

NEDO水素・燃料電池成果報告会2024

発表No.A1-11

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／低コストと高性能を両立した炭素繊維の研究開発

発表者名 入澤寿平

団体名（委託先）東海国立大学機構，九州大学

（再委託先）京都工芸繊維大学，

東京工業大学，産業技術総合研究所

発表日 2024年7月18日

連絡先：入澤寿平
東海国立大学機構 岐阜大学
Irisawa.toshihira.g3@f.gifu-u.ac.jp
058-293-2530

事業概要

1. 期間

開始 : (西暦) 2020年10月

終了 (予定) : (西暦) 2025年3月

2. 最終目標

炭素繊維の低コスト化 (すなわち, **水素貯蔵タンクの低コスト化**) による FCVの普及への貢献を目的とし、本研究炭素繊維開発の最終目標**10\$/kg**の製造コストで実用化する**2030年に引張弾性率 290 GPa と強度 5.8 GPa**を実現 (PJ 期間は, **それぞれ240 GPa と強度4.8 GPa**を目標とする. 加えて, XPS でのO/C値、フラグメンテーション試験での界面剪断強度**IFSS** 対エポキシ樹脂もしくはポリアミド6) で**市販品と同等**以上を達成する。

3. 成果・進捗概要

東海国立大学機構と九州大学が両輪で別々の観点から新規前駆体の開発を進め、さらに補完的要素技術開発として京都工芸繊維大学、東京工業大学、産業技術総合研究所によって原料に関する調整技術、製造条件の最適化に有益な情報を取得するための解析技術開発も進めてきた。

2023年 3月までに設定した中間目標物性値 (引張弾性率 230GPa と強度 3.5GPa および O/C 値と IFSS について市販品の9割: 実際は最終目標も達成) を達成。

2025年3月目標: 引張弾性率240 GPa と強度4.8 GPaを目指す。

現状, 引張弾性率270 GPa と強度 3.5 GPa および O/C 値で市販品同等を達成!!

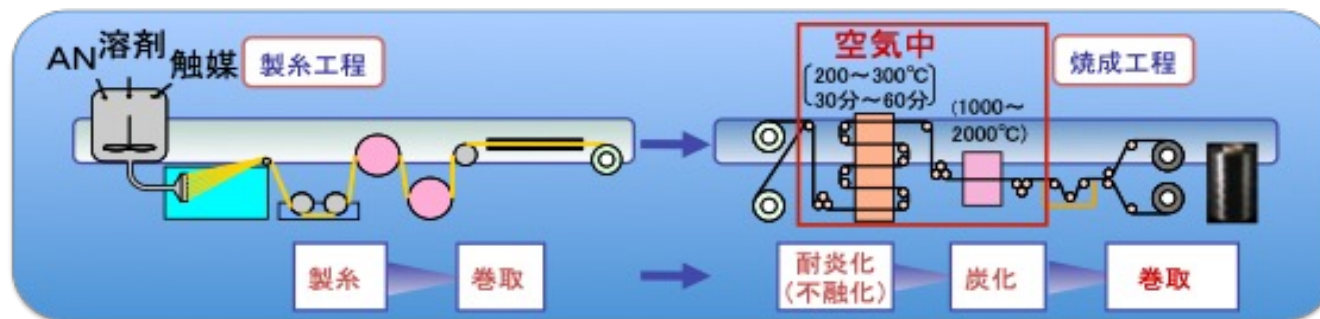
1. 事業の位置付け・必要性

- 本事業を実施する背景や目的

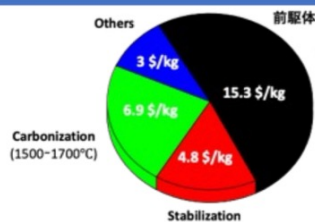


水素タンク 3 台搭載

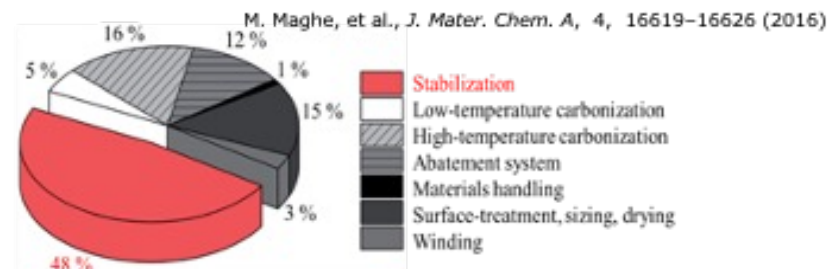
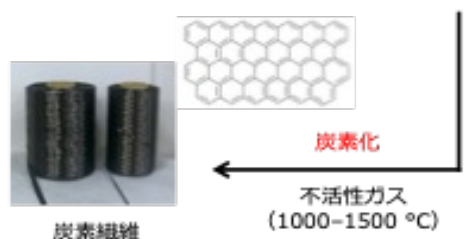
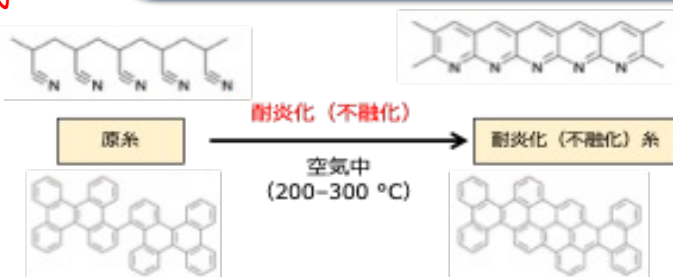
従来法（進藤方式）



PAN系炭素繊維のコスト試算

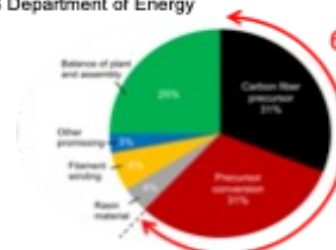


原料コスト+耐炎化コストの削減が課題 (30 \$/kg)



消費エネルギーの半数・・・耐炎化（不融化）工程

※U.S Department of Energy



水素タンク製造コストの60% CFを1/3のコストにすると、

水素タンクコスト60%に削減

炭素繊維の大幅な低コスト化が必須！

1. 事業の位置付け・必要性

- 本事業の位置づけや意義、必要性

方針 プレイヤー	技術的内容	優位性・利点	懸念点 (今後明らかにすべき内容)
本研究開発	耐炎化不要前駆体 低コスト・サステナブル原料	製造プロセスの簡略化 圧倒的な低い原料コスト ラージトウ・太径化に有利	原料コストがどこまで下げられるか。 工業レベルでの製造の安定
米国	バイオマス由来原料 (リグニン等：米国で実施)	天然素材の有効活用, コスト, 耐炎化の短縮	目標 1 の半値 (開発から10年) 3D構造, 配向しない →開発はほぼ中止
豪州 米国 中国	ラージトウ (本数が多い繊維束) を用いたPAN系CF	生産効率の増大	耐炎化は必須。 熱暴走 (高難度), 強度のバラツキ
ドイツ	ポリエチレン系CF	熔融紡糸の導入 繊維のハンドリング性	強酸を使った耐炎化处理 物性が本当に実現できるか?
現方式 (市販品)	ポリアクリロニトリル系CF	工業化は完成 ハンドリング性が高い 高強度と弾性率のバランス	低生産 耐炎化・不融化必須 低コスト化に限界 (値上がり傾向)
現方式 (市販品)	石油・石炭ピッチを原料と する炭素繊維	高弾性率品として地位を確立	低生産 耐炎化・不融化必須 工業的ハンドリング性が悪い

海外勢では、ラージトウ化が積極的に進められている。←水素タンクの物性を発現できるか？

1. 事業の位置付け・必要性

- 本事業の位置づけ（ベンチマーク結果）

	価格 \$/kg	引張弾性率 GPa	引張強度 GPa
本研究開発の目標2030年	10	280	5.8
米国で定められた目標値	11 -15.4	172	1.72
本研究開発品の現在地	—	A:250 B:660	A:3.5 B:3.9
衣料用PAN系炭素繊維	15.7	136 - 235	1.72 - 2.96
熔融紡糸PAN系炭素繊維	-	173 - 214	2.5
リグニン系炭素繊維	15.2	82.7	1.07
ポリエチレン系炭素繊維	16.0	200	2.0
T700（東レ）	30>	240	4.8
T800（東レ）	30>	280	5.8

海外勢は、PAN以外の原料からは開発に苦戦している模様。
本研究開発では、新規前駆体から従来の汎用PAN系CF相当までは達成済み！

1. 事業の位置付け・必要性

- 本事業の必要性

1. 産業界ニーズとの合致度

既に、**22社もの関心表明書**の提出をいただいております、産業界からの関心（ニーズ）の高さは確かである。産業界のニーズとの合致度は極めて高い。

2. 産業界ニーズとの貢献度

推進委員会には関心表明書を提出をいただいた企業様（NDAも締結済）にアドバイザーとして参加して頂いて情報共有を行っている。一部、**試料提供も開始した**。

東海国立大学機構内に2022年7月からFuture Fiber Factory（FFF）を設置し、今年度、**工場（オープンバージョンの場）**も大学負担で建設！本研究開発の開発品の**実用化コンソーシアム**を形成し、関心表明企業12社との本プロジェクトからの派生共同研究実施中。

結論：自動車メーカー2社、炭素繊維製造企業3社からの関心表明、多数のユーザー企業からの関心も明白である。本研究開発には産業界の高いニーズが認められ、開発目標も妥当（達成してほしい）との意見、期待が大きい！

2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の目標と目標設定の考え方（根拠）

目標 1. 2022年3月：弾性率170GPa, 強度1.7GPa (国際的指標の一つ) → 達成

設定根拠：①PAN系炭素繊維において、発明当初に得られた物性

- ②オークリッジ国立研究所（米国）が定めた自動車用として必要な物性値
（低コスト炭素繊維開発の有名な指標）

目標 2. 2024年3月：弾性率230GPa, 強度3.5GPa (PAN系汎用グレード) → 達成！！

設定根拠：①PAN系炭素繊維の市販品（国内メーカー）における最古グレード相当

- ②PAN系炭素繊維の開発 5 年以内で達成された物性相当

目標 3. 2025年3月：弾性率240GPa, 強度4.8GPa (PAN系航空機グレード)

設定根拠：①PAN系炭素繊維の汎用・高品質グレード相当

- ②ヒアリングの結果、水素タンク試作に可能な必要物性

最終目標. 2030年：弾性率280GPa, 強度5.8GPa (現行の水素貯蔵タンクグレード相当)

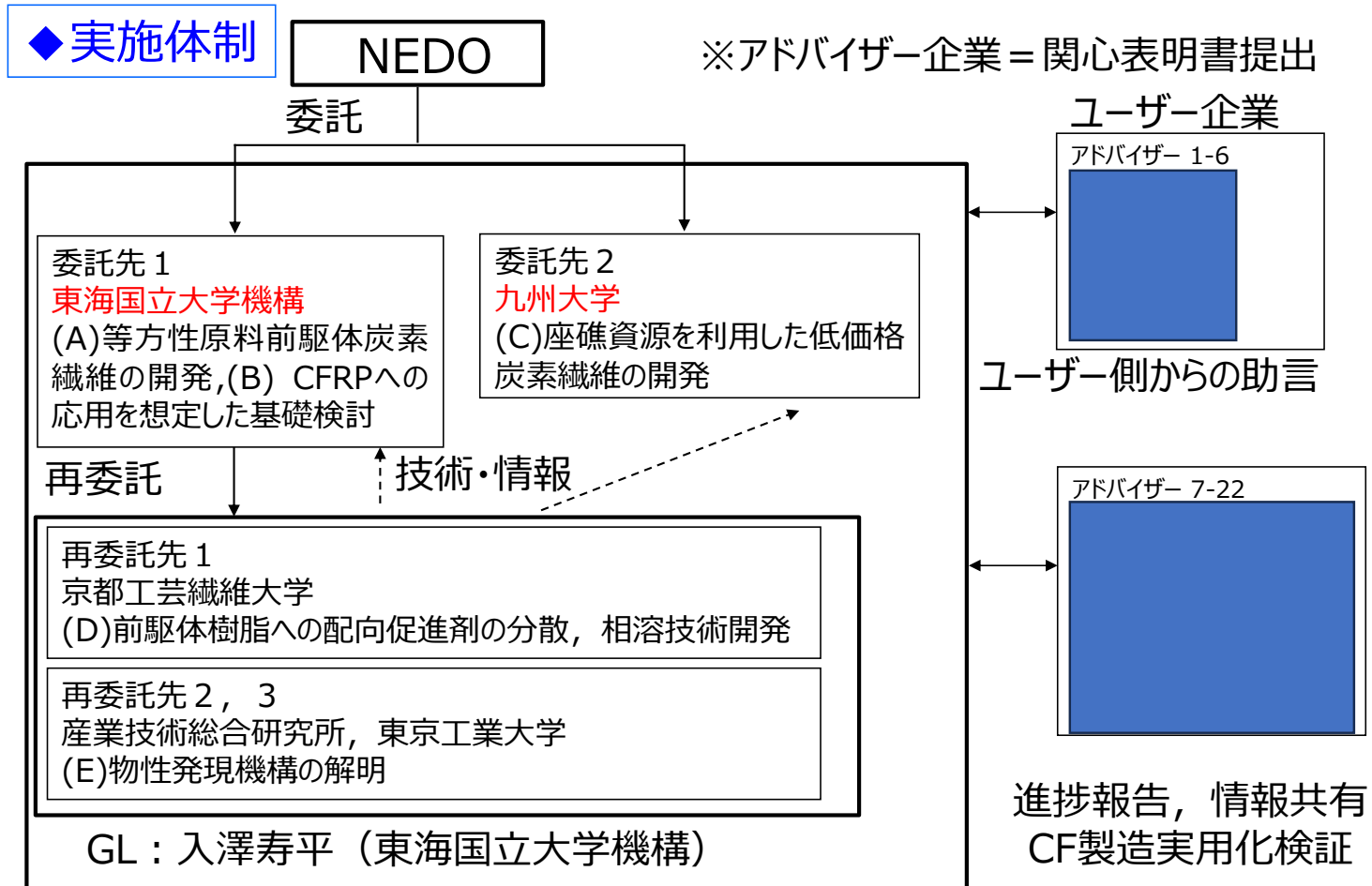
2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発のスケジュール

開発項目	年度					
	本研究開発期間			本研究開発（終了）以降		
	2020-2021	2022-2023 現在地	2024	2025-2027	2028-2029	2030
本研究開発 岐阜大開発品 九大開発品	(パッチプロセス) ラボスケールでの試作 目標達成 弾性率:170GPa 強度:1.7GPa	(連続プロセス) 小規模工業スケール での試作と検討 達成!	連続プロセス 達成目標 弾性率:240GPa 強度:4.8GPa	実証検討・次々世代の検討 改良・実証スケール 達成目標 弾性率:290GPa 強度:5.8GPa		FCV 水素タンクとして実用可能性判断
技術融合品 座礁資源+PBI繊維		検討開始	連続焼成 達成目標 弾性率:230GPa 強度:3.5GPa	本格検討		
他事業との連携 (水素タンクチーム)		WS等で情報を共有		試供品の共有	水素タンク試作開始	
・炭素繊維メーカー・ベンチャーの活用による社会実装チーム			CFの設計の技術共有	試作品の数kg/月の製造体制を構築	試作品の数百kg/月の製造体制で実証試験	

2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の実施体制



CF製造大手3社がついに集結!! 新規参入(ベンチャー)も視野に入れた体制

2. 研究開発マネジメントについて

- その他、研究開発の進捗管理（マネジメント）や知的財産戦略に関する独自の取り組み等。
- オープンにすべき技術（オープンにしてもノウハウを教示しない限り真似できない技術）は知財委員会の承認を経て、出願（基本，PCT出願）を想定する。

ノウハウとしてクローズにすべき案件はあえて出願しない方針。世界初の革新的新技術の特許出願予定！

（知財を誰がどのようにマネジメントするか実用化の鍵）

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	0	1	1(1)	1	3件

- **炭素繊維開発の先進国である日本としてプレゼンスはアピールすべき！！**

国内外にむけプレスリリース，展示会，誌上等で対外的な成果発信を積極的に実施する。

1. 国内学会行事，海外国際会議での口頭発表
2. 国内外の展示会イベントでの出展(新規炭素繊維の展示会に2024年中出展)
3. 大学及びNEDOからのプレスリリース

24年度10月を目処に世界初技術，世界に誇る炭素繊維工場の本格稼働を大々的にプレスリリースする計画

4. 雑誌報告（うまく技術を隠しながら，日本の技術力をアピールしたい）

3. 研究開発成果について

- 研究開発の目標及び進捗状況、目標達成に向けたアプローチ

研究開発テーマ	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	
(A)新規前駆体A由来炭素繊維の開発,(C) CFRPへの応用を想定した基礎検討 (東海国立大学機構)																				
・等方性原料前駆体炭素繊維の開発					中間目標達成 達成!!! 弾性率: 170GPa 強度: 1.7GPa				中間目標値 達成! 弾性率: 230GPa 強度: 3.5GPa				PJ期間最終目標 弾性率: 240GPa 強度: 4.8GPa							
原料の調整	原料の重合				ポリマーの改良 (京工大連携)				大量生産プロセスの開発, 低コスト新原料の開発											
簡易紡糸検討	原料の紡糸性				改良原料の紡糸性				原料の確定											
マルチ紡糸条件の最適化					マルチホール紡糸の導入				1k品での紡糸開始, 新原料での紡糸条件最適化				3K品の紡糸開始							
焼成条件の検討					バッチ式炉での検討				連続炉の本格稼働, 焼成条件最適化				パイロット規模での生産開始?							
CFRPへの応用を想定した基礎検討	中間目標達成 O/C値 (XPS), 界面剪断強度 (フラグメンテーション法) で市販品の8割				中間目標 O/C値, 界面剪断強度で市販品同等の値を達成				PJ期間最終目標 O/C値, 界面剪断強度で市販品以上を達成											
評価法の検討	XPSとフラグメンテーション法の習得																			
プラズマ表面処理					バッチ式				連続式で実施, 処理条件の最適化				すでに達成!!!							
処理効果検討													生産量と調整しながら進めるか検討							
(前倒しテーマ) CFRPの試作検討																				

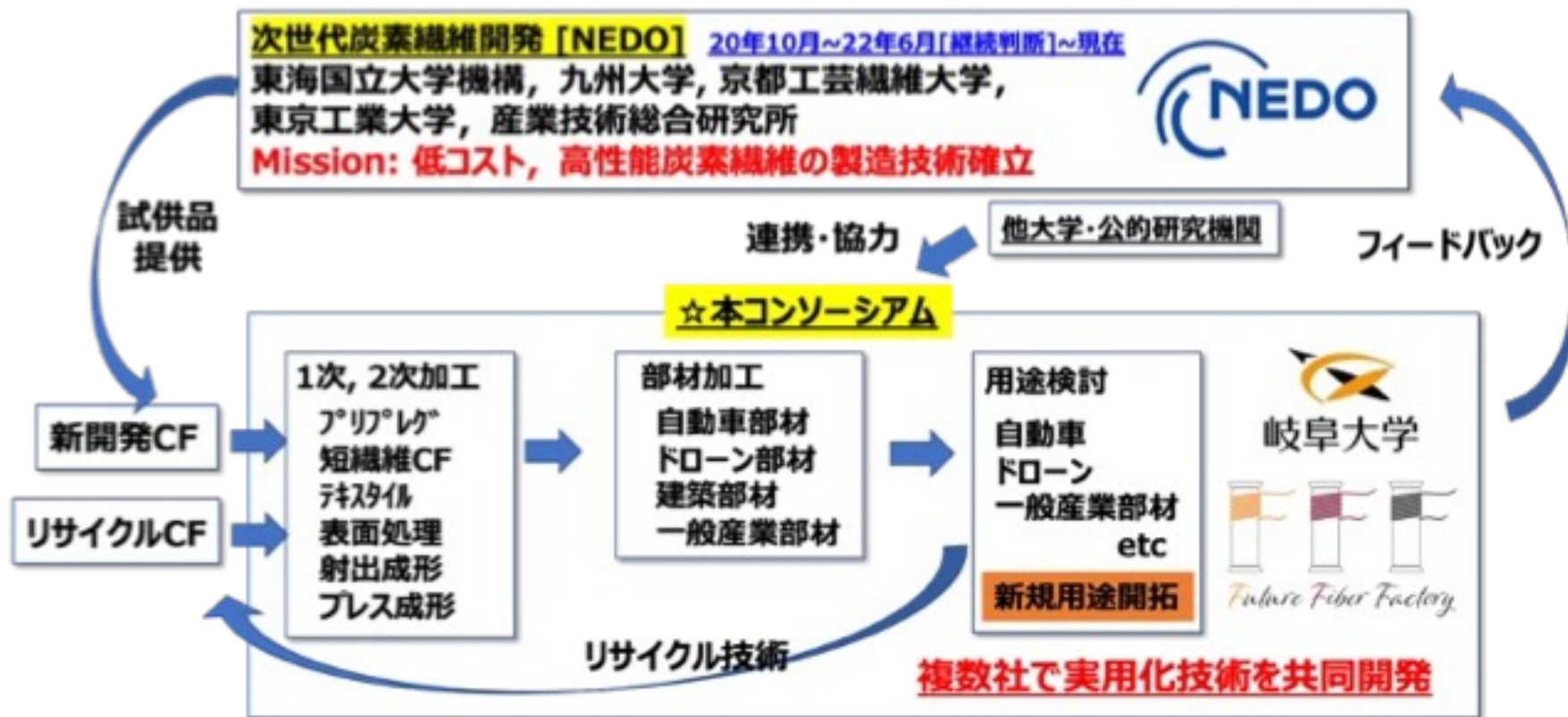
研究開発テーマ	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	
(B)新規前駆体B由来炭素繊維の開発 (九州大学)																				
新原料を用いた炭素繊維の開発					中間目標達成 達成!!! 弾性率: 170GPa 強度: 1.7GPa				中間目標値 達成! 弾性率: 230GPa 強度: 3.5GPa				PJ期間最終目標 弾性率: 240GPa 強度: 4.8GPa							
原料の調整	原料のブレンド				原料の改良 (プロセス検討)				大量生産プロセスの開発, 低コスト新原料の開発											
簡易紡糸検討	原料の紡糸性				改良原料の紡糸性				原料の確定				新原料でのさらなる検討							
マルチ紡糸条件の最適化					マルチホール紡糸の導入				50ホールでの紡糸開始, 座礁資源からのマルチ紡糸条件最適化											
焼成条件の検討					バッチ式炉での検討				連続炉の本格稼働, 焼成条件最適化											
分子シミュレーションに基づく新原料デザイン (産業技術総合研究所との共同研究)					中間目標達成に貢献 詳細分析と理論計算により、高い強度が得られる原料の探索				中間目標達成に貢献 市販品同等の物性値を達成するための原料と前処理法の探索				PJ期間最終目標達成に貢献 高強度が得られる低コスト原料と製造法 (九大) を提案							
モデル分子の構築					モデル分子構築からの座礁資源のデザイン								実用化最適モデルの構築							
分子シミュレーションの適用	反応分子シミュレーションによる最適分子の予測				モデル分子による製造シミュレーション				新原料由来CF構造に及ぼす影響の検討 (シミュレーションによる最適化)				実用化に向けたCF構造物性のシミュレーション							



2024年7月: 岐阜大学に移設(工場建設)
フル稼働によって研究を加速する計画

4. 今後の見通しについて

- ・ 実用化・事業化のイメージ（成果がどのように使われるか）



CF製造大手企業の参画はもちろん、新規参入を目指す企業、大学発ベンチャーも参加し、実用化検証を加速する体制を構築

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



このような、ベンチャーの活用がうまく作用するか？
（種々、企業様とのヒアリング実施中）



連携
プロジェクト
終了後

大学発ベンチャーの活用

（ただし、知財を一元管理し、
多くの企業が実施できる体制を構築）

CF使いこなし技術
共同研究

CF試作品提供

CFRPユーザー企業
成形・加工企業

OEM
or
ライセンス

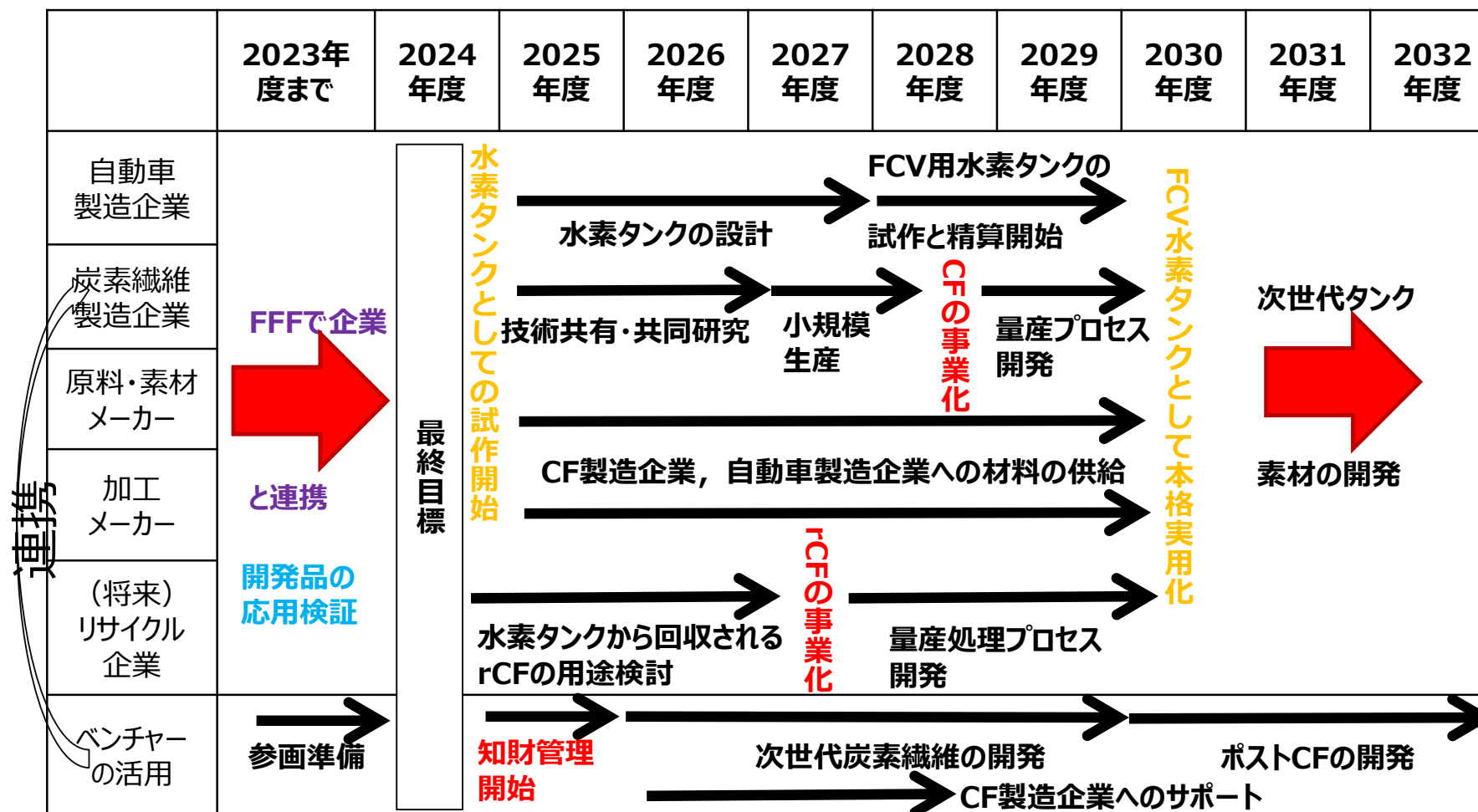
CF企業
周辺（原料等）企業

投資
or
共同研究

新規参入企業

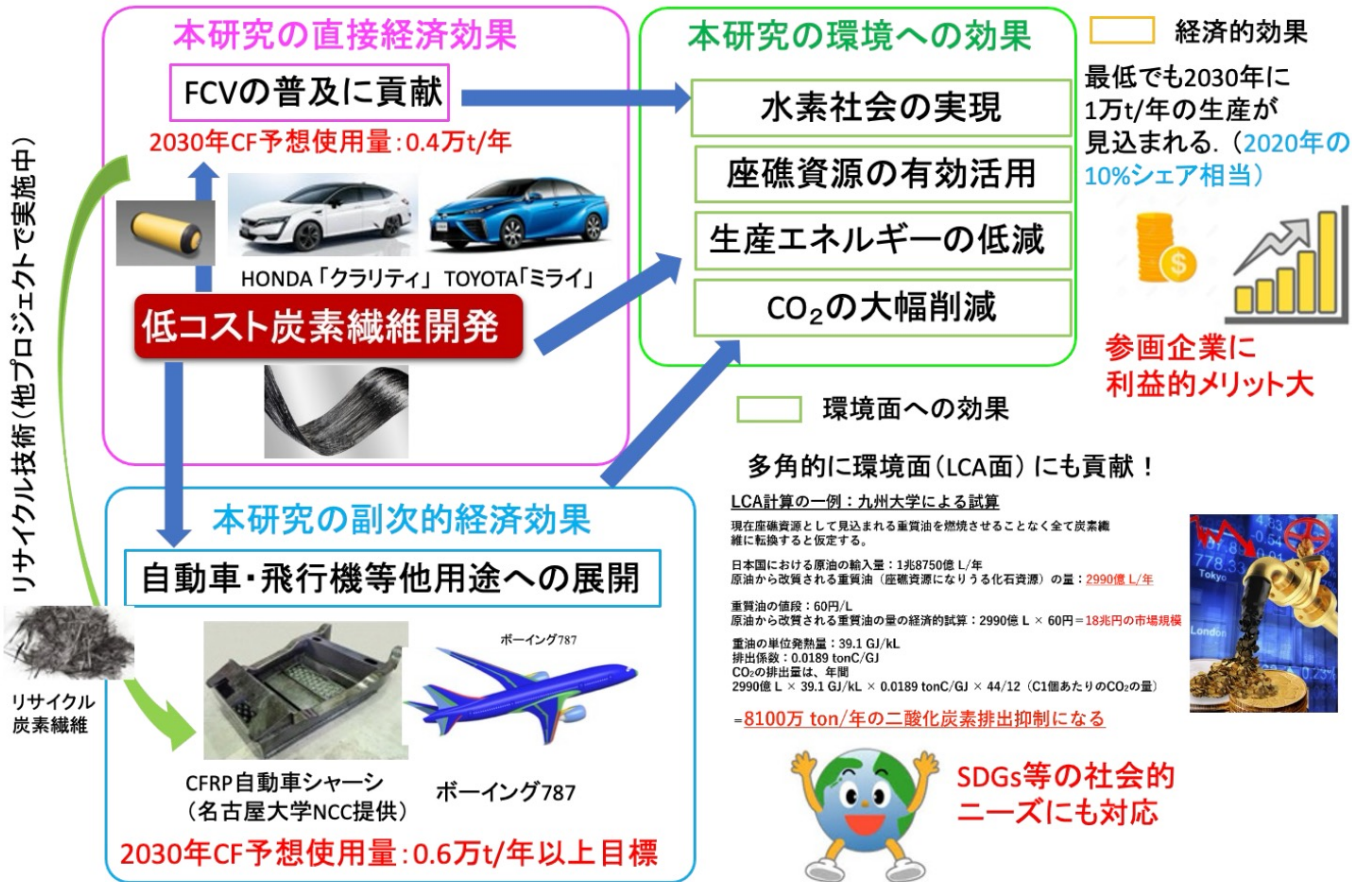
4. 今後の見通しについて

- 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み（計画や戦略等）



4. 今後の見通しについて

- その他、顕著な経済・技術・社会的な効果、人材育成の取り組み等



人材育成
30-40歳の研究者主体での体制
で開発をスタート

↓

キャリアとしてステップアップ
と同時に炭素繊維開発のアカデ
ミア人材を発掘・育成した。

↓

20代ポスドク, 博士研究員の
積極参画により, 次世代の開発
者を育成中!!