおよびCFRPの $10^7$ 回時間強度が静的強度の**20% および35%以上**を目標とする。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### < 研究開発のスケジュールと実施体制 >

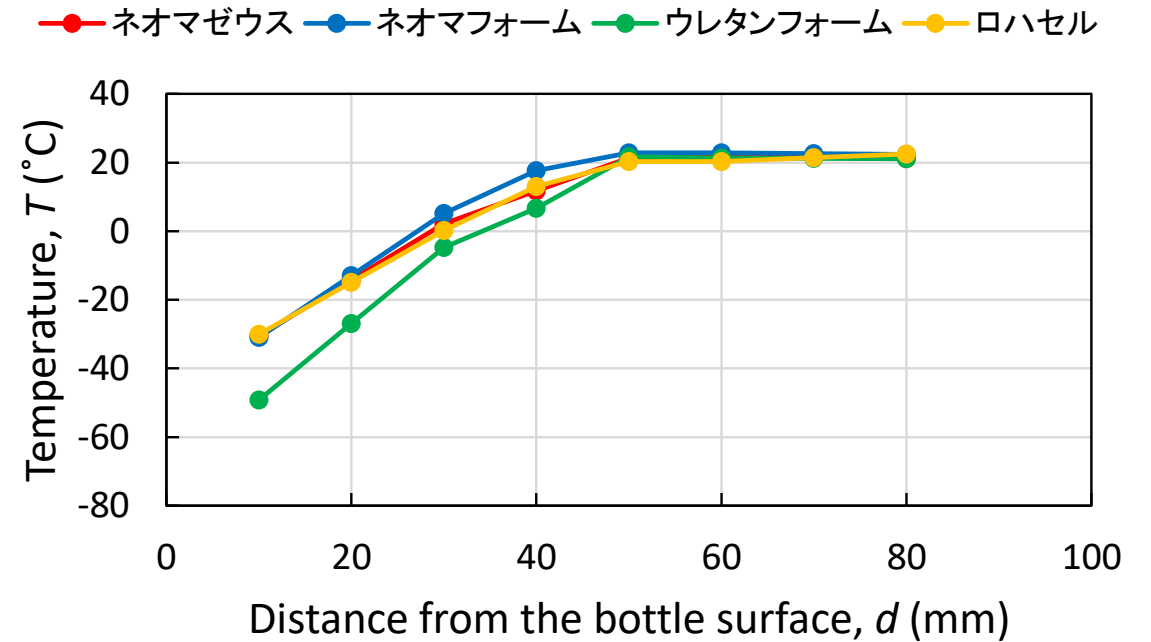
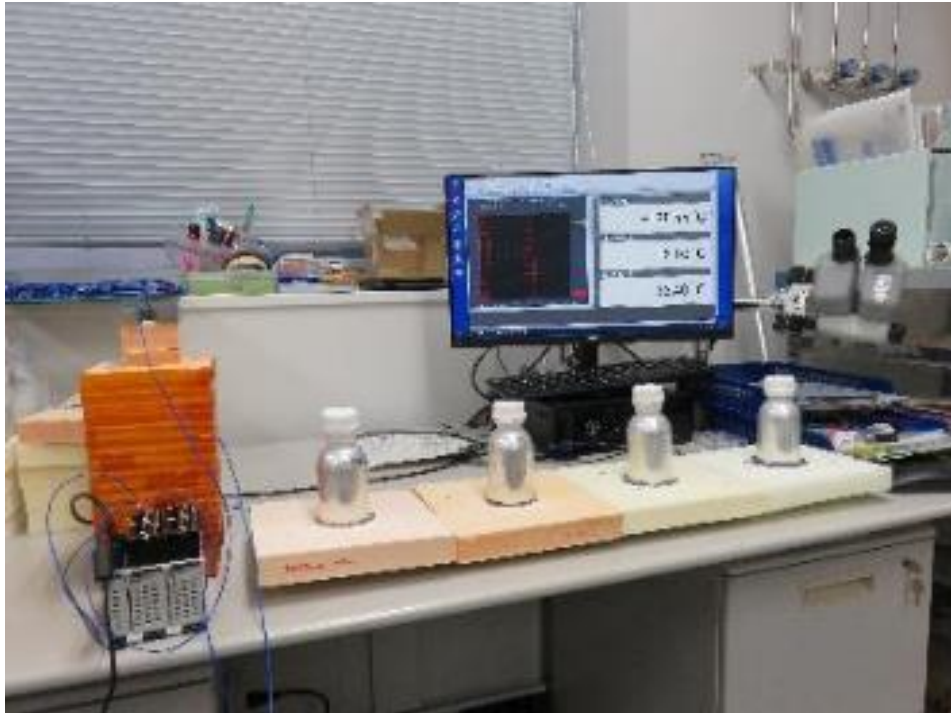
研究開発テーマ	2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期
軽量液体水素タンク用高分子系ハイブリッド複合材料の研究開発（物質・材料研究機構）																
・断熱性評価																
・構造・寸法の検討																
・試験片の作製																
・断熱性評価																
・低温環境下での 力学特性評価																
・治具・低温槽の検討・作製																
・複合材料での評価、解析																
・サンドイッチでの評価、解析																

基礎的な可能性検討や材料評価が中心であり、研究体制としては物質・材料研究機構のみで実施

### 3. 研究開発成果について

#### 【断熱性：コア材選定】

様々なコアとアルミ缶をウレタン接着剤で接着し、アルミ缶内部に液体窒素を導入した場合のコア種類およびコアーアルミ缶間の距離での温度変化を測定

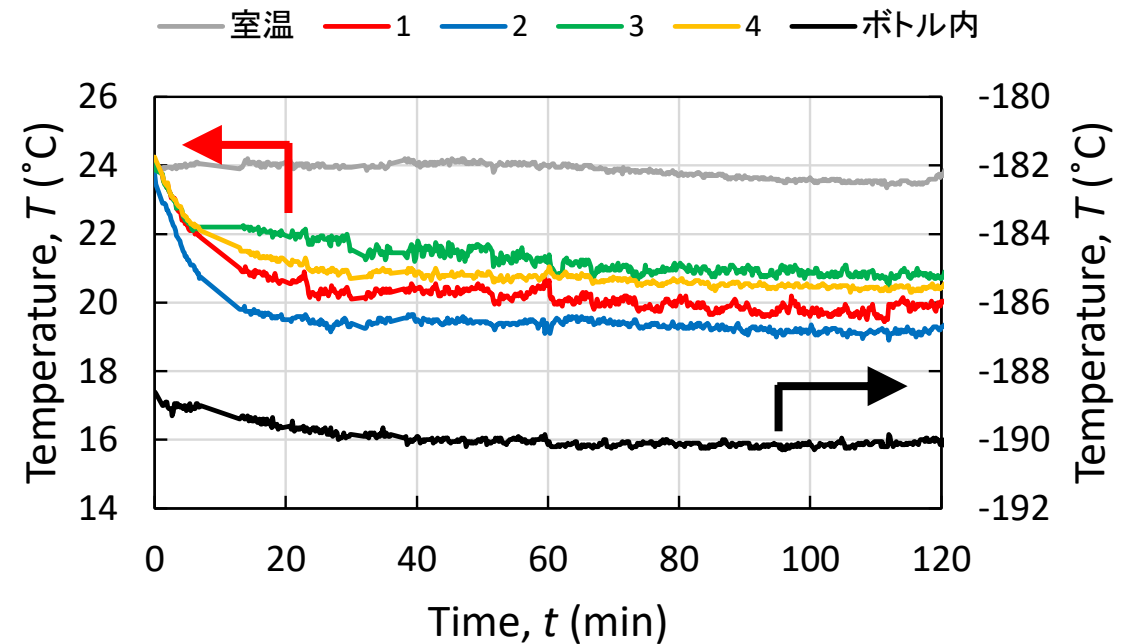
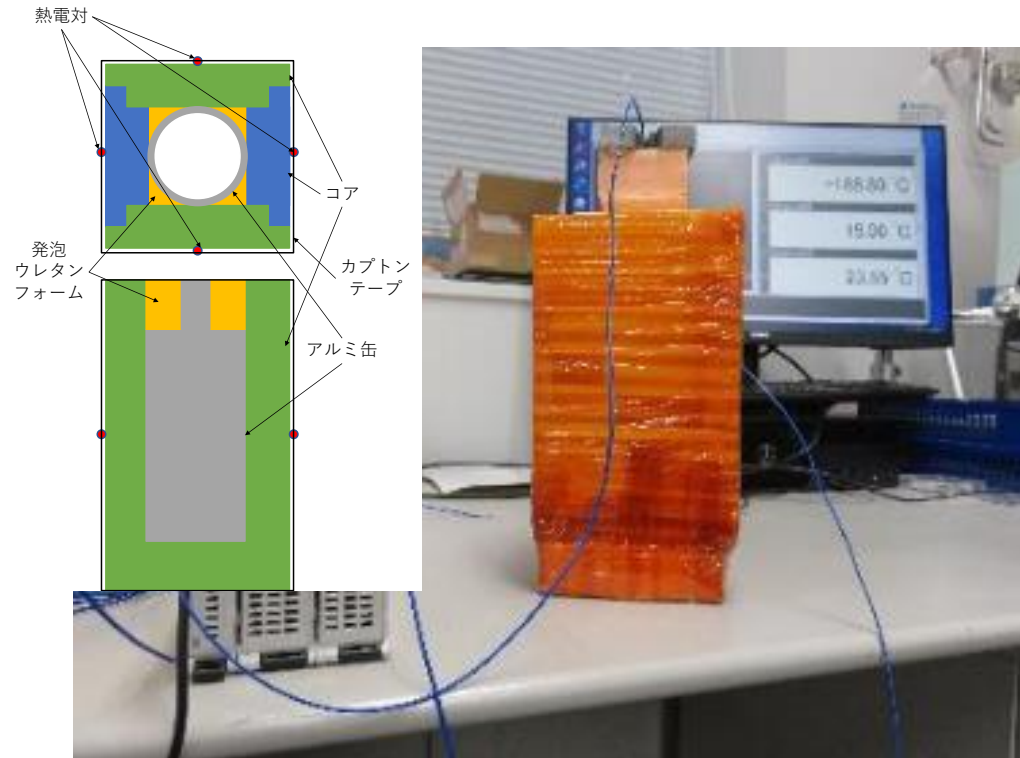


熱伝導率の小さいコアを選定したため、コア種類による大きな差異はなかった。アルミ缶からの冷気の影響で $23 \pm 5^\circ\text{C}$ を達成する距離は理論値より長くなった。

### 3. 研究開発成果について

#### 【断熱性：コアでの温度変化】

コア（厚さ30 mm）でアルミ缶を覆い、液体窒素導入時の最外層温度を測定



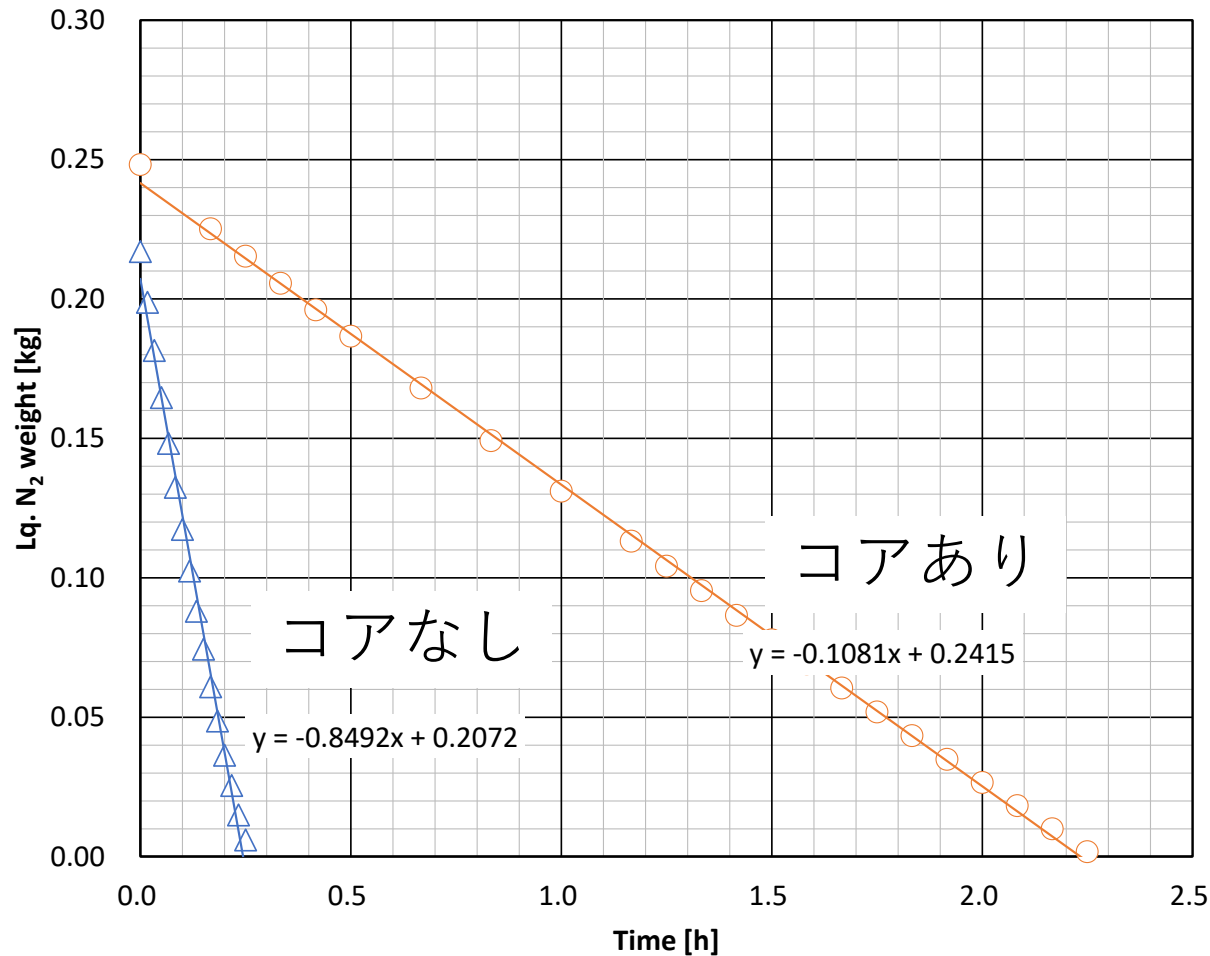
23 ± 5 °C を達成する距離も理論値と同程度  
最外層の温度は 20 ± 1 °C（室温：24 ± 1 °C）であり、**目標である 23 ± 5 °C を達成**



### 3. 研究開発成果について

#### 【断熱性：侵入熱量】

アルミ缶（容量250 ml）を用いて液体窒素導入時の液体窒素の重量時間変化を測定、侵入熱量を求めた。



コアのある場合の**侵入熱量**は、コアのない場合と比較して**約1/10**となった。侵入熱量からコア配置のみの構造では**ボイルオフ対策等の長期的な断熱性は不十分**であることがわかった。



### 3. 研究開発成果について

#### 【極低温環境下での力学特性：試験治具】

FRP関連用の試験治具（疲労荷重下も想定）を検討し、研究機関としての価値から知財化を検討

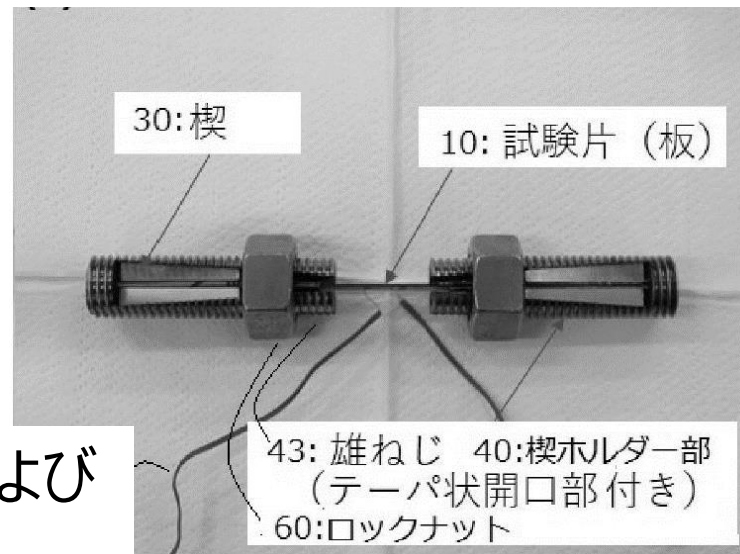


液体窒素浸漬環境下での静的および**疲労負荷**を含めた試験装置導入

金属での**ネジ式試験片**の利点と従来の**くさび型式張試験治具**の利点を併せ持つ構造を検討

特願2023-063776

『軸荷重負荷試験用の試験片把持具、並びにこれを用いた極限環境中での軸荷重負荷試験機』



FRP等の板状の試験片では、試験片に穴をあけると穴から破壊が生じてしまう場合がある。従来の把持方式は、環境槽の大きさ制限や試験環境によっては使用ができない場合がある。本発明はこのような課題を解決するもので、**極限環境中での試験片把持具**を提供する。→物質・材料研究機構に導入の液体水素浸漬環境下での試験装置でも使用できる構造

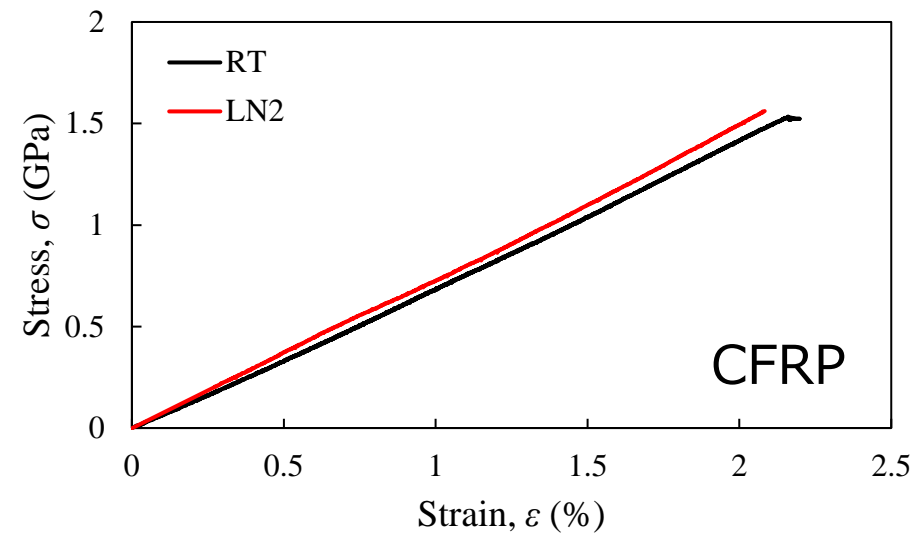
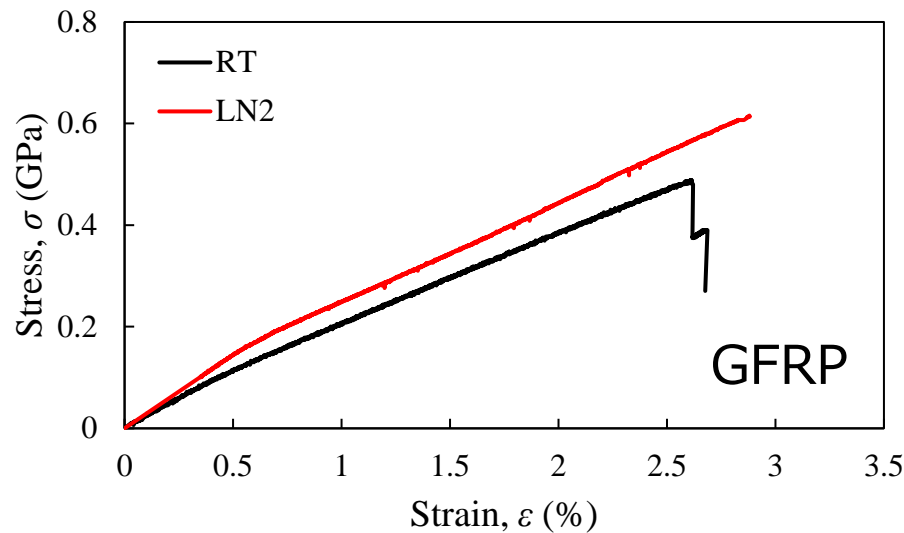
### 3. 研究開発成果について

#### 【極低温環境下での力学特性：液体窒素浸漬環境下での静的力学特性評価】

GFRP、CFRP (一方向0材) の室温、直交(0/90)<sub>s</sub>材の室温および液体窒素浸漬環境下での引張特性評価（直交材から逆算）することにより**液体窒素浸漬下での一方向のGFRPおよびCFRPの引張強度が0.9および2 GPa以上**であることを確認した

室温 GFRP<sub>直交</sub> : 0.48, CFRP<sub>直交</sub> : 1.53 GPa

→液体窒素浸漬 GFRP<sub>直交</sub> : 0.62 (↑27%), CFRP<sub>直交</sub> : 1.56 (↑2%) GPa

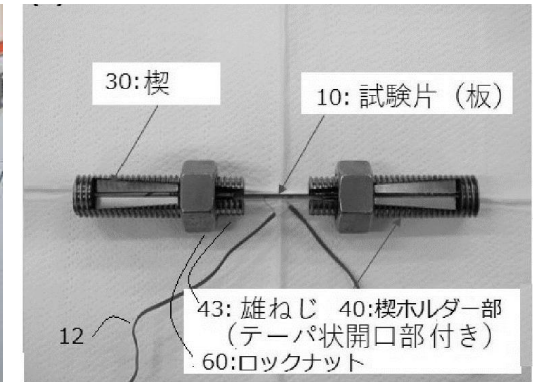
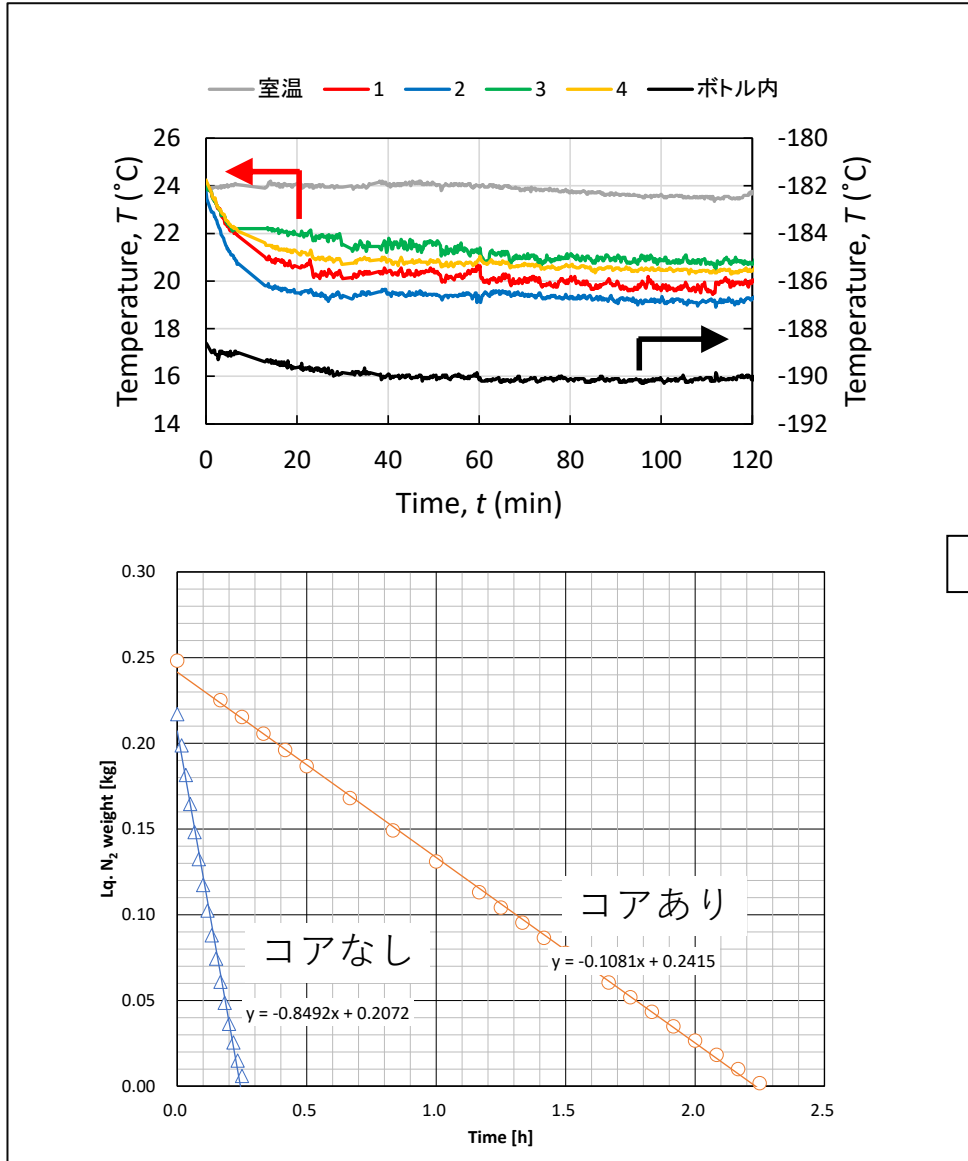


室温 GFRP<sub>一方向0</sub> : 1.00, CFRP<sub>一方向0</sub> : 2.99 GPa

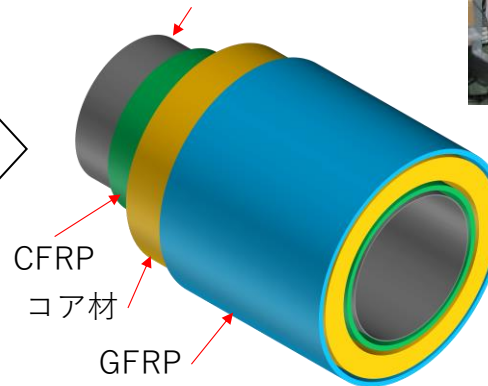
→液体窒素浸漬 GFRP<sub>一方向0</sub> : 1.29, CFRP<sub>一方向0</sub> : 3.05 GPa (算出値)

# 4. 今後の見通しについて

## < 実用化・事業化のイメージ >



アルミ箱 or SUS箱



CFRP/GFRPの極低温液体窒素浸漬環境下での力学特性データとして活用

コア断熱であれば**高質量貯蔵密度のタンクが実現**できるが、長期のボイルオフ性能を必要とする構造には**適さない**。本成果は真空断熱構造の**低断熱支持構造、真空断熱構造の補助機能**として適用

## 4. 今後の見通しについて

< 実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針 >

< 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み（計画や戦略等） >

長期使用である船舶や自動車では、ボイルオフ対策として高真空度の真空断熱は欠かせない。**真空断熱構造+コアの活用**～高質量貯蔵密度化（軽量化）と断熱性を高めた新たな構造提案

➤ 製造可能性検討未着手

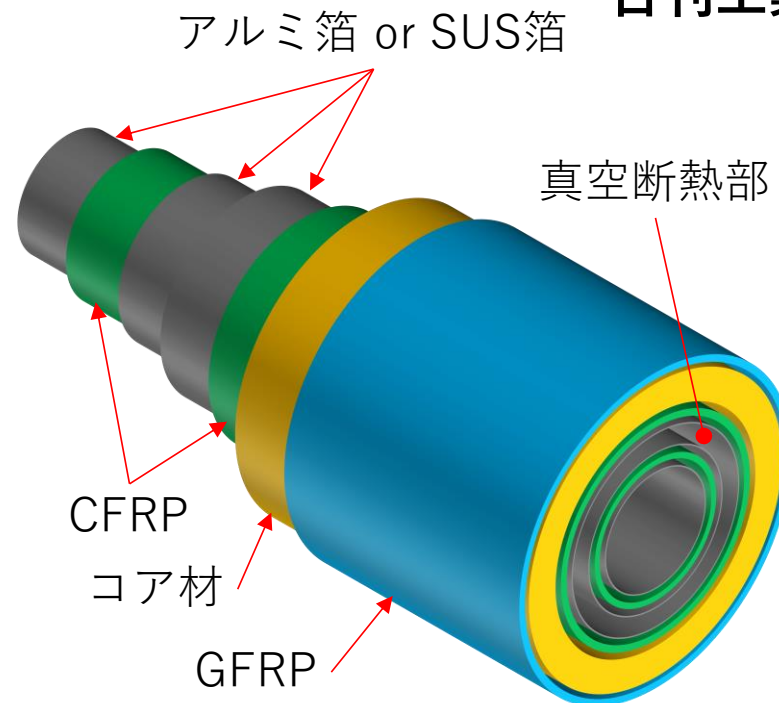
次期プロジェクトでモデル試作し確認したい

➤ 液体窒素浸漬下でのFRPの疲労力学特性評価

2024年度実施予定であり、評価の可能性は示せると考えている

**データ蓄積には時間が必要**

材料進化の最前線  
NIMS未来戦略（22）  
軽量液体水素タンク  
高分子系複合材で開発へ  
日刊工業新聞（2024.3記載）

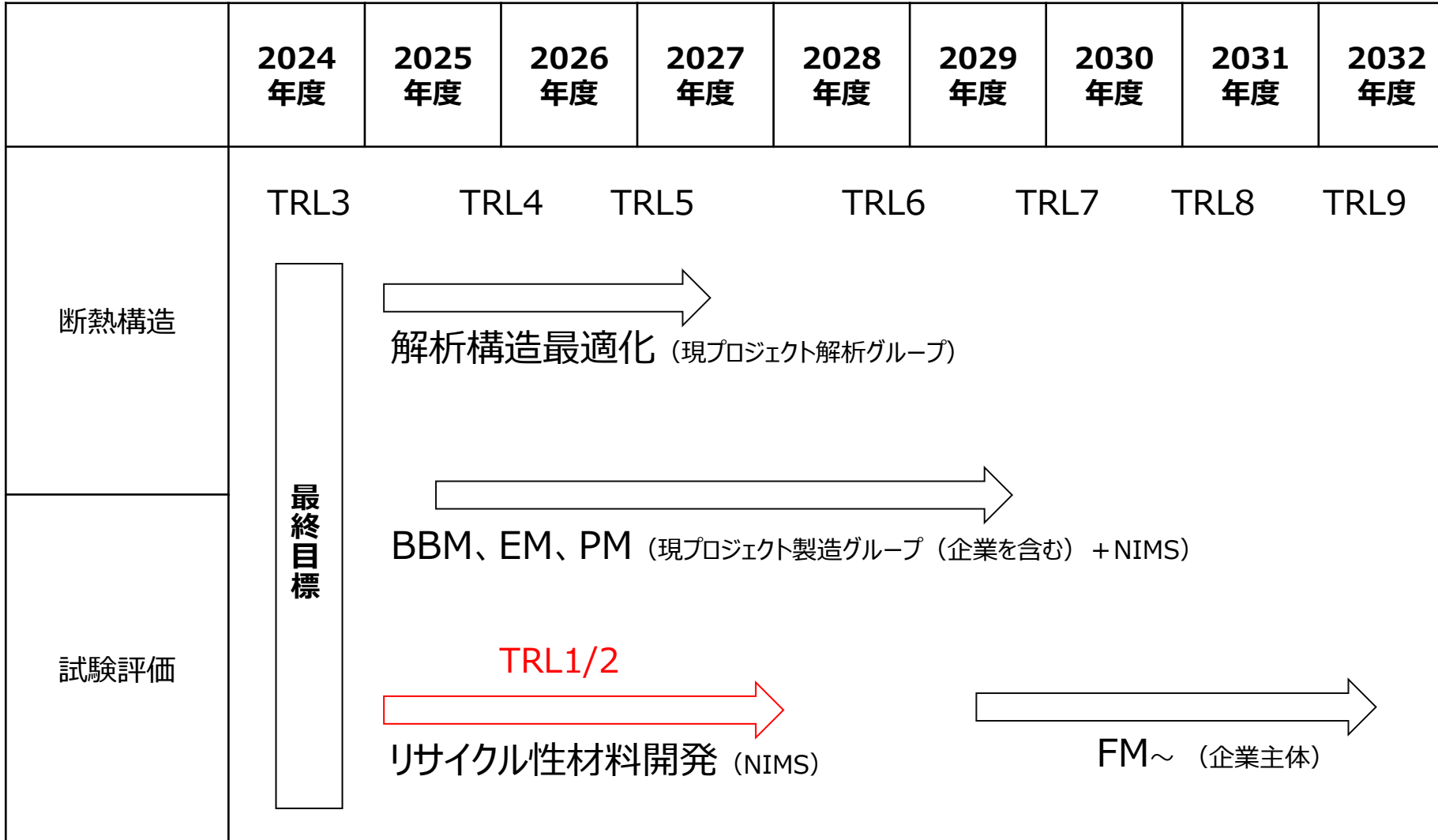


【開発コンセプト】  
真空断熱部に接触する部分には金属箔を用い、樹脂材料による真空度の低下を抑制し、金属真空容器と同程度にする。複合材料による軽量化とコア材による断熱性を付与する



## 4. 今後の見通しについて

### < 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み（計画や戦略等） >



➤ **液体水素浸漬下**でのFRPの力学特性評価への展開

機構導入の液体水素浸漬環境下での試験装置はまず金属での評価に使用予定であり、**複合材料まで進められるかが未定**

➤ **複合材料の再利用**やリサイクル技術

機構は材料に関する基礎研究機関であり次期プロジェクトで検討を進めたい

現時点：TRL1/2 事業終了時点：TRL3