

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.A2-15

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／

非FW／分割プリフォームおよび新規樹脂（REDOX硬化型樹脂）による高压水
素タンクの革新的ハイレート製造プロセスの開発

鵜澤潔（金沢工業大学）

金沢工業大学、ミズノテクニクス(株)、日本大学生産工学部、東京農工大学

2025/7/16

連絡先：

学校法人 金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター(E-mail: icc-info@mlist.kanazawa-it.ac.jp)

事業概要

1. 期間

開始 : 2021年6月
終了 : 2025年3月

2. 最終目標

高圧水素タンクに対する将来ニーズの実現にむけて、「5分／ラインの生産性、質量貯蔵密度 7 wt%以上の炭素繊維使用量削減と軽量化」の2点を満足するタンクの実現を目標として、「非FW／分割プリフォーム構造と新規REDOX硬化型樹脂による低圧RTM工程による革新的ハイレート製造プロセス」を開発する。

3. 成果・進捗概要

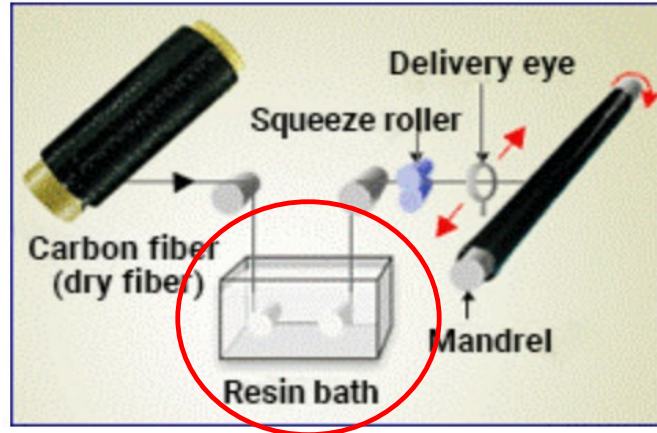
継ぎ手部の損傷進展モデルによる構造解析技術を開発し、種々の継手構造のクーポン評価、模擬タンク及び実証タンクの設計試作並びに破壊試験により、数値解析による実構造タンクの技術的成立性を確認し、予測精度10%以内を達成した。その結果、非FW／分割プリフォームによる最適な繊維配向により炭素繊維使用量を削減し、質量貯蔵密度7wt%以上の実現性も確認できた。

革新的REDOX硬化型樹脂と新たなテープ含浸装置の開発により、熱可塑性トウプリプレグの高速製造技術を確立した。試作したトウプリプレグによるドーム部／シリンダ部それぞれの分割プリフォーム製造法を開発し、REDOX硬化型樹脂による低圧RTMによる2段階含浸成形法にて実証タンクを製造し、製造レート5分／ラインを満足することを実証した。

1. 事業の位置付け・必要性

FW (Filament Winding) 製造プロセス

樹脂バスによるFW

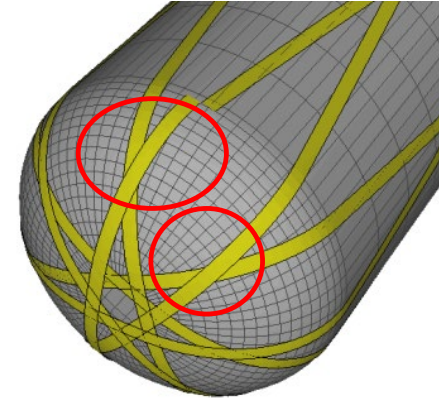


- ・樹脂バスによる含浸速度が低い

トウプリプレグによるFW

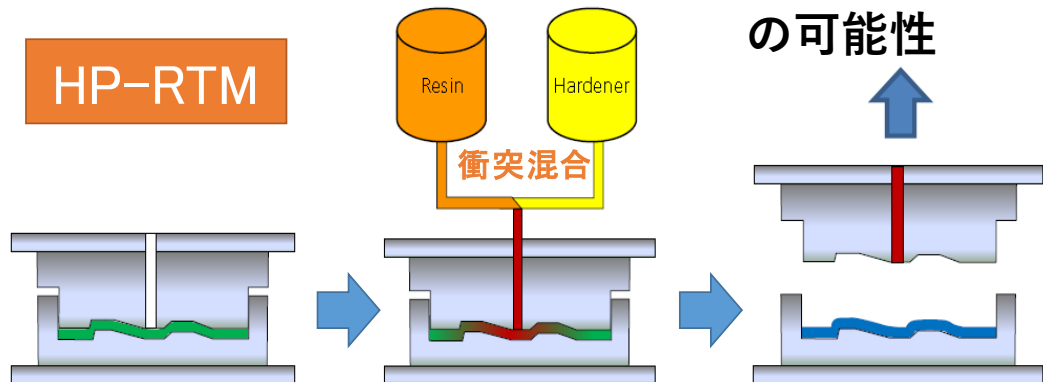


- ・FRP内部のGap
- ・非効率なヘリカル巻
- ・肩形状による制約



* ENEOS Corporation Web site

HP-RTM 手法



- ・高い製造速度の可能性

- ・プリフォーム生産性
- ・RTMの品質制御

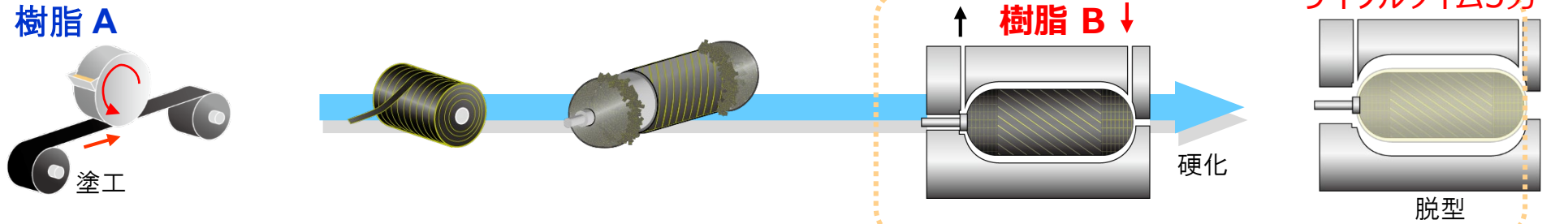


* BBG GmbH & Co. KG web site

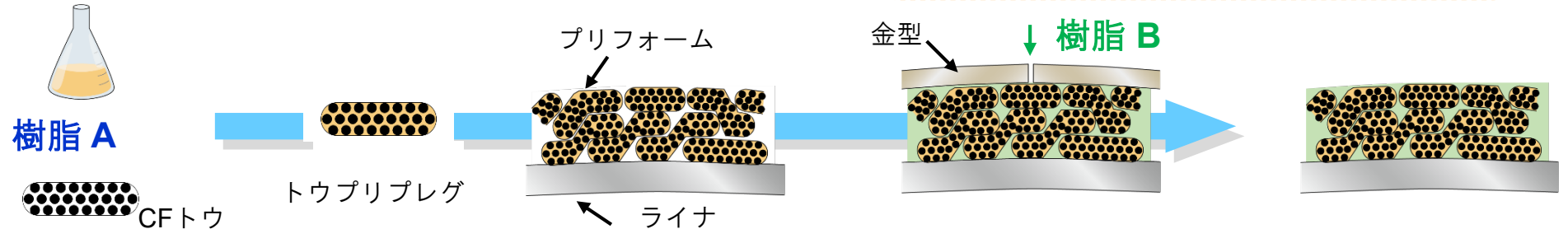
1. 事業の位置付け・必要性

□ 革新的な新規樹脂の開発

タンク製造
プロセス



樹脂と繊維



REDOX 硬化型樹脂

還元剤および有機過酸化物が接触した時、ラジカルが発生し重合が進む

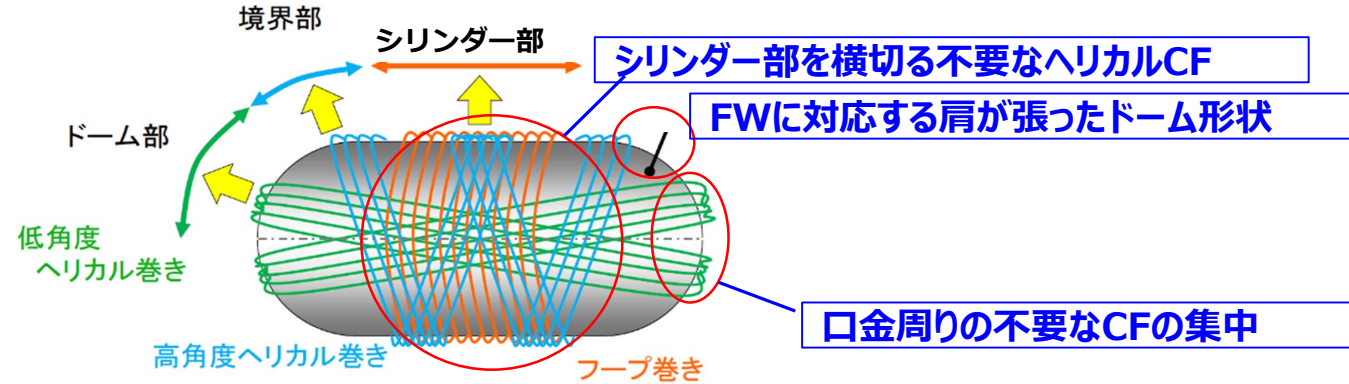
高速RTM手法の適用により超高速硬化型樹脂の使用が可能となる

1. 事業の位置付け・必要性

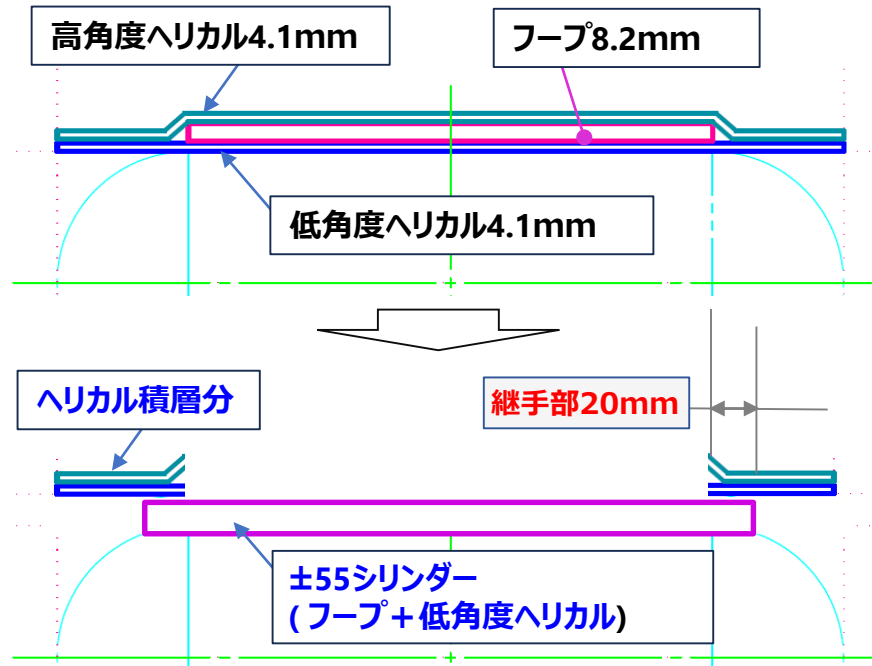
OCF使用量の削減

現行FWタンクの課題

FWによるヘリカル巻き的高速化が難



非FW/分割巻きつけによる解決



現行タンクの例(ライナー径約280mm)

CFRP板厚：
フープ(8.2mm)、
低角度ヘリカル(4.1mm)、高角度ヘリカル(4.1mm)

シリンダー部の不要なヘリカル層を省略
継手部のCF量増加

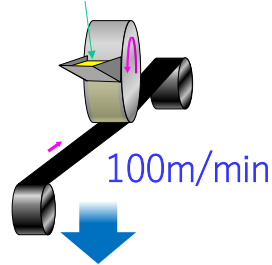
CF使用量削減量：
約20%(L1200~1450)

1. 事業の位置付け・必要性

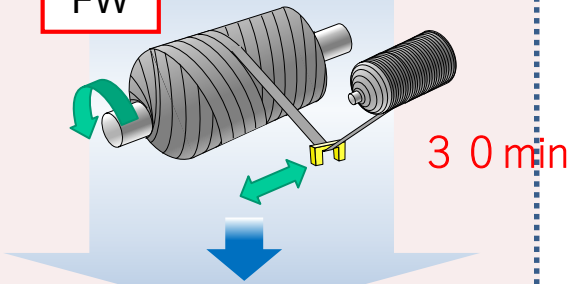
従来

FW Process

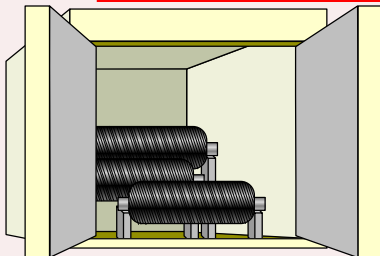
Resin



FW



Curing oven



Goal: 高生産性、低コスト
with 分割プリフォームと新規 RTM

high speed
impregnation

Resin A

Winding
lamination

UD tape preform

RTM by Resin B

5 minutes
(resin curing 3 minutes)

Co-bonding / Co-Curing with low-pressure RTM

サイクルタイム5分 & 炭素繊維量の削減

2. 研究開発マネジメントについて

○研究開発の目標

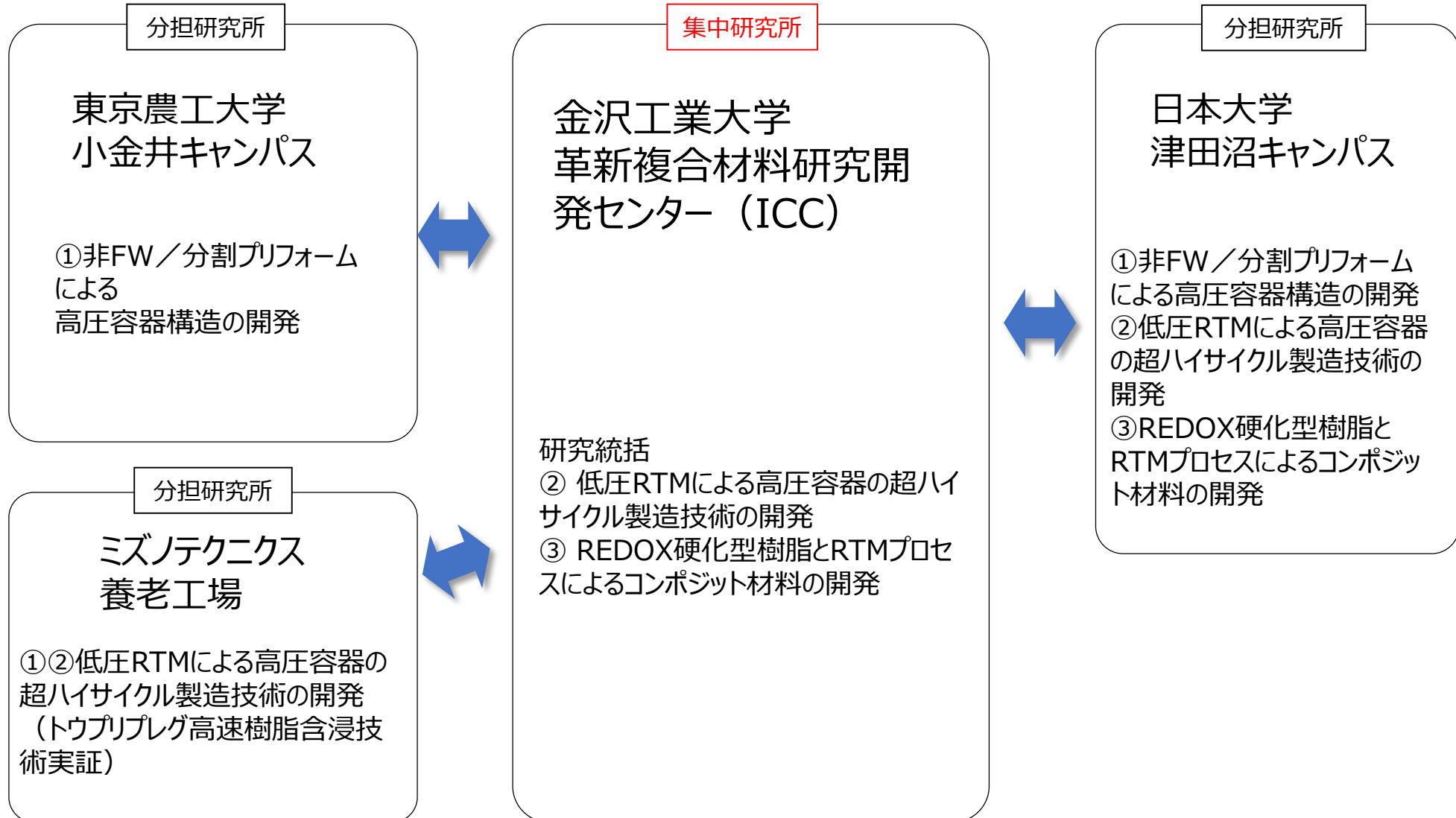
高圧水素タンクに対する将来ニーズの実現にむけて、「5分／ラインの生産性、質量貯蔵密度 7 wt%以上の炭素繊維使用量削減と軽量化」の2点を満足するタンクの実現を目標として、「非FW／分割プリフォーム構造と新規REDOX硬化型樹脂による低圧RTM工程による革新的ハイレート製造プロセス」を開発する。

○研究開発のスケジュール

研究項目	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度
非FW／分割プリフォーム組立構造の成立性確立 ➤ 解析手法の確立 ➤ 分割プリフォーム形態及び製造法の確立 ➤ 低圧RTM（2段階含浸）法の確立	既存材料を用いて実証タンクによる検証を実施。		開発されたREDOX硬化型樹脂を用いて、実証タンクによる検証。	
REDOX硬化型樹脂の開発 ➤ 革新的な新規樹脂の開発 ➤ トウプリプレグの高速製造技術方法の確立	新規REDOX硬化型樹脂の開発 トウプリプレグの高速製造法の検討		トウプリプレグの高速製造ライン検討	

2. 研究開発マネジメントについて

○研究開発の実施体制



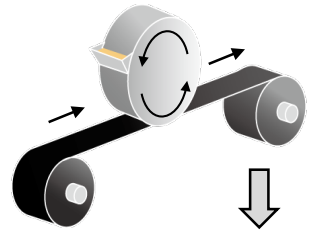
3. 研究開発成果について

産業界ニーズ：低コスト化、生産性向上 (分割構造への期待)	本プロジェクト			
	21年度	22年度	23年度	24年度
非FW／分割プリフォーム組立構造の成立性確立 ① 東京農工大学 ➢ 継手構造タンクの技術的成立性を確認 ➢ (母材CFRP比90%超の引張り強度発現) ➢ 模擬タンクによる構造解析手法の妥当性検証 (精度±10%を達成) ・最適な繊維配向により炭素繊維使用量を削減	最終 (解析精度) 中間期 (解析精度) 最終目標 5.4 4.8 6 1.2 2.4 以上 達成 02468 質量貯蔵密度 (wt%) 解析精度： 最終目標の±10%を達成。 炭素繊維削減： 4~6Kg / 約20%(現行タンク比) 質量貯蔵密度： 7wt%以上最終目標を達成			
② 金沢工業大学/日本大学 ➢ 分割プリフォーム形態及び製造法の確立 ➢ 低圧RTM (2段階含浸) 法の確立 ・工程を分割することで革新的ハイレート製造 サイクルを達成	25 20 15 10 5 0 15 8 樹脂改良 金型・ハイスサイクル化 プロセスパラメータ最適化 23年度実績 24年度見込 最終目標 5 3 5 時間 (分) ■ 低圧RTM樹脂含浸時間 ■ 樹脂硬化時間 プロセスパラメータの最適化で 5分/サイクルを達成。 プリフォーム化/プリフォーム組立は 自動化技術を将来プロジェクトで			
③ 金沢工業大学/ミズノテクニクス REDOX硬化型樹脂の開発 ➢ 革新的な新規樹脂の開発 ➢ トウプリプレグの高速製造技術方法を確立 ・新規開発樹脂により高速含浸/速硬化を実現 ・熱可塑性トウテープの高速製造技術を確認	新規開発樹脂は、現行のエポキシ樹脂と性能は同等以上。 最終目標 23年度実績 プロジェクト目標達成 改善・改良 01020 トウプリプレグ製造スピード (m/分) 量産装置(100m/分)を達成 する製造装置の設計指針を検証 した。			

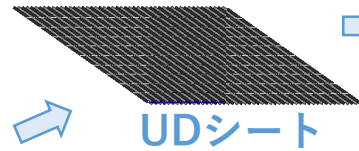
3. 研究開発成果について

○ 革新的製造プロセスの概要

熱可塑トウプリプレグの高速生産

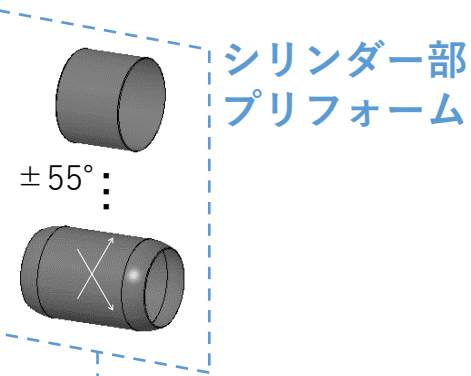
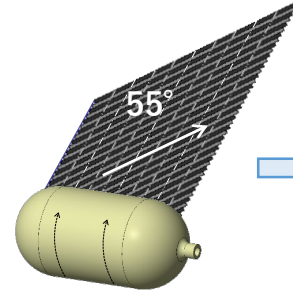


熱可塑
トウプリプレグ



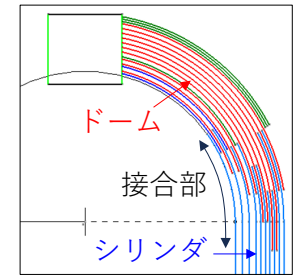
UDシート

シートワインディング



シリンダー部
プリフォーム

$\pm 55^\circ$



ドーム/シリンダ
の継手構造



チョップドテー
プ材

加熱賦形

ドーム部プリフォーム

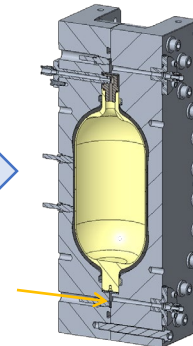


ライナ

プリフォームの組立



分割プリフォーム

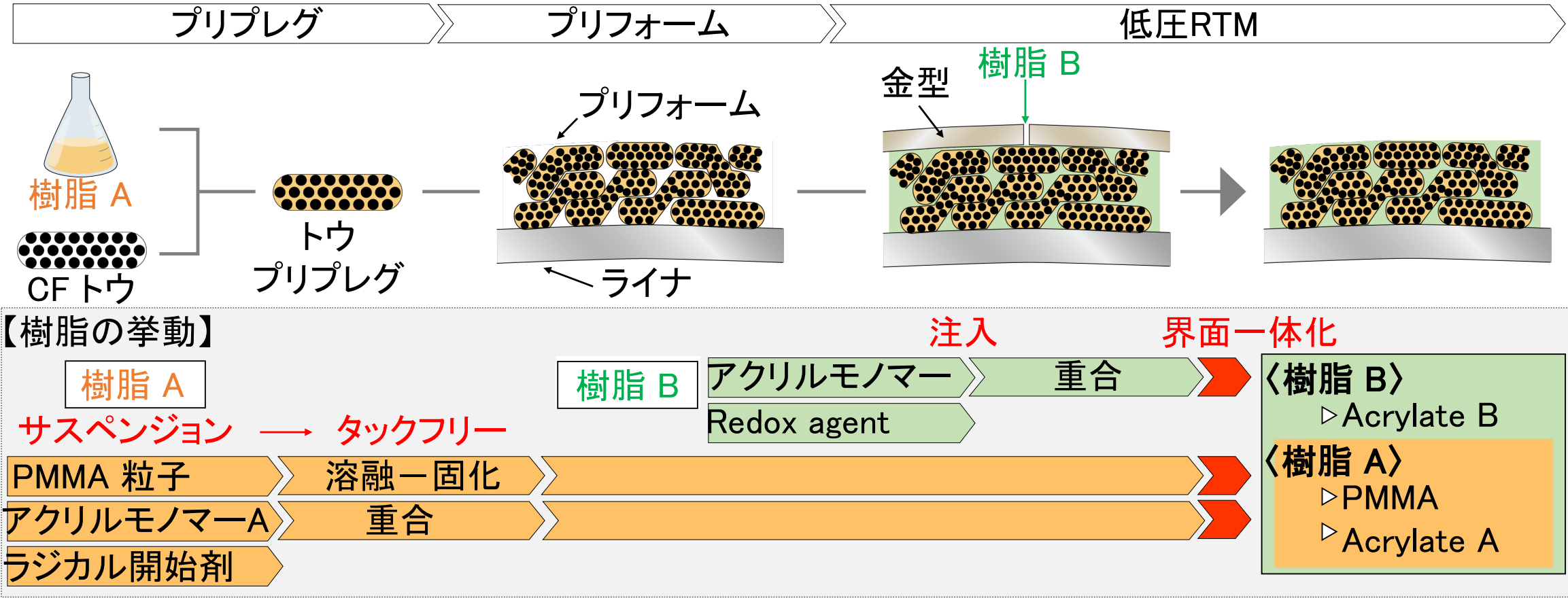


高速LP-RTMによる
樹脂注入＋一体化

3. 研究開発成果について

○ REDOX樹脂システムの開発

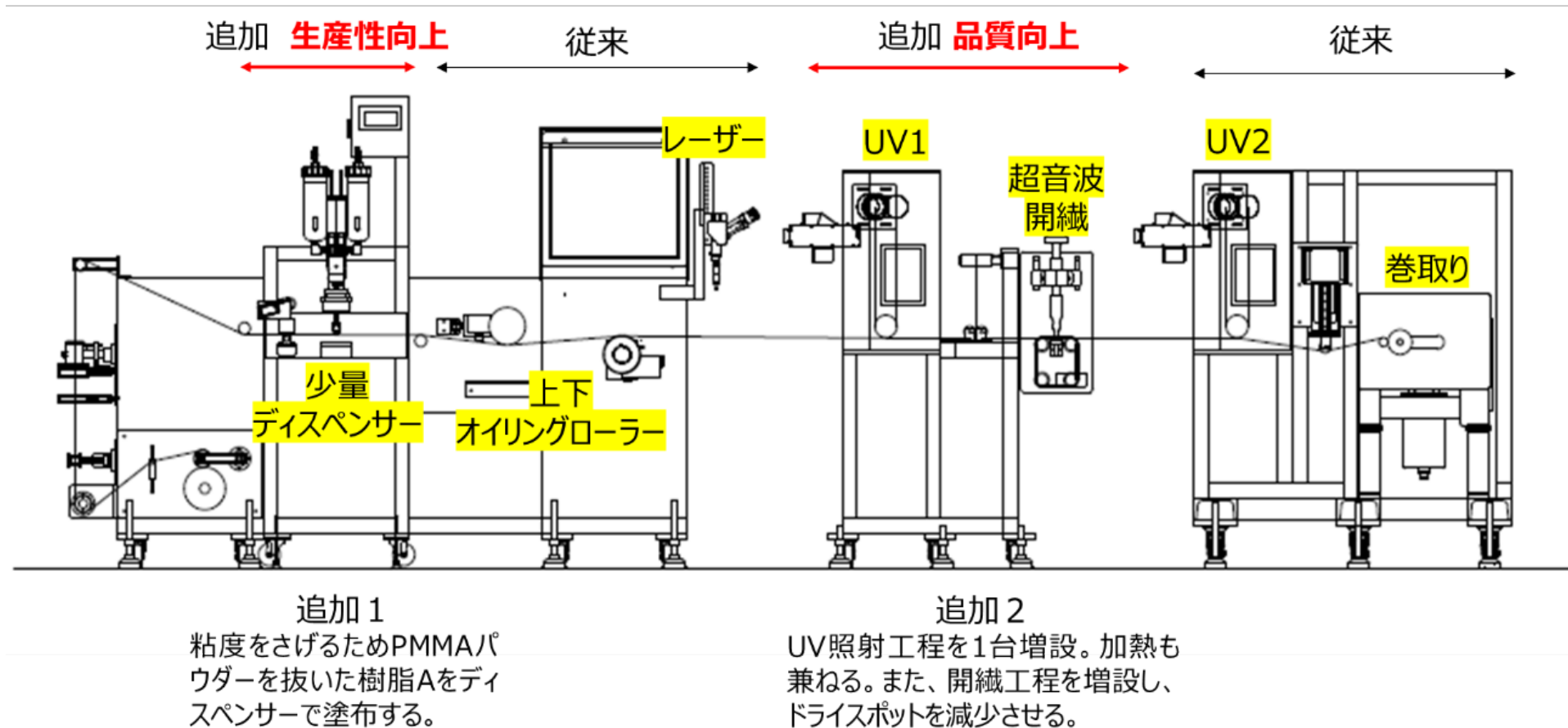
革新的REDOX硬化型樹脂と新たなテープ含浸装置の開発により、熱可塑性トウプリプレグの高速製造技術と超低粘度即硬化樹脂を開発した



3. 研究開発成果について

○ トウプリプレグの高速製造技術の開発

樹脂Aを用いたトウプリプレグを生産速度20m/分で連続生産できる装置の開発改良を行った。



3. 研究開発成果について

○シリンダ部プリフォームの開発

シリンダ部のハイサイクル製造を目的とし、樹脂Aトウプリプレグを用いて絡み織シート材の開発を行った。



ヨコ糸の挿入



ヨコ糸の固定

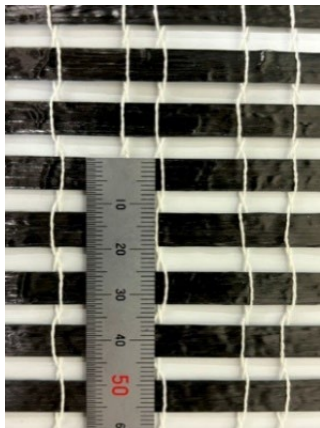


ヨコ糸の打ち込み

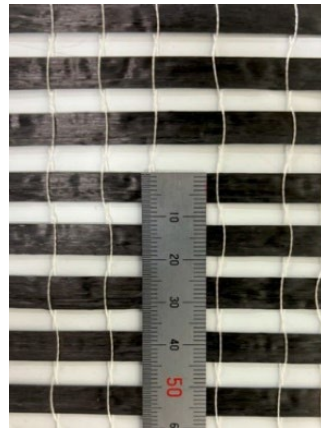


完了時の巻姿

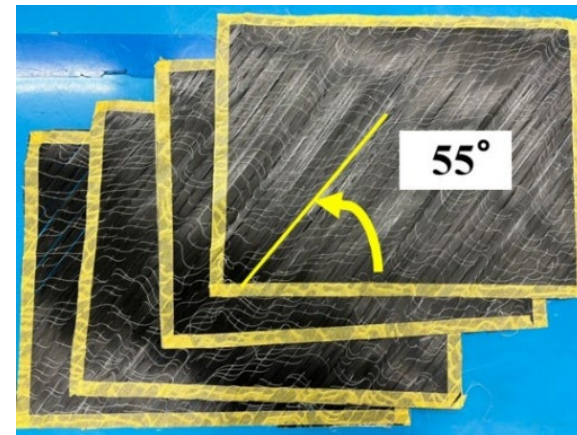
アクリル糸



フェノキシ糸



絡み織シート材のタテ糸

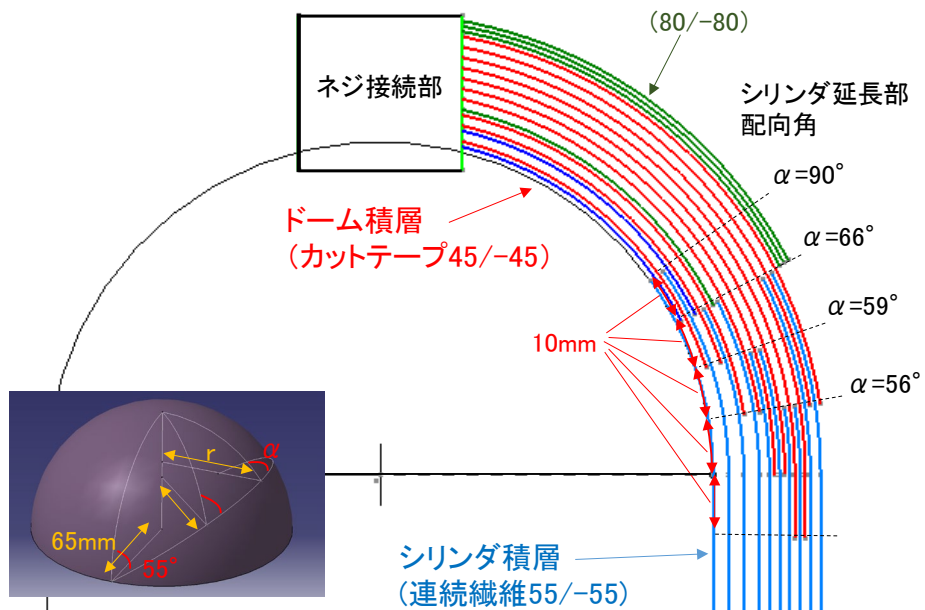


絡み織シート

3. 研究開発成果について

○ 分割プリフォームの構成仕様の検討と製造プロセス

ドーム部とシリンダ部と多段ラップ継手で接合した積層構造を検討して、その構造に基づいた実証タンク向けのプリフォームを作製することが出来た。



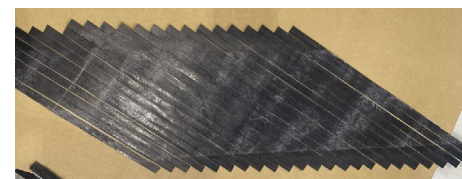
ドーム/シリンダの積層構成と継手の構造



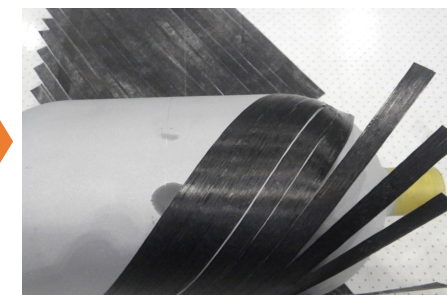
カットテープ積層



ドーム部プリフォーム



トウプリプレグの
配列シート



ライナーへの巻き付け

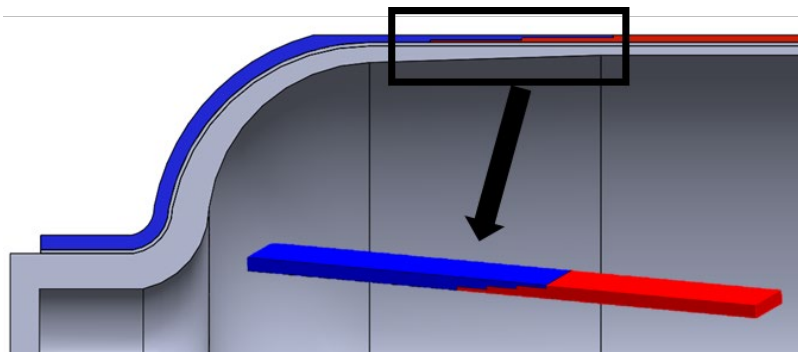


実証タンク
プリフォーム

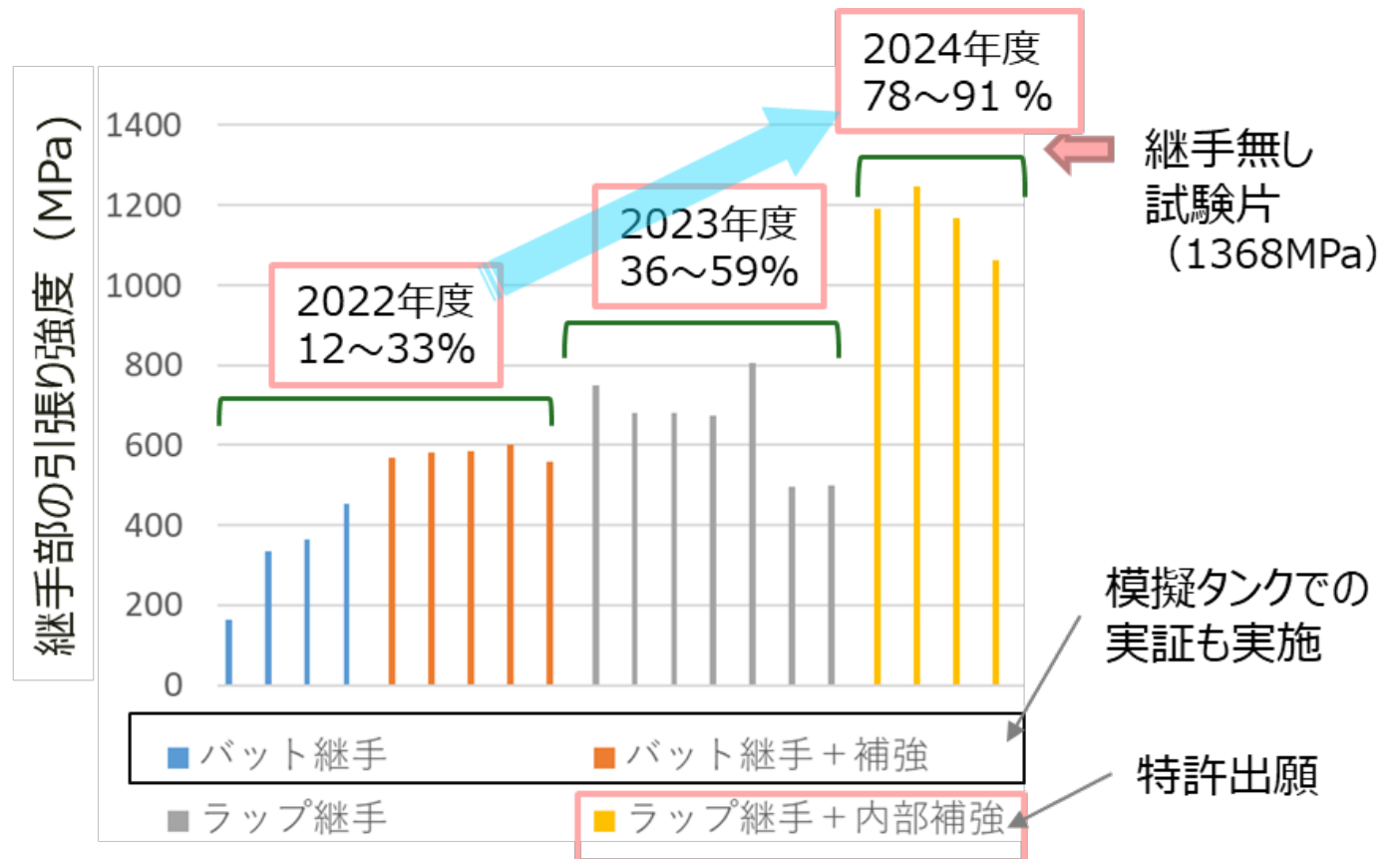
3. 研究開発成果について

○ 継手構造の成立性の検証

継ぎ手部の損傷進展モデルによる構造解析技術を開発し、種々の継手構造のクーポン評価、模擬タンク及び実証タンクの設計試作並びに破壊試験により、数値解析による実構造タンクの技術的成立性を確認し、予測精度10%以内を達成した。



継手試験片による接合部の評価

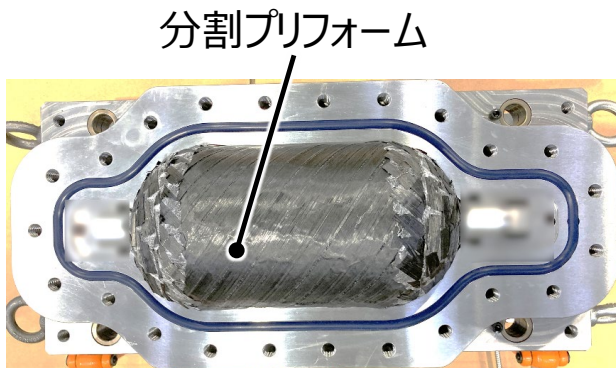
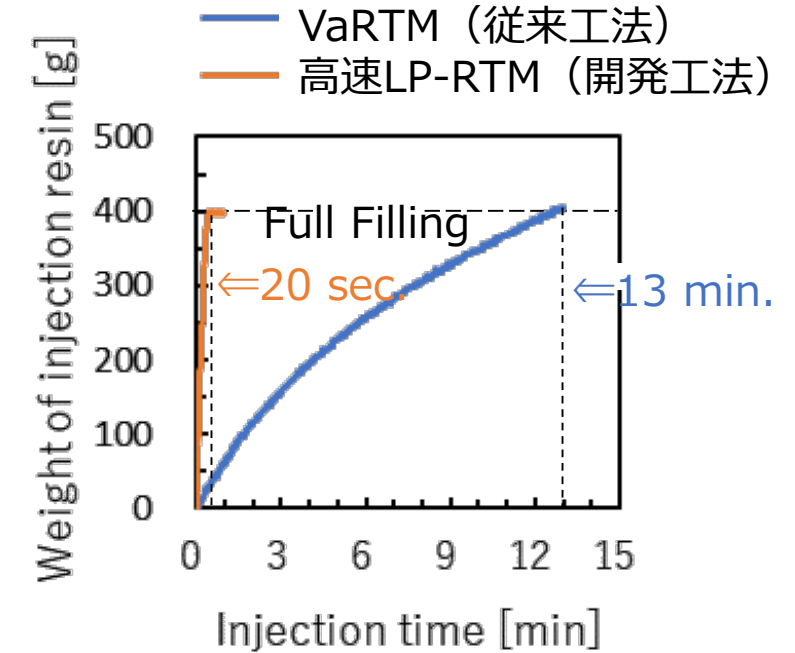
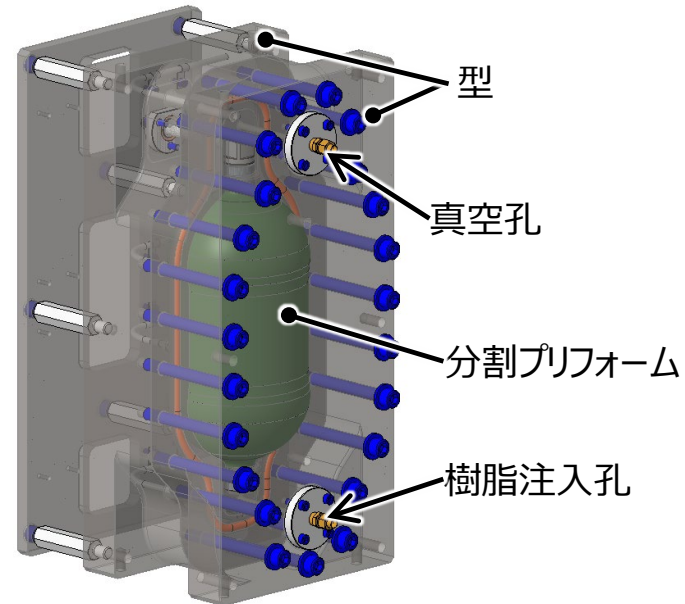


3. 研究開発成果について

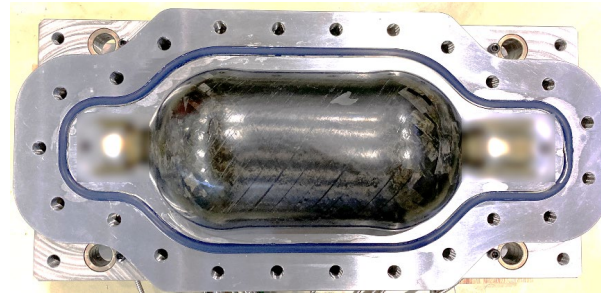
○ 高速LP-RTMプロセス

従来工法（VaRTM）と比較して、超高速注入プロセスを実証した。

成形厚：0.4MPa
注入速度：1.2 kg/分



成形前



成形後

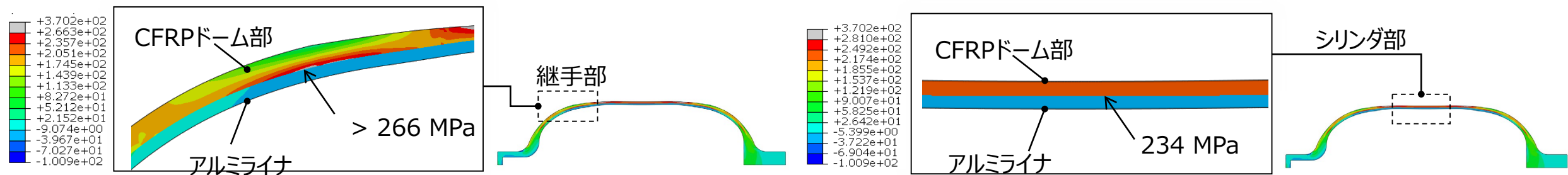


成形タンク

3. 研究開発成果について

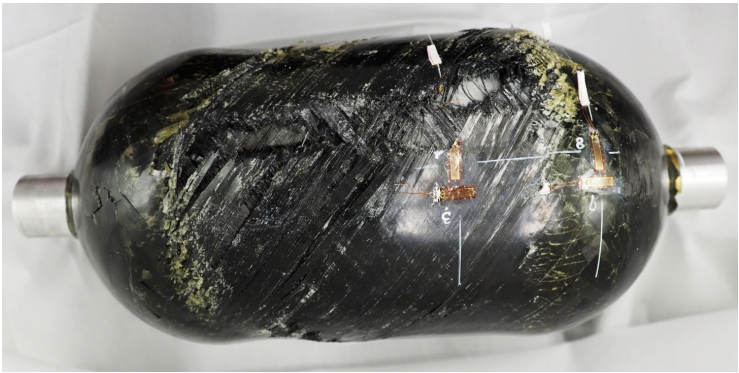
○ 設計と検証

継手部を有する分割プリフォームによるタンクは、継手部の構造を考慮した設計を適用することで、継手部破壊を生じない設計が可能であることを実証した。



内圧25 MPa 時のFEM解析結果

	破壊部位	破壊圧力 [MPa]
設計値 (FEM)	継手	25
	シリンダ	30
試験 1	シリンダ	25.7
試験 2	シリンダ	22.8



水圧破壊試験後

3. 研究開発成果について

- 特許や論文、学会発表、広報等の取り組み

○学会発表

複合材料シンポジウム、JCCM、等 25件

○論文発表 2件

・勝間田 紗英,小笠原 俊夫, 内野孝久, 平山 紀夫, 鵜沢 潔, 坂井 憲泰

“Experimental and analytical study of a high-pressure hydrogen storage tank made of CFRP with dome-cylinder split molding structure for fuel cell vehicles” International Journal of Hydrogen Energy 269-279

・山下 博, 稲垣 昌輝, 西田 裕文, 斎藤 毅

“高圧容器製造のためのREDOX 反応を用いたトウプリプレグの開発”

日本複合材料学会誌 50. 5(2024), 156-162

○特許出願 3件

4. 今後の見通しについて

○ 実用化に向けての課題

- ・ 新規ラップ継手構造の強度解析技術の確立にむけて、高品質な試作&供試体による検証が必要。
- ・ コンセプト実証後の量産品質が見通せる試作実証のために、自動化/量産化の検証も可能な成形装置の試作や実証が必要である。
- ・ 新規REDOX硬化型樹脂のコスト：樹脂材のコスト低減にむけて、汎用原料への転換が必要。

○ 今後について

- ・ 大型タンクに対するハイレートプロセスの実証（TRL5）と、製造技術開発（MRL4）に取り組む。
- ・ 大型タンクに対する接合部分の設計信頼性設計手法を開発する。