

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.A2-16

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
／C F R P 製水素タンクのマルチスケール設計・評価解析技術の研究開発

発表者：松田哲也（筑波大学）

国立大学法人東京大学
学校法人日本大学 日本大学理工学部理工学研究所
国立大学法人筑波大学
（共同実施）八千代工業株式会社
2025年7月16日（水）

連絡先
松田哲也（筑波大学）
E-mail: matsuda@kz.tsukuba.ac.jp

事業概要

1. 期間

開始 : 令和2年8月
終了 : 令和7年3月

2. 最終目標

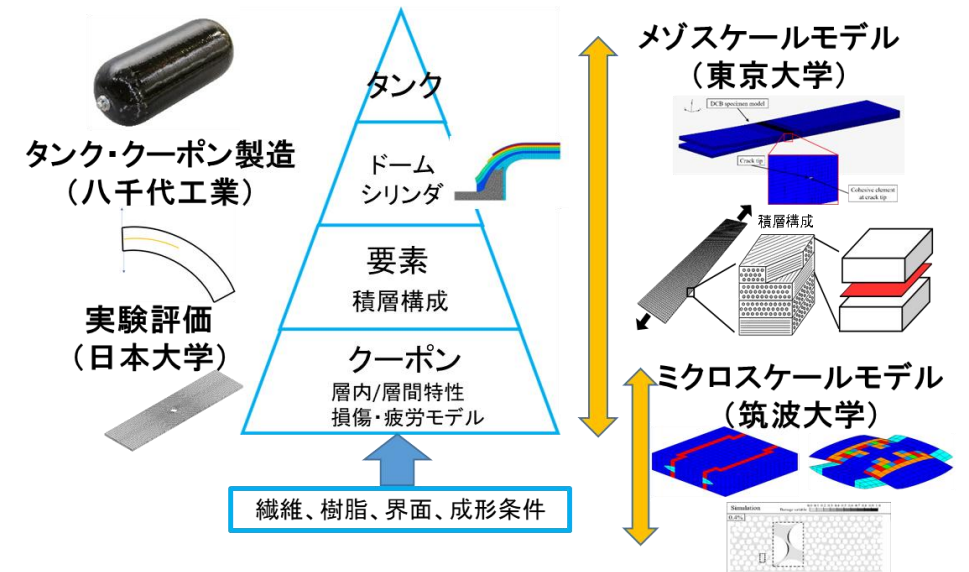
CFRP水素タンクの疲労時の剛性低下を**10%以内**の精度で予測する

注) 現状では疲労寿命のオーダー予測をすることが精一杯であり、寿命予測による安全性担保が実現されていない。高精度な剛性低下予測が可能になればCFRPタンクの軽量化や低コスト化(燃料電池車の航続距離増大やシステムコストの低減)、環境性能向上(交換・廃棄回数の低減)に大きく資する。

3. 成果・進捗概要

* CFRPの材料構成や複雑な破壊モードを考慮可能なマルチスケール解析を援用した解析手法をCFRP水素タンクに適用

* クーポンレベルから要素レベル、実タンクまでの設計・製造・シミュレーションがシームレスにつながる設計解析スキームを構築した



1. 事業の位置付け・必要性

【産業界のニーズ】

- ・水素タンクの耐久性について、**実使用を踏まえた残存強度・寿命の予測が困難**なことから、安全性の担保のため、わずかな損傷であっても交換・廃却を必要とする。このための**コストのみならず、環境的にも改善が求められる**。
- ・安全性の担保や残存強度・寿命予測には、**材料特性・製造条件を反映した解析・設計手法**が必要であり、マルチスケール解析が必須であるが、同時にそれぞれの**実験評価手法の構築と標準化を裏付けるエビデンス**が必要となる。
- ・今後、**世界的な競争に打ち勝つための技術基盤**が必要。（海外との競争）

【本事業の意義】

- ・材料特性・製造条件を考慮した複合材の損傷累積を予測するための設計解析手法（実験・評価手法とのセット）を構築することにより、**水素タンクの安全性の担保や残存強度・寿命を予測できる技術基盤**を確立する。
- ・本提案は**FW製CFRPタンクの設計に必要な実験評価・解析技術**をセットとしたマルチスケール型の設計解析手法を実現する（FW特有のバラツキの考慮や複雑なシミュレーションに使用するためのFW製の材料特性をどう取得するか）ことで、水素タンクの強靱化・低コスト化に資する。



2. 研究開発マネジメントについて

○研究開発の最終目標

CFRP水素タンクの疲労寿命を50%以内の精度で予測する。

○研究開発のスケジュール

2021年度まで：クーポンレベルでモデリング構築（達成済）

2022年度末：クーポンレベルの疲労モデリング構築（達成済）

2023年度末：要素レベルのモデリング構築（達成済）

2024年度末：タンクのモデリング構築（達成済）

○研究開発の実施体制

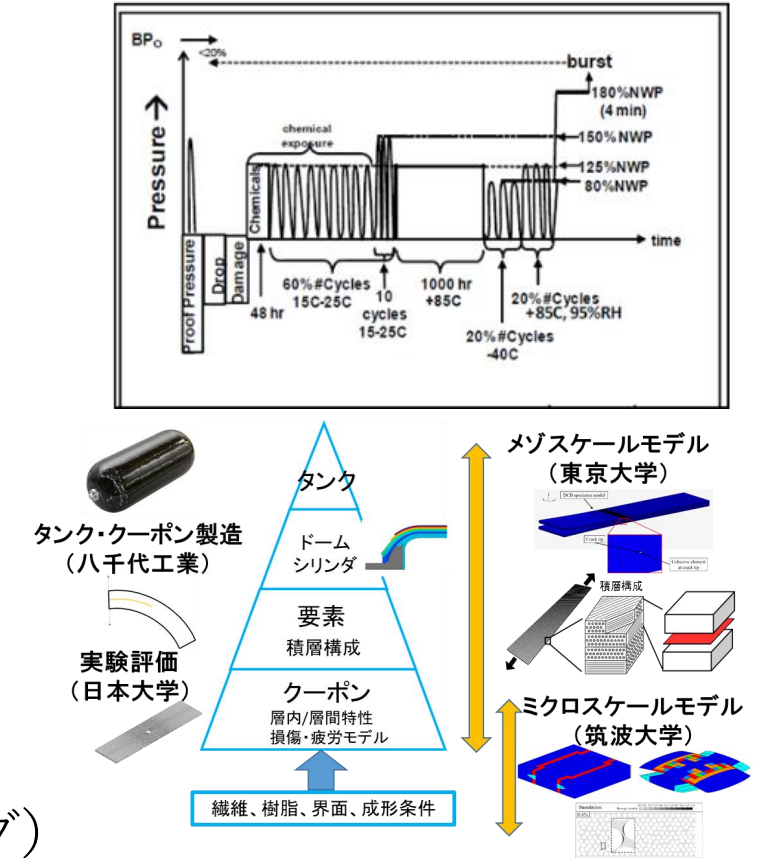
東京大学：メゾスケールモデリング（タンクの疲労損傷モデリング）

筑波大学：ミクロスケールモデリング（初期不整などミクロ構造を反映したモデリング）

日本大学：初期不整評価試験、力学的特性評価

八千代工業：試験片・タンク製造

（運営委員会メンバーとしてLOI企業（自動車OEM）も加えた体制）



3. 研究開発成果について

○目標達成に向けたアプローチ

CFRPの損傷に起因する剛性低下（初期剛性からの損傷に伴う低下分）をモデル化。疲労負荷における**CFRP**の複雑な損傷進展・累積に伴う剛性低下に起因する応力再配分を考慮して、**疲労寿命及び残留強度予測**を実現する。

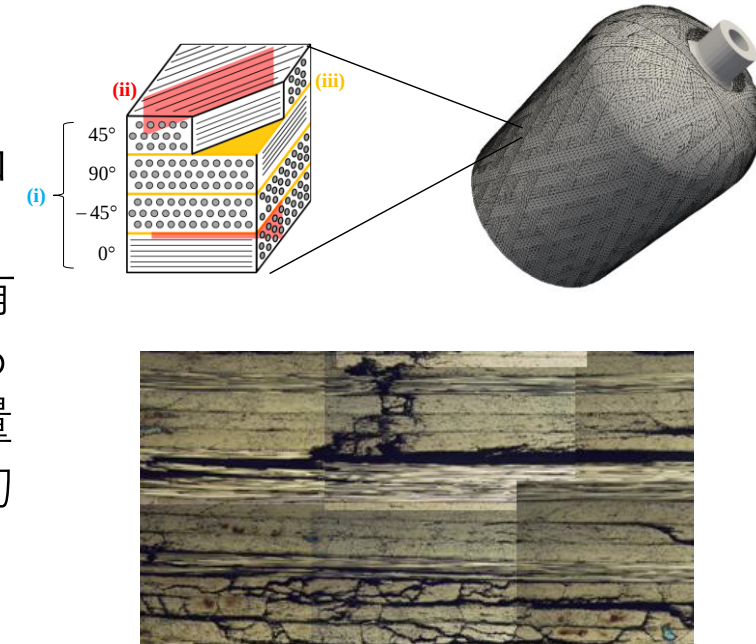
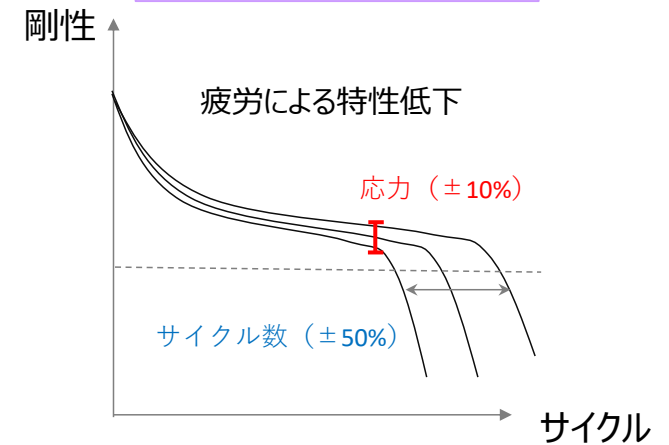
（注）従来はタンクの応力解析（損傷を考慮しないモデル）と材料の**S-N線図**（応力とサイクル数（寿命）の関係を示した線図）データから疲労寿命を予測するのみ。オーダー予測が精一杯。

○研究開発成果の意義

- ・FW製CFRPタンクの設計に必要な**実験評価・解析技術をセットとしたマルチスケール型の設計解析手法**を実現する水素タンクの強靱化・低コスト化に資する。

- ・単にタンク構造や繊維にかかる応力を計算するのではなく、**CFRP特有の損傷モードとその進展・累積過程**を考慮したシミュレーションによる設計解析手法を構築することで、破壊現象や設計の論拠を与える。軽量化、寿命、適切な製造条件など、設計・製造の意思決定を支える定量的データを与えるツールとなる。

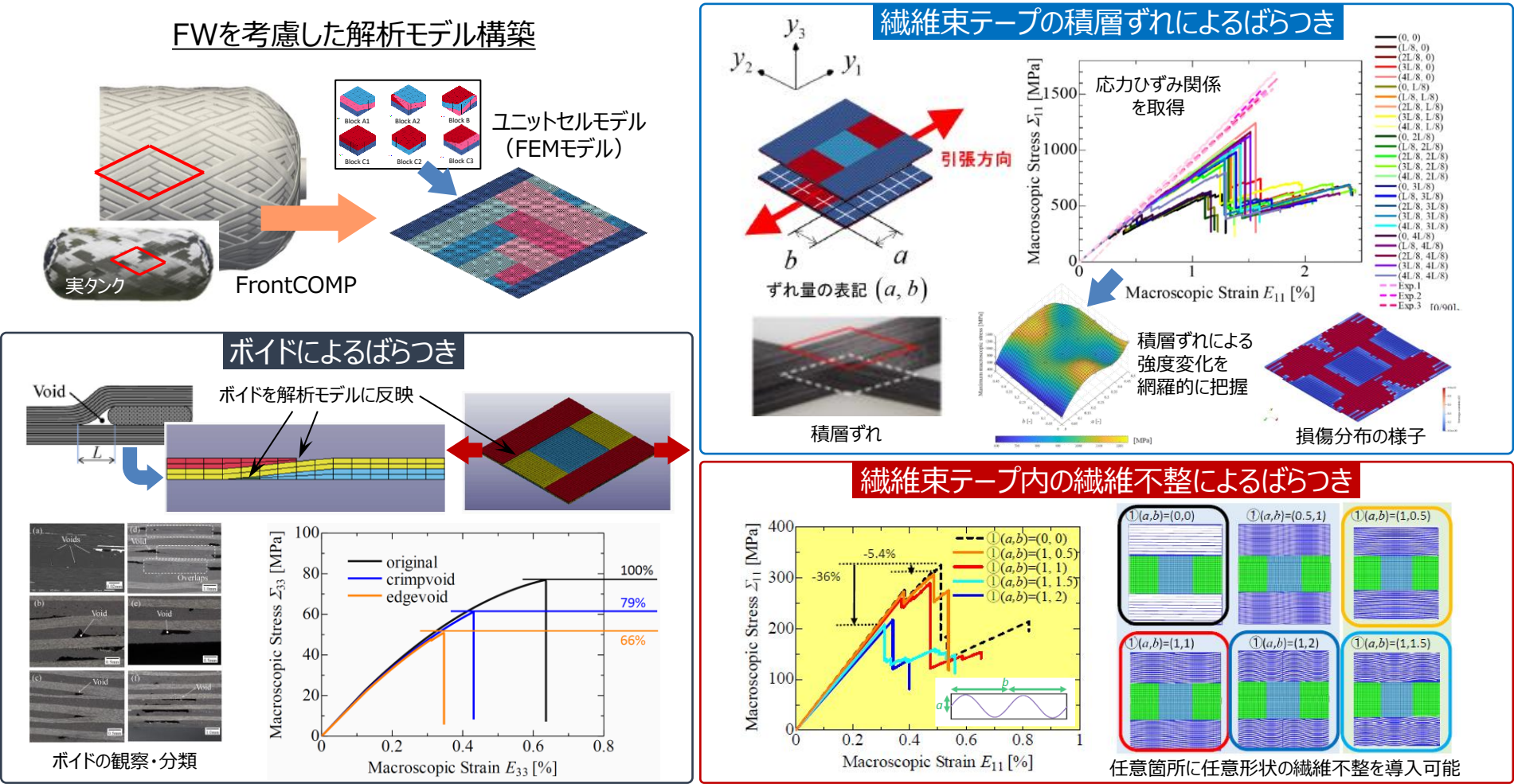
高精度予測のイメージ



3. 研究開発成果について

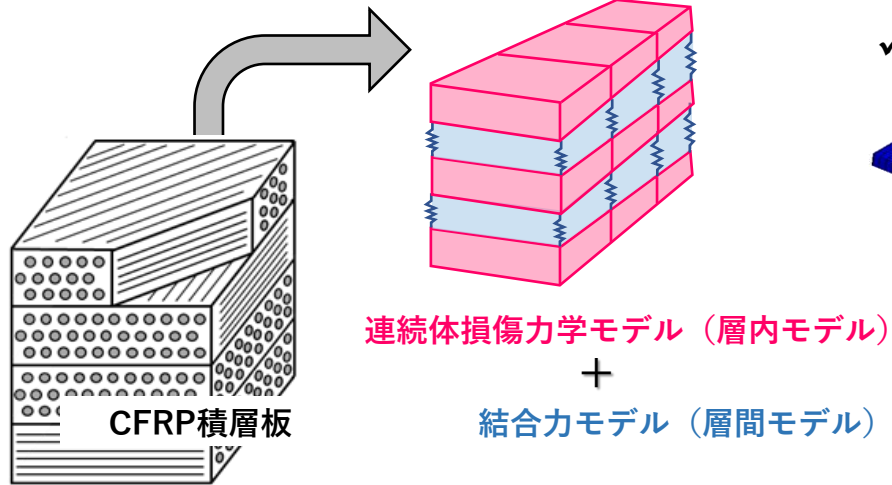
ミクロ・メゾスケール解析技術の開発

- FWを考慮した解析モデル構築手法ならびにマルチスケール強度解析手法を確立
- 積層ずれ、繊維不整、ボイド等の初期不整に起因する特性のばらつきを予測・把握することに成功

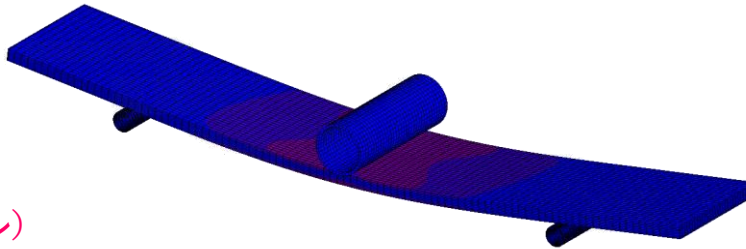


3. 研究開発成果について

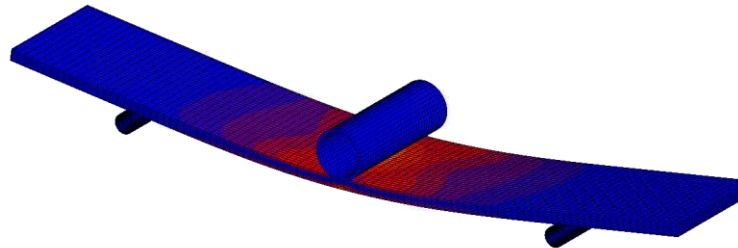
疲労損傷シミュレーション



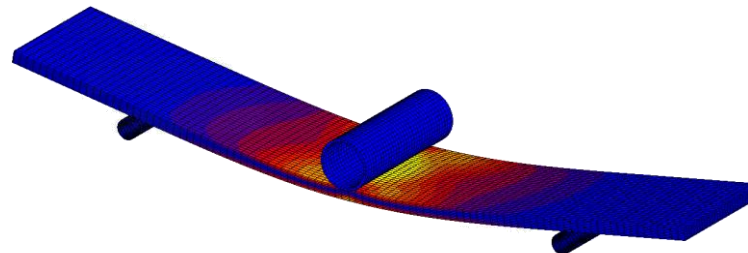
✓ サイクル数 $N = 1$



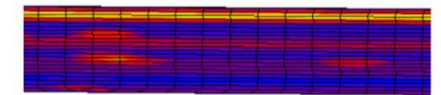
✓ サイクル数 $N = 10,000$



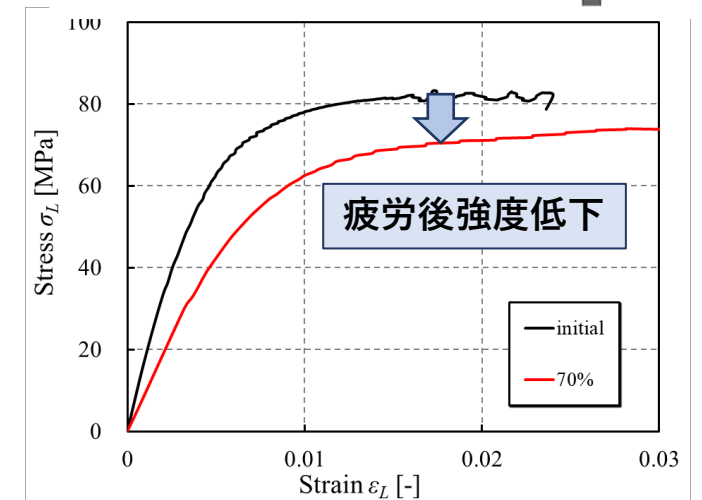
✓ サイクル数 $N = 30,000$



タンクの疲労シミュレーション



✓ $N = 10,000$ cycle



4. 今後の見通しについて

【実用化・事業化のイメージ】

○事業化イメージ

- ・ 2030年以降の自立的普及拡大に資する高効率、高耐久、低コストの燃料電池システムを実現するための水素貯蔵タンクに関する基盤技術の開発
- ・ 樹脂ライナーによるフィラメントワインディング（FW）成形CFRPタンク（Type IV）の標準設計手法の構築

○事業化想定時期：2030年頃

- ・ 2025年度・・・ツール化完了
- ・ 2026～2028年度・・・自動車会社等との共同研究フェーズ、ラウンドロビン検証
- ・ 2029年度・・・最終検証

○事業化想定機関

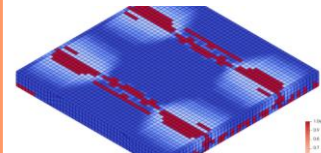
- ・ タンクメーカー、自動車メーカーへの技術移管（設計法・試験法の標準化）



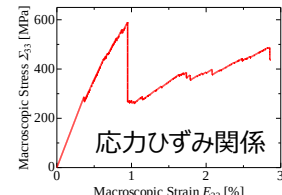
FWパターン
から同定



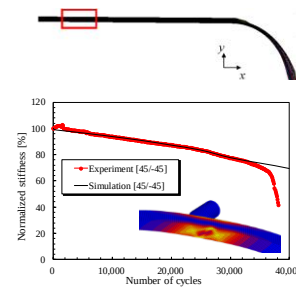
メゾスケールメッシュ



ミクロ・メゾスケールメッシュ生成ソフト



ミクロ・メゾスケールシミュレータ



疲労損傷・残留強度シミュレータ

ミクロ・メゾスケールメッシュ生成ソフト

非公開版

- ・ 線維束テープ幅・テープ厚・ワインディング角度などを指定し、メッシュを出力

ミクロ・メゾスケールシミュレータ

公開版（機能を限定してFrontISTRにて公開）

非公開版

- ・ 2スケール・弾性解析機能 + サンプル例題
- ・ 3スケール・弾粘塑性・損傷解析機能
- ・ 東大シミュレータ連携用の応力ひずみ関係データ出力

疲労損傷・残留強度シミュレータ

非公開版

- ・ 実験データからの入力
- ・ 静的強度・残留強度予測
- ・ 疲労剛性低下・疲労寿命予測