

NEDO水素・燃料電池成果報告会2023

発表No.A-14

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 2022年7月27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。目標達成後には、水素タンク製造コストの大幅削減が見込まれ、副次的効果として炭素繊維低コスト化による二酸化炭素大幅削減も 期待できる。

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前駆体の観点から開発を進める中で、補完的要素技術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いる。

2022年 6 月までに設定した中間目標物性値 (引張弾性率 170GPa と強度 1.7GPa および O/C 値と IFSS について市販品の 8 割) を達成 (2024年3月目標 : 引張弾性率230 GPa と強度3.5 GPa)

現状, 引張弾性率250 GPa と強度 2.9 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



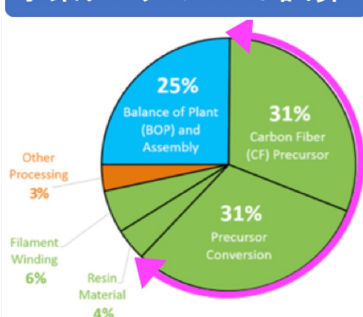
水素タンクコスト: 70万円/本

トヨタのFCVであるMIRAIには
2台の水素貯蔵タンクを搭載
必要特性: 軽量(燃費の観点)
: 高力学物性(水素による内圧)

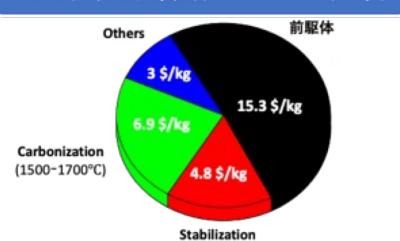


現行では条件を満たす素材として、
炭素繊維強化プラスチック(CFRP)しかない。

水素タンクのコスト試算



PAN系炭素繊維のコスト試算



原料コスト+耐炭化コスト
の削減が課題 (30 \$/kg)

現行のPAN系炭素繊維では、自動車業界が要求する2030年の水素タンクコストの実現は不可能！

今までにない斬新なアイデアを基盤とする新炭素繊維原料・製造技術開発が必要不可欠
(我々の技術はこれを可能にする！！)

水素貯蔵タンクの60%以上が炭素繊維の製造コスト

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
- ・ ベンチマーク（国内外）結果との比較

	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※1	11 - 15.4	172	1.72
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

米国（オークリッジ国立研究所）と豪州（Carbon Nexus）の活動が活発であるが、我々が掲げる 2024年3月に向けての中間目標は未達である（**本事業は達成見込み**）。海外勢が苦戦を強いられている中で、**炭素繊維開発の先進国である日本のチャンスである一方で、我々の PJ は国内の新炭素繊維開発の最後の砦である。**

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
- ・ 産業界等のニーズに対して、研究開発目標レベルが妥当かどうか

1. 産業界ニーズとの合致度

既に、**14社（昨年度から4社増）**からの**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。**試料提供や教授の開始をした。**

また、東海国立大学機構内に2022年7月からFuture Fiber Factory（FFF）を設置し、**本研究開発の開発品の実用化を加速するコンソーシアム**を形成した。

結論：自動車メーカー2社、炭素繊維製造企業2社の関心表明からも明白な通り本事業には産業界の高いニーズが認められ、開発目標も妥当との意見が多く期待が大きい！

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）

- 当研究課題の目標物性

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

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

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

目標 4. 2030年3月：弾性率290GPa, 強度5.8GPa (現行水素タンク用炭素繊維同等グレード)

方針 プレーヤー	技術的内容	優位性・利点	懸念点 (今後明らかにすべき内容)
本提案	A:耐炎化不要前駆体 B: 座礁資源由来原料	A製造プロセスの簡略化 Aラージトウ, 太系可能 B原料費, LCA	・コスト・LCA試算 ・工業レベルでの製造の安定性 ・基礎データの不足
ベンチマークA	バイオマス由来原料 (リグニン等: 米国で実施)	天然素材(残渣)の有効活用, コスト, 耐炎化の短縮	開発から10年以上で, 目標1の半 値(3D構造, 配向しない)
ベンチマークB	ラージトウ(本数が多い繊維束)を用い たポリアクリロニトリル系CF	生産効率の増大	均一繊維が得られにくい. 耐炎化はなくなる。熱暴走
現方式	ポリアクリロニトリルおよび 石油・石炭ピッチを原料とする炭素繊維	ポリアクリロニトリルおよび 石油・石炭ピッチを原料とする炭素繊維	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)

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

短期的スケジュール

年度	2023年度前期	2023年度後期	2024年度前期	2024年度後期
NEDO PJ	バッチ式での原料候補絞り込み 原料の大量生産準備		パイロットの本格稼働 (毎日生産) 細かな条件出しによる物性の最大化	
FFF	用途・CFとしての事業化 見極め		参画に向けた準備期間	
事業化企業			参画準備 知財のライセンス	
T300相当を達成				
パイロット移設期間				
T700相当を達成				

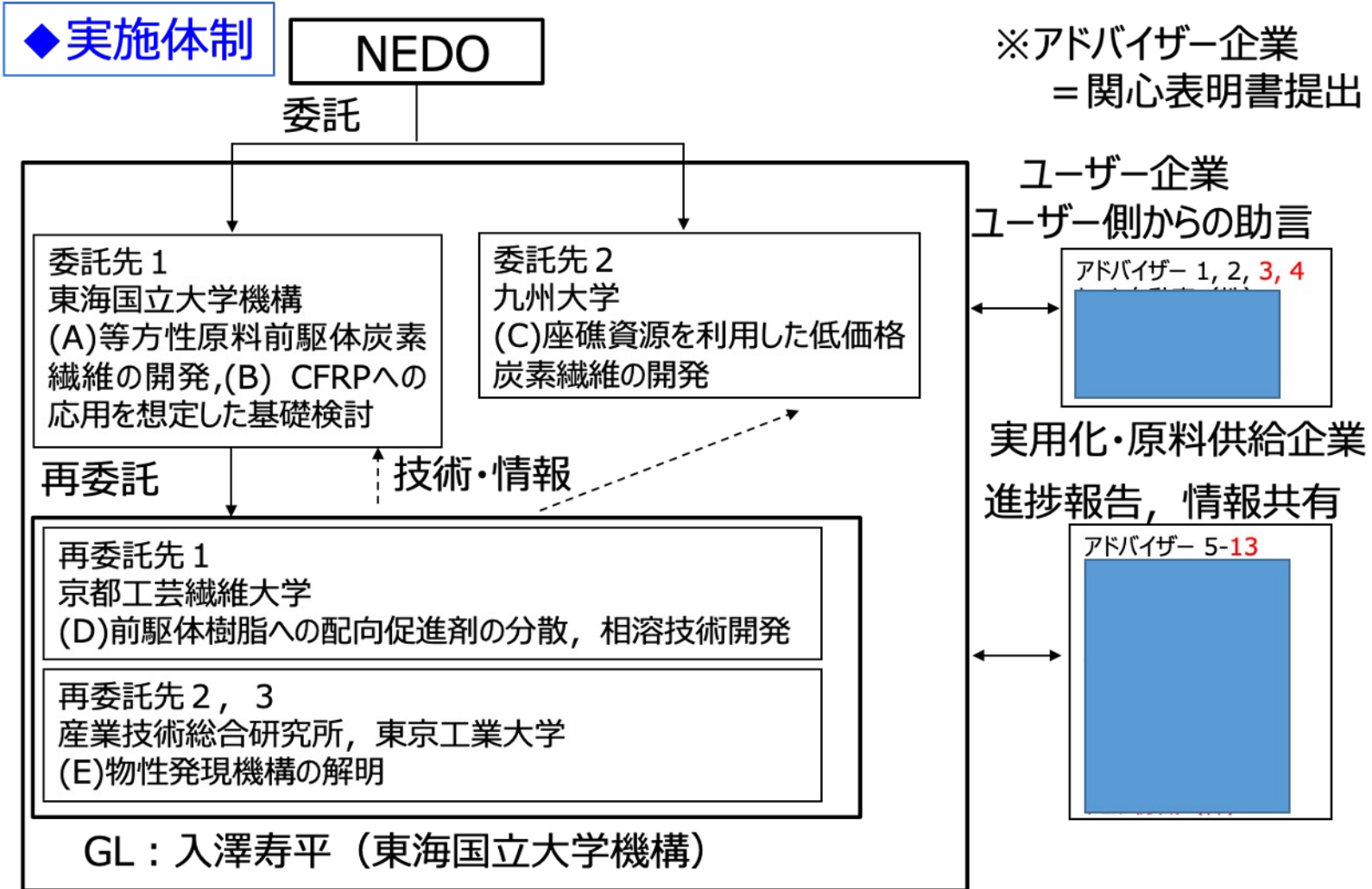
事業終了後を見据えたスケジュール

開発項目	年度					
	本研究開発期間			本研究開発(終了)以降		
	2020-2021	2022-2024	2025	2026-2027	2028-2029	2030
本研究開発 (炭素繊維開発)	(バッチプロセス) ラボスケールでの試作	達成目標 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	達成目標 弾性率:230GPa 強度:3.5GPa	達成目標 弾性率:240GPa 強度:4.8GPa 次々世代の検討		達成目標 引張弾性率:290GPa 強度:5.8GPa FCV 水素タンクとして本格実用
炭素繊維メーカーによる実用化開発	参画意思確認	参画意思最終確認	技術譲受	小規模ラインでの生産	パイロットラインでの量産	
自動車メーカーによる水素タンク開発	参画意思確認	参画意思最終確認	水素タンクとしての実証開始	設計完了	水素タンク生産を開始	

本事業 ¥ は、基礎・基盤研究の領域から、事業化検証フェーズへの移行時期に差し掛かっている。関連企業との連携による我々開発炭素繊維の本格的な実証試験が必要になりつつある。そのために、早々に参画企業を募る一方で、事業化戦略も早期構築が必要。

2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の実施体制



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。

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

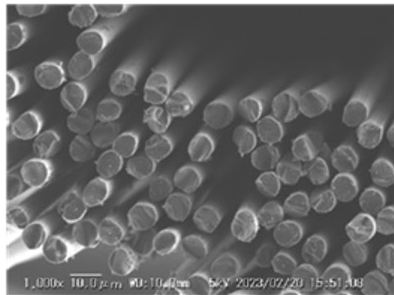
※2023年3月10日現在

- **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 国内8件（内招待6件） 海外3件
 3. 大学及びNEDOのプレスリリース 岐阜大プレスリリース1件（新聞記事3件）
 4. 雑誌報告 国際誌（英雑誌査読有り） 1件

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)等方性原料前駆体炭素繊維の開発,(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 弾性率：170GPa 強度：1.7GPa							中間目標値 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							3 K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															
処理効果検討				随時, 処理効果を実施																			
CFRPの試作検討				1方方向の成形, 物性評価							他チーム, 企業への試料提供												



- 炭素繊維の力学物性
東海国立大学機構
引張弾性率200GPa, 強度2.1GPa
九州大学
引張弾性率250GPa, 強度2.9GPa

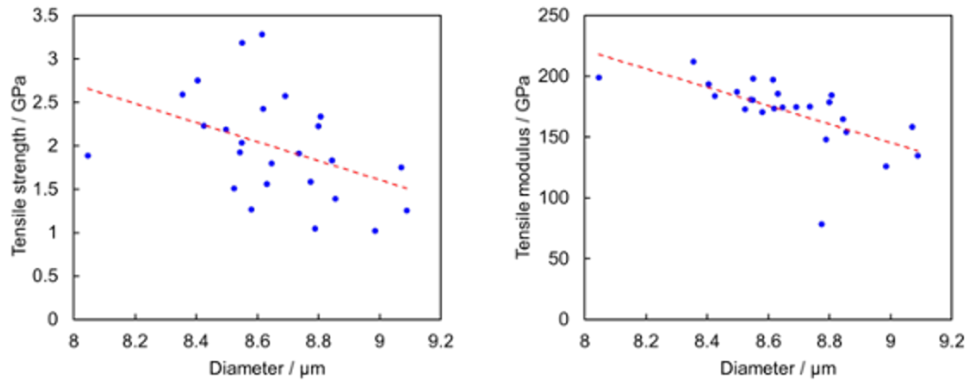
研究開発テーマ	2020年度			2021年度				2022年度				2023年度				2024年度				
	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	
(B)座礁資源からの炭素繊維の開発 (九州大学)																				
座礁資源を用いた炭素繊維の開発	中間目標達成 弾性率：170GPa 強度：1.7GPa							中間目標値 弾性率：230GPa 強度：3.5GPa							PJ期間最終目標 弾性率：240GPa 強度：4.8GPa					
原料の調整	原料のブレンド			原料の改良(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												
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							実用化に向けたCF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					
分子シミュレーションに基づく座礁資源のデザイン (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																
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				座礁資源由来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					



- 電解酸化処理(表面処理)
炭素繊維の力学物性
O/C値：0.23 (市販品同等)
IFSS(PA6)：50 MPa

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

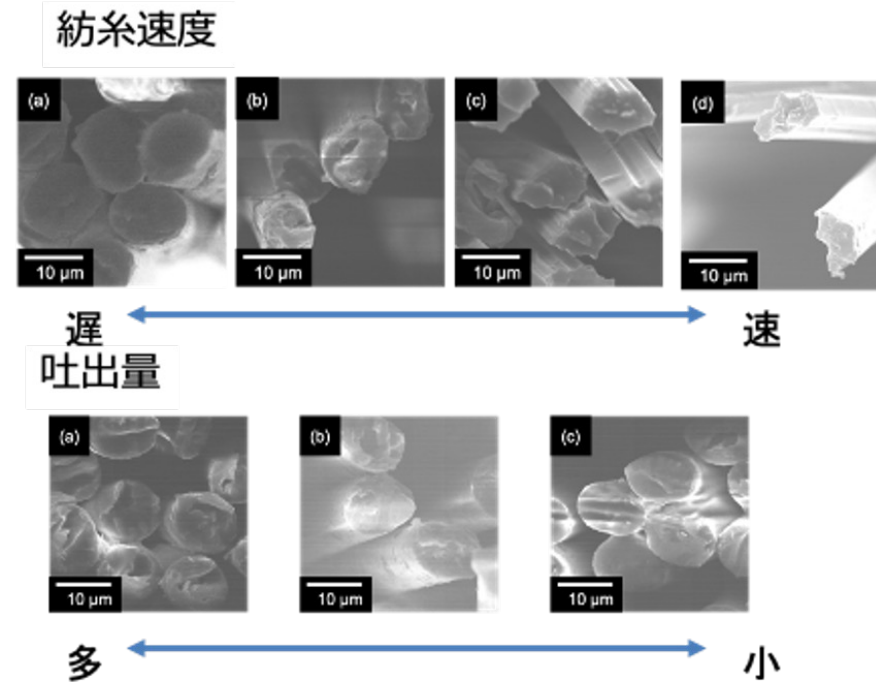


前スライド No.1のサンプルの繊維直径と引張強度、引張弾性率のプロット

繊維直径の低下による引張強度・引張弾性率の増大が期待

→ 紡糸段階における前駆体繊維の細線化

7μm : 3.8 GPa 5μm : 5.9 GPa



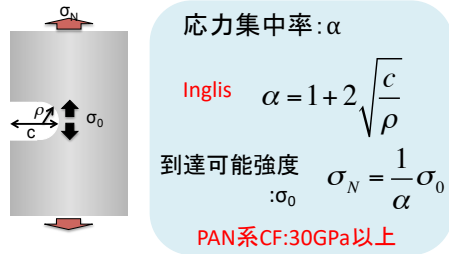
直径制御は決して簡単ではない！！

ノズル開発と紡糸プロセスの検討によって直径制御が必要。

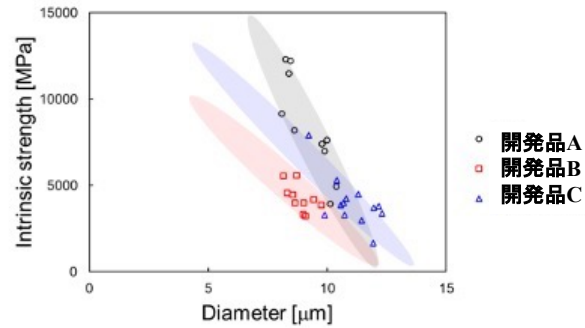
3. 研究開発成果について

- 研究開発の成果と意義

(b) 到達可能強度測定



次フェーズに移行
(2023,2024年度)



直径制御が課題

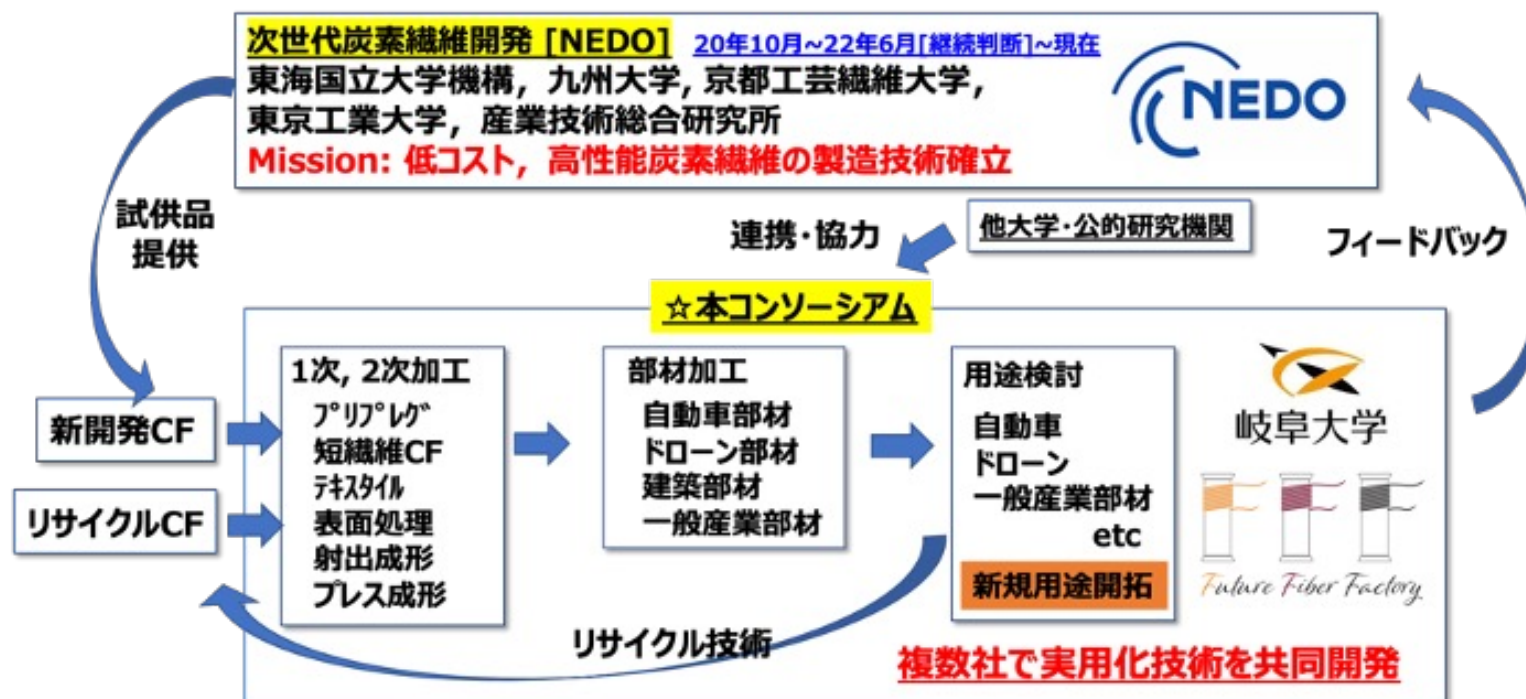
(本研究開発の今後の
課題抽出も貢献)。

パイロット連続炭素繊維製造ライン

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）

岐阜大学 コンソーシアム型共同研究で本研究開発の実用化・事業化を促進

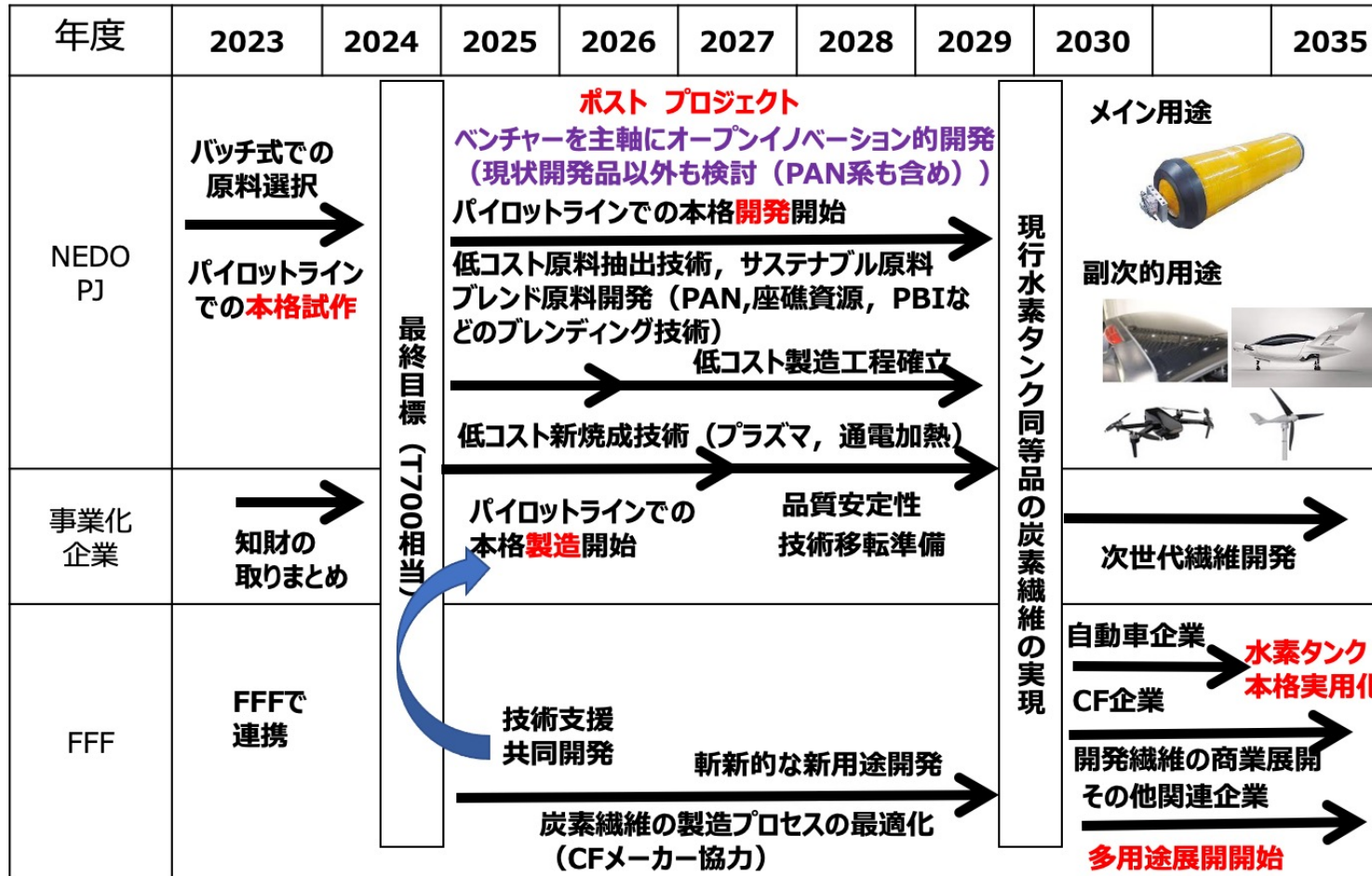


関心表明書提出 13社のうち, 9社が参画
(実用化に向けた, 応用検討を実施する)

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）

開発マイルストーン



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

1. いつ誰が事業化する？
2. 応用面（CFRP化）との連携



関心表明書提出企業との共同開発体制は構築済み！！
(学内発ベンチャーの利用の可能性もあり)

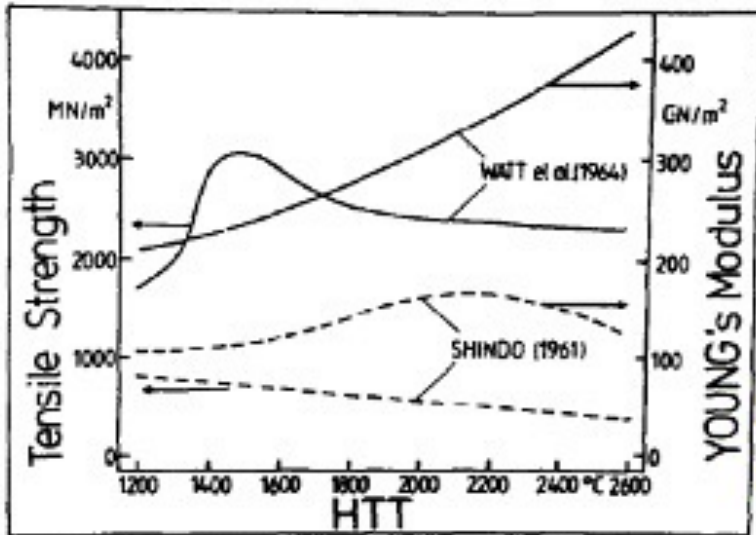


3. パイロットラインによるプロセス実証試験の早期実施
現状は、2～3ヶ月に一回の試作しかできないのが現実
(費用的、マンパワー的な両面の問題がある)

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）

過去の歴史（PAN系CF）



E. Fitzer, Carbon, v72, n5, 621-645 (1989)

進藤先生：バッチ式（1961年）
弾性率150GPa, 強度1GPa程度

僅か
3年

Watt 博士：パイロット式（1964年）
弾性率240GPa, 強度3GPaを達成

	バッチ式	パイロット式
前駆体選定	✓	
少量検討	✓	
焼成温度 コントロール		✓
張力制御		✓
炉内滞在時間		✓
品質安定検証		✓
生産量		✓

物性の最大化

- 炭素繊維の最終的なポテンシャル評価にはパイロットでの開発は必須
- 関心表明企業が求める用途検証として材料提供するためにも必須

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

国内に炭素繊維製造が可能な公的研究機関は、2機関（岐阜大、九州大）

研究者も片手で数えられるほど



入澤，中林（委託先責任者）自身も経験を積む世代であるが，若手研究者に技術を伝授し，技術が途絶えないように，人材育成にも努めている！

博士取得5年未満の若手研究者3名
本PJ予算で雇用，参加中である！