

# 「次世代複合材創製・成形技術開発④、⑤及び⑥」(終了時評価)

## プロジェクトの概要(公開版)

2023年12月13日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
材料・ナノテクノロジー部

# 次世代複合材創製・成形技術開発



## プロジェクトの概要

航空機のCO2排出量削減、環境適合性向上、整備性向上といったICAO等からの要請に応えるため、複合材等の技術開発を実施する。今後の航空機需要の70%を占めると予想されている次世代細胴機の製造プロセスで必須となる熱可塑性CFRPと、熱可塑性CFRPを用いた低コスト・高レートな構造部材の成形組立技術、並びにエンジン効率向上に繋がるCMC部材を開発する。これにより航空機の軽量化とエンジン効率の向上による燃費改善を達成し、CO2排出量の削減を目指すとともに、あわせて海外OEMからの次世代細胴機の製造分担量の増加も目指す。

## 想定する出口イメージ等

アウトプット 目標 (一部抜粋)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①複合材時代の理想機体構造を実現する機体設計技術の開発 アルミをCFRPで置き換えただけの従来構造とは異なる新しい機体設計コンセプトをシミュレーションにより提案するための技術を開発する。</li> <li>②熱可塑性CFRPを活用した航空機用軽量機体部材の高レート成形技術の開発 高度な一体成形、さらなる軽量化、高レートな大型部材成形技術を確立する。</li> <li>③航空機部品における複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発。ファスナー使用箇所の半減およびアルミ機体と同等以上の生産技術を開発する。</li> <li>④超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発 引張強度3.0GPa以上、2700°F（1482℃）×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足し、高温クリープ特性に優れたSiC繊維を開発する。</li> <li>⑤1400℃級CMC材料の実用化研究開発 室温引張強度300MPa以上、1400℃×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足するCMC部材を開発する。</li> <li>⑥高レート・低コスト生産可能なCMC材料およびプロセス開発 現行と比較して生産レート10倍向上を可能とする材料及びプロセス技術を開発する。</li> </ul>
アウトカム 目標	本事業で開発した成果が次世代航空機に搭載され、軽量化とエンジンの高効率化による燃費の改善が図られることにより、 <b>2040年において、1500万トンのCO2削減</b> が期待される。
出口戦略 (実用化 見込み)	B737max・A320neo後継の次世代細胴機は、2030年代就航が予想されており、ここでの機体及び搭載エンジンの製造分担獲得を狙う。 材料メーカーと航空機メーカー等が協同しながら実機評価を行い、我が国の技術的優位性を活かした実用化を目指す。
グローバル ポジション	PJ開始時：R A (Run after) ⇒ PJ終了時：D H (Dead heat) ①～③は国内Tier1、海外OEMと協力して進める。④～⑥はSiC繊維を国内に持っている強みを活かし、先行するGEに追隨して高圧部材に新規参入を目指す。

## 既存プロジェクトとの関係

○2014～2022年度NEDOプロジェクト  
「革新的新構造材料等研究開発」ISMA事業  
自動車等の抜本的な軽量化に向けて、革新的なアルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、鋼板、CFRP等の開発を実施。  
○2018～2022年度内閣府SIP「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」  
航空機を始めとした輸送機器等への適用を目標に、樹脂・CFRP、耐熱合金・金属間化合物等、革新的構造材の開発を実施。  
→上記PJは本PJとは異なる材料を対象とした研究開発を行っているものや、同じ材料においても異なる出口や開発のアプローチで研究開発を行っているものがあるが、相互に情報共有を行い、上記PJの成果を本PJへ活用する等、協力・連携を図っていく。

## 事業計画

期間：2020～2024年度（5年間）  
総事業費（NEDO負担分）：62.8億円（予定）（委託、助成）

### <研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模>

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発 項目① (委託)	①複合材時代の理想機体構造を実現する機体設計技術					
研究開発 項目 ②～③ (助成)	②熱可塑性CFRPを活用した高レート成形技術の開発 ③複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発					
研究開発 項目 ④～⑥ (助成)	④更なる高性能SiC繊維の開発 ⑤(1)1400℃級CMC材料の開発		⑤(2)1400℃級CMC材料の開発		⑥高レート・低コスト生産可能なCMC材料とプロセス開発	
評価			中間 評価	終了時 評価		終了時 評価
予算 (億円)	14.5	13.5	13.2	12.0	10.0	

## 1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 国内外の動向と比較
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化戦略

## 2. 目標及び達成状況(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み  
(2)アウトプット目標と達成状況

- アウトカム目標の設定及び根拠
- 本事業における「実用化・事業化」の考え方
- アウトカム北表の達成見込み
- 波及効果
- 費用対効果
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット(研究開発成果)のイメージ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 研究開発成果の意義(副次的成果)
- 特許出願及び論文発表

## 3. マネジメント

(1)実施体制  
(※)受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

(※) 評価対象外

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究開発のスケジュール
- 予算及び受益者負担
- 進捗管理
- アウトプット(研究開発成果)のイメージ
- 目標達成に必要な要素技術
- 進捗管理:動向・情勢変化への対応
- 進捗管理:開発促進財源投入実績

## 1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 国内外の動向と比較
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化戦略

## 2. 目標及び達成状況(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み  
(2)アウトプット目標と達成状況

## 3. マネジメント

(1)実施体制  
(※)受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

(※) 評価対象外

## ＜評価項目 1＞ 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義 \* 終了時評価においては対象外

(1)アウトカム達成までの道筋

(2)知的財産・標準化戦略



# 事業の背景・目的・将来像

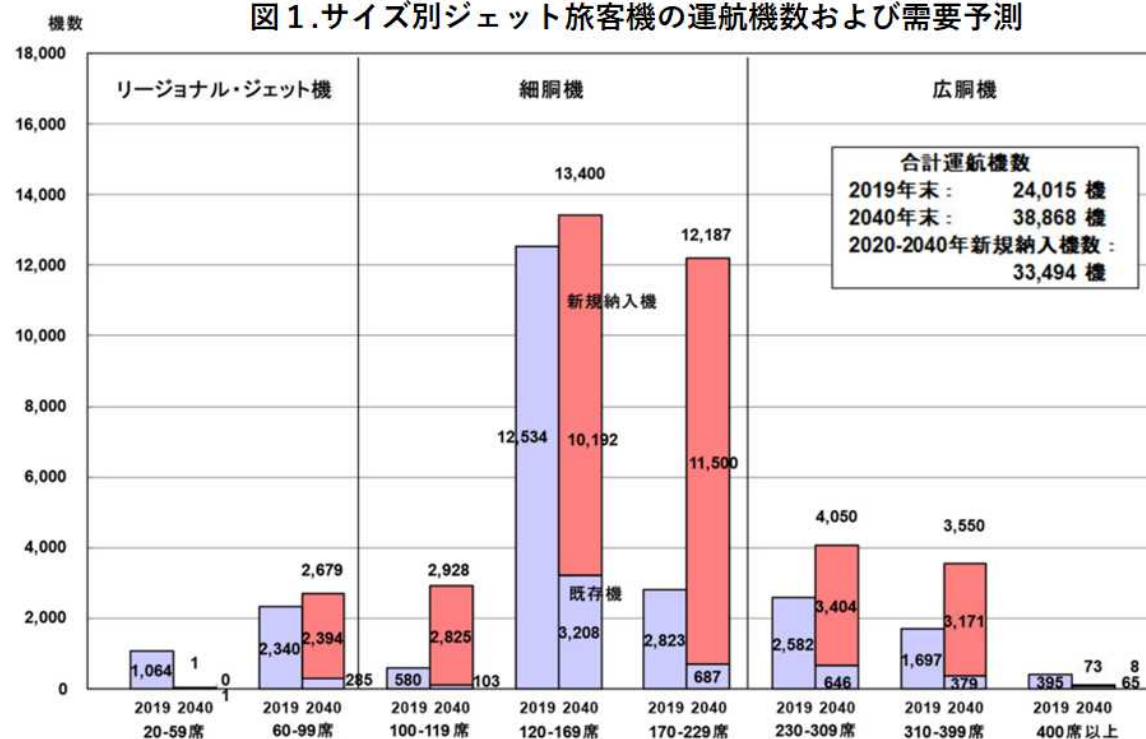
## 【事業の背景】

- 世界の民間航空機市場は、各社、コロナの影響により今後のデリバリー見通しを下方修正したものの、旅客需要の回復予測や、CO2削減に貢献する効率の高い機体への代替需要が見込まれている。
- 更に、燃費改善、環境適合性等の市場のニーズに応えるため、軽量化のための構造部材としての複合材の適用が急務となっている。

## 【目的】

- 今後の航空機需要の70%を占めると予想されている細胴機の製造プロセスで必須となる、**複合材を用いた部材の低コスト・高レートな新しい成形組立技術の確立**を目指す。
- **航空機の燃費改善によるエネルギー消費量とCO2排出量の削減**を目指す。

図1. サイズ別ジェット旅客機の運航機数および需要予測



出所：日本航空機開発協会

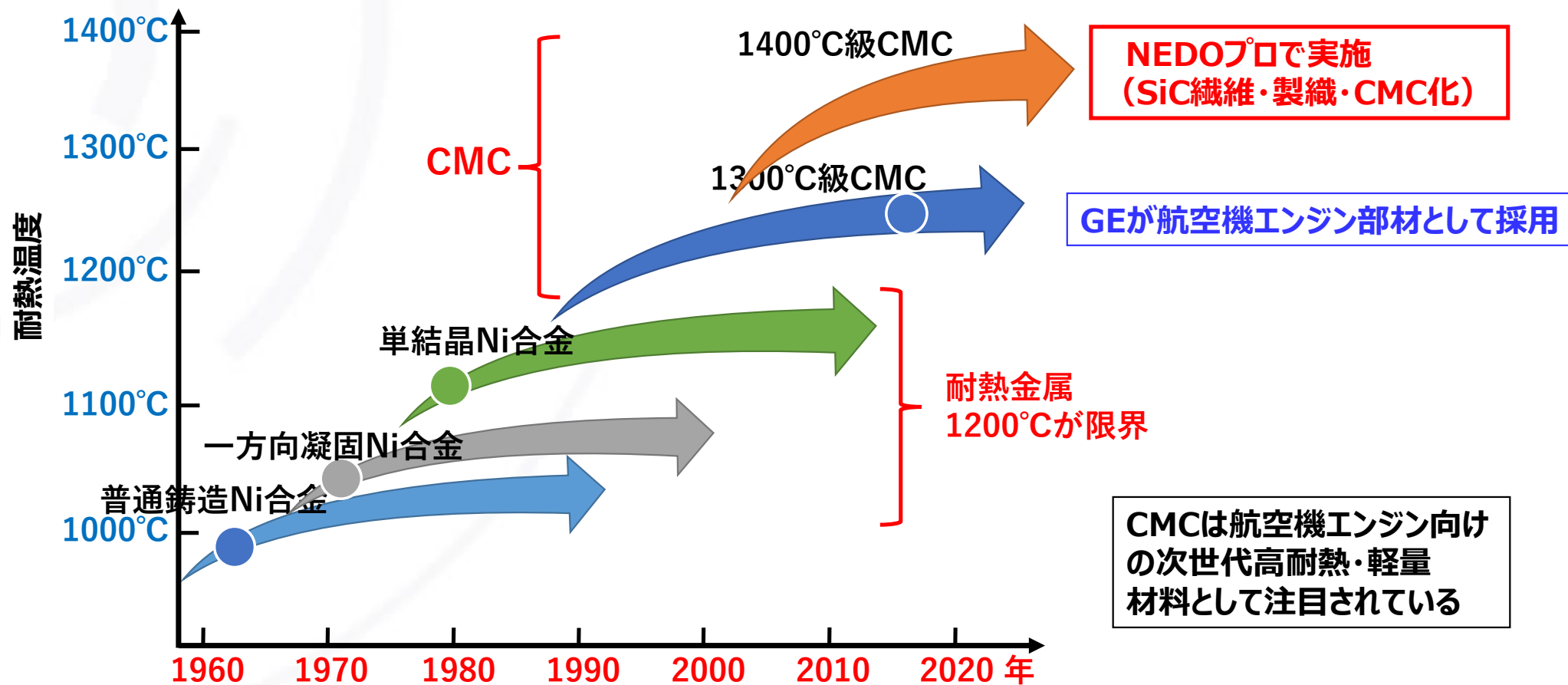


## 政策・施策における位置づけ

- 本事業は、総合科学技術・イノベーション会議により策定されている「**科学技術イノベーション総合戦略**」、「**エネルギー・環境イノベーション戦略**」等に則り、構造材料の飛躍的な軽量化等によって**航空機のエネルギー利用効率の向上を目指すために実施するものである。**
- また、「**革新的環境イノベーション戦略**」(統合イノベーション戦略推進会議)には、運輸分野の温室効果ガス削減のため、航空機分野で**燃費向上に資する機体やエンジンの材料軽量化等の開発を進めることが謳われている。**

本事業はこれらの政策を進めるために実施するものである。

## 技術戦略上の位置づけ




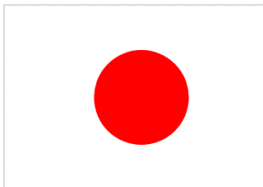


## 国内外の動向と比較

### ■ 航空機産業の業界構造 (欧米中心の寡占状態)

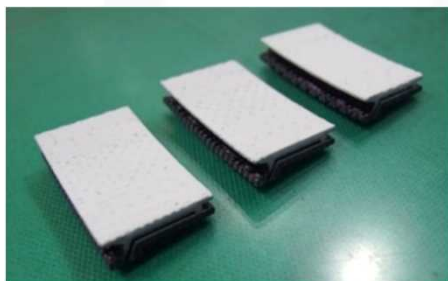
航空機完成機メーカー	ボーイング社 (米)	エアバス社 (欧)	
航空機エンジンメーカー	GE社 (米)	Rolls-Royce (英)	Pratt & Whitney (米)

### ■ CMC事業

国	事業社	CMCの耐熱温度	技術レベル
 米国	GE Aviation	1300℃級	2012年NGSアドバンスファイバー株式会社設立 (日本カーボンと仏サフランとの合併会社) 1300℃級のCMC部品(タービンシュラウド)を航空機エンジンに採用。
 日本	株式会社 I H I 川崎重工業株式会社 三菱重工航空エンジン (株)	1400℃級	TRL(Technology Readiness Level) 4 技術成熟度レベル 実用化はされていない。

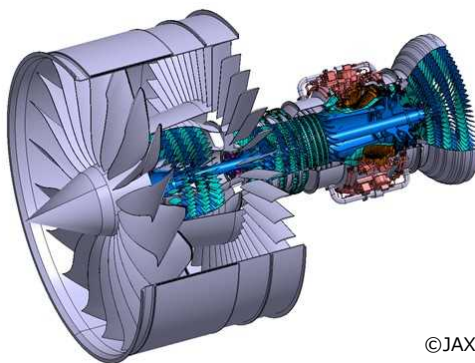
## 他事業との関係

### 次世代複合材創製・成形技術開発 (本プロジェクト)



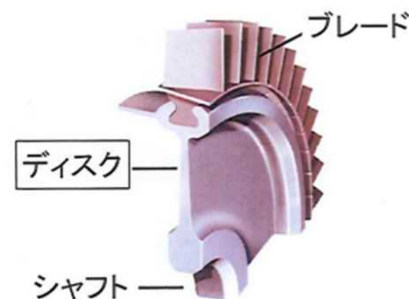
1400°C級CMCタービンシュラウド

航空エンジン高温部(タービンシュラウド)へのCMC適用により冷却空気削減による熱効率向上



©JAXA

### 航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業

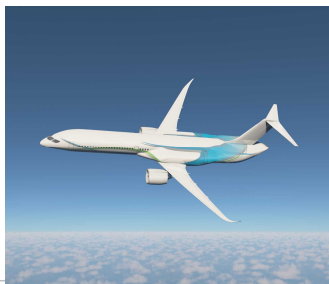


航空エンジン高温部(ディスク、ブレード)への耐熱合金適用により冷却空気削減による熱効率向上

出典: ザ・ジェット・エンジン(2011), P275, (社)日本航空技術協会

### グリーンイノベーション基金事業/次世代航空機の開発

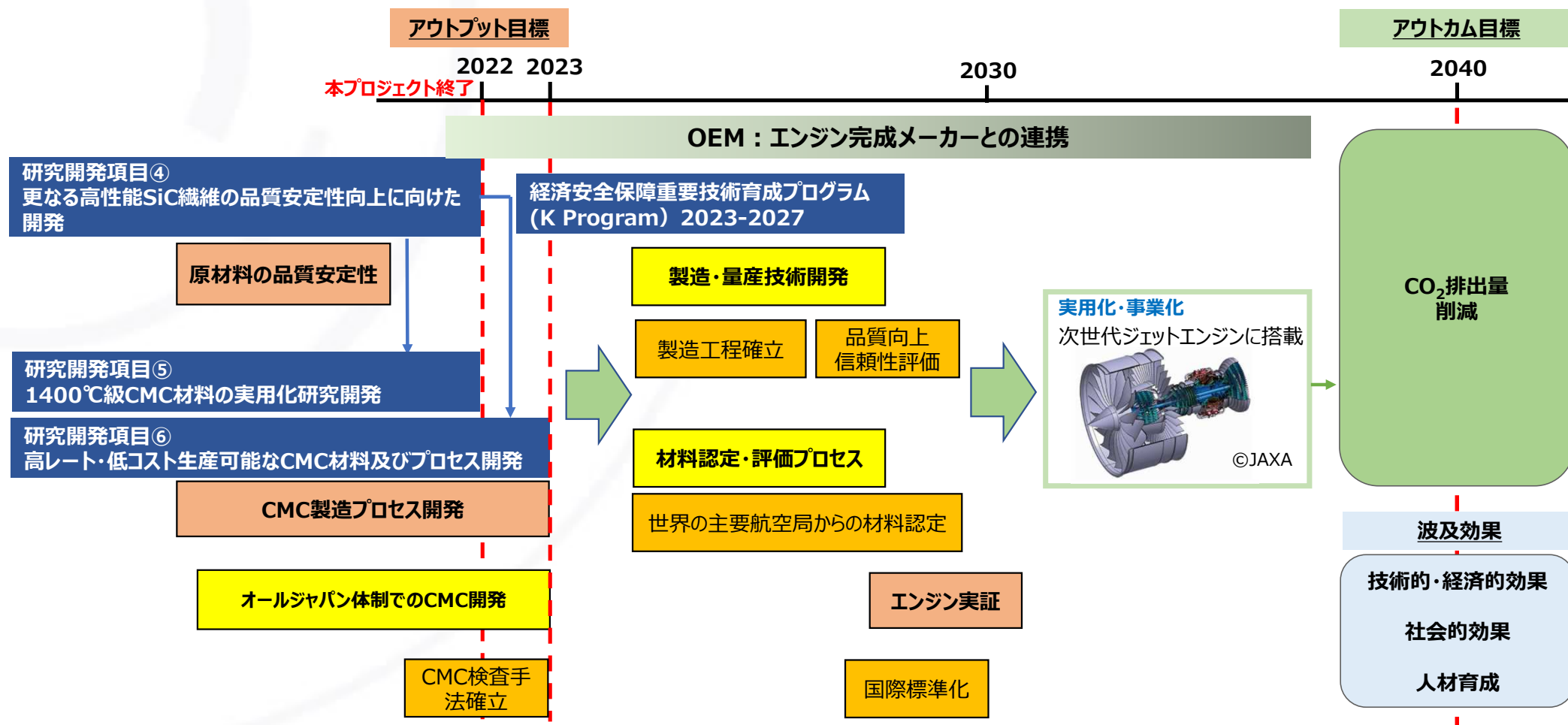
- ・水素航空機向けコア技術開発
- ・主要構造部材の複雑形状、飛躍的軽量化開発



### クリーンエネルギー分野における革新的技術の国際共同研究開発事業/セラミックス基複合材料 (CMC)の信頼性保証手法開発

- ・CMCの損傷許容性について複数の検査項目を複数の検査技術で評価する新手法の開発
- ・国際共同研究により、国際的に認知された方法へ発展させ、方法論や測定装置の国際標準化を目指す

# アウトカム（社会実装）達成までの道筋



# 知的財産・標準化戦略

## ●助成事業

**NEDOのルールに従い、助成事業の実施により得られた知的財産等の研究成果は助成先に帰属することから、NEDOによる指示は実施せず事業者に委ねる。**

## ●オープン・クローズ戦略

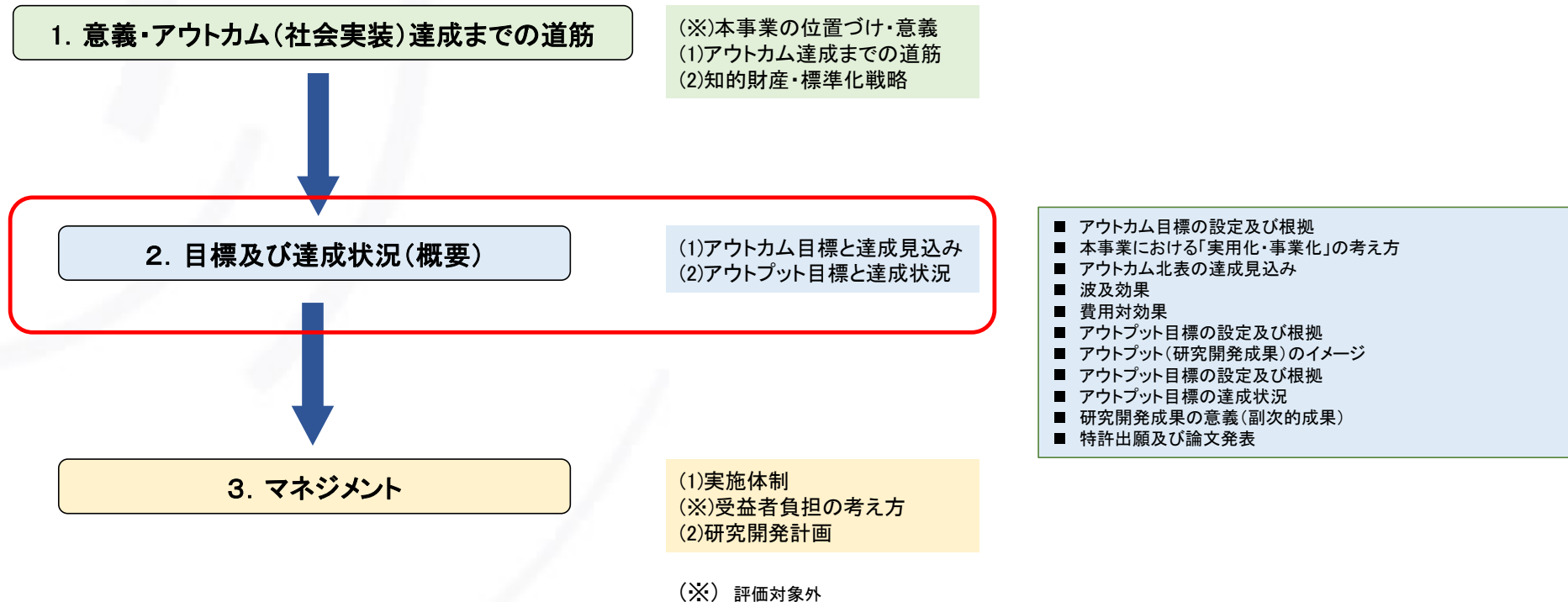
**基礎的で広く産業の発達に寄与する技術は公開  
(特許/論文など)  
実用化技術(設計情報)は非公開  
(ノウハウ秘匿or限定開示)**

## ●知的財産権の帰属

項目	委託(共同研究含む)	補助・助成
事業の主体	NEDO	事業者
事業の実施者	委託先	事業者
取得資産の帰属	NEDO (約款20条1項該当)	事業者
事業成果 (知的財産権)の帰属	NEDO バイドール条項遵守の 場合は委託先帰属 (注)	事業者
収益納付	なし	あり

(注) 実証事業及び調査事業の委託では、約款上バイドール条項に関する規定はない。

NEDO Web 掲載「知的財産権に関する説明資料(2022年7月版)抜粋

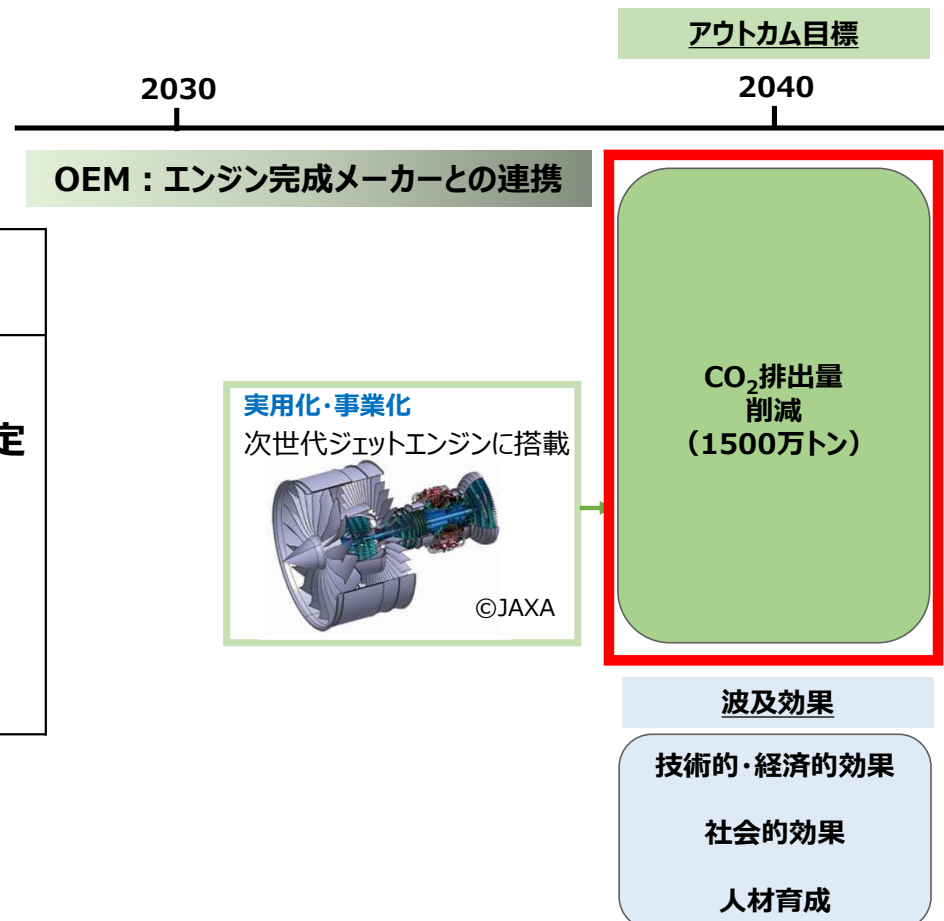


## <評価項目 2> 目標及び達成状況

- (1)アウトカム目標及び達成見込み
- (2)アウトプット目標及び達成状況

# アウトカム目標の設定及び根拠

アウトカム目標	根拠
<p>本事業で開発した成果（CFRP及びCMC）が、次世代航空機に搭載され<b>2040年</b>において、CO2排出量を<b>1500万トン/年</b>削減する。</p>	<p>2040年の次世代航空機を6000機と想定うち50%程度CMC材料が採用されると<b>CMC事業で約600万トン削減可能。</b>その他CFRP事業で、約900万トン削減。合算で1500万トン削減する。</p>



## 本事業における「実用化・事業化」の考え方

プロジェクト類型	実用化・事業化の考え方
標準的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に、 <b>事業化</b> まで達することを旨とする研究開発
基礎的・基盤的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に（もしくはそれ以上の期間で）、 <b>実用化</b> まで達することを旨とする研究開発
知的基盤・標準整備等の研究開発	知的基盤・標準整備等を目的としており、研究開発成果による <b>事業化・実用化</b> を目標としない事業



## アウトカム目標の達成見込み

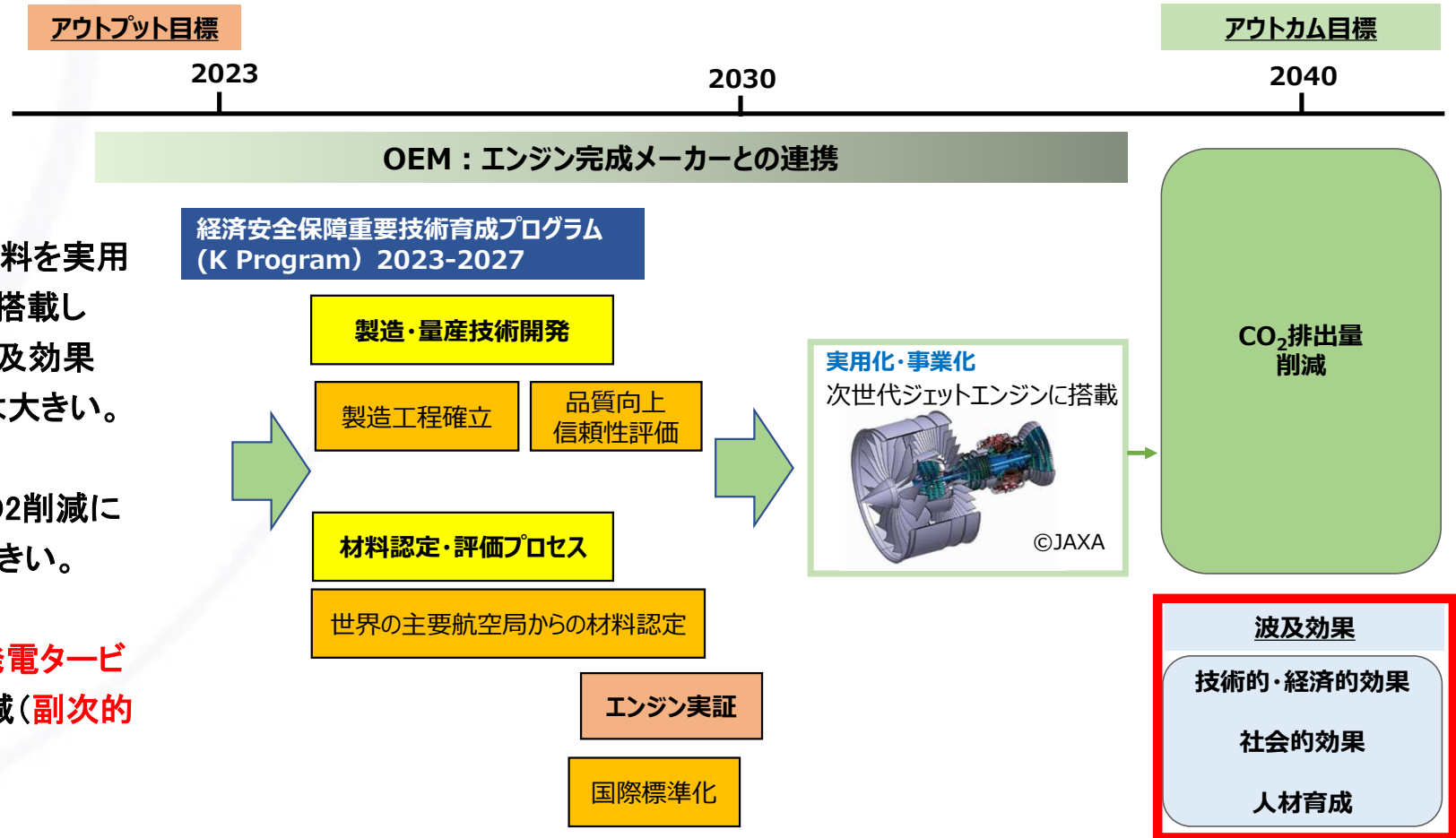
	現状の課題	達成見込み
製品イメージ	海外OEMのニーズを満足させるため、世界の主要航空局からの材料認定が課題	経済安全保障重要育成プログラムなどを通じ材料認定は達成見込み
競合技術	性能面での優位性はあるが、低コスト施工技術に課題	経済安全保障重要育成プログラムなどを通じ他社を凌ぐ1400℃級のCMC部材の量産化による低コスト化を達成し、商品化を行う見込み
量産化	量産化技術とコスト競争力の確立	経済安全保障重要育成プログラムなどを通じ量産化技術を達成見込み



次世代航空機に搭載され**2040年**において、CMC事業としてCO2排出量を**600万トン/年**削減を目指す。

# 波及効果

- **他社を凌ぐ1400°C級CMC材料を実用化し、次世代ジェットエンジンに搭載しシェアを拡大していくと、その波及効果(技術的、経済的、人材育成)は大きい。**
- **実用化・事業化において、CO2削減に大きく寄与され社会的意義も大きい。**
- **航空分野以外の発電分野(発電タービンなど)への適用によりCO2削減(副次的成果)も期待される。**



## 費用対効果

本プロジェクトの総費用	63億円* <sup>1</sup> (2020～2024年)
2040年のCO <sub>2</sub> 排出削減量	CO <sub>2</sub> 排出削減量1500万トン* <sup>2</sup>
2040年での市場創出効果	機体3.2兆円 + <b>エンジン1000億円獲得</b>

\* 1 研究開発項目①～⑥の総費用、研究開発項目④～⑥は、19億円

\* 2 研究開発項目①～⑥の総削減量、2040年の新型機の細洞機を6000機と想定  
(570万キロリットルの原油削減に相当。費用削減効果1960億円)

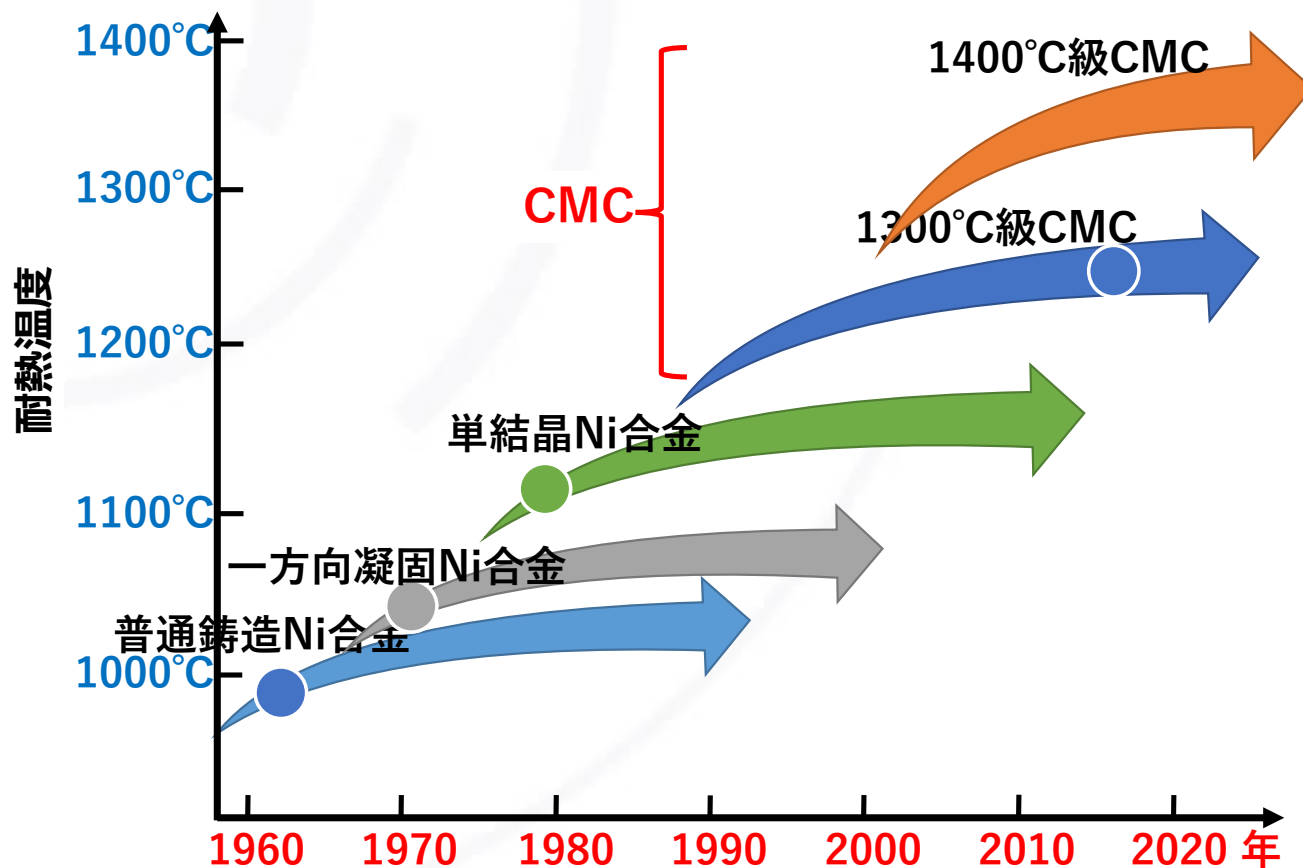
## アウトプット目標の設定及び根拠(前身事業等)

### 【アウトプット目標】

- 引張強度**3.0GPa**以上、**2700°F (1482°C)** ×400時間曝露後、強度低下**20%以下**を満足し、高温クリープ特性に優れるSiC繊維を開発する。
- マトリックス、製織の方法、耐環境性コーティングの最適化を実施して、**CMASの存在する環境下**で、室温引張強度**300MPa**以上、**1400°C**×400時間曝露後、強度低下**20%以下**を満足するCMC部材を開発する。
- 製織工程の高速化、CVI工程、PIP工程の短時間化を達成して、耐熱温度**1400°C**のCMC部材について、現行と比較して生産レート**10倍**向上を可能とする材料及びプロセス技術を開発する。

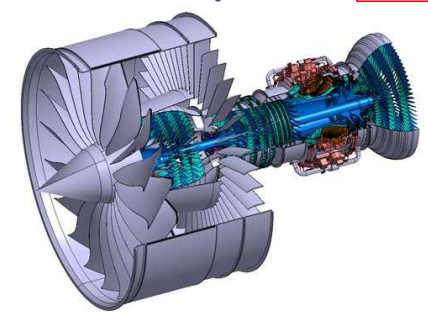
前身プロジェクト (次世代構造部材創製・加工技術開発)	取組の成果とその評価
<p>2015～2019年度の前身プロジェクトにおいて、軽量耐熱複合材CMC技術開発を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高性能SiC繊維の開発 (引張強度<b>3.0GPa</b>以上、高温クリープ特性に優れるSiC繊維開発)</li> <li>• CMC材料の開発 (室内引張強度<b>200MPa</b>以上、<b>1400°C</b>×400時間暴露後強度低下<b>20%以下</b>を満足)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 合成したポリマーの繊維化を実施し、引張強度<b>3.0GPa</b>以上のSiC繊維が得られた。</li> <li>• 左記条件を満足するCMC材料を開発した。</li> </ul>

# アウトプット(研究開発成果)のイメージ(全体像)



- 1400°C級CMCの開発
- 各種CMC製法の確立 (CVI法、PIP法、MI法<sup>\*1</sup>)
- 品質向上、高レート化

エンジン部材へ適用



\*1)  
 CVI : 化学気相含浸法 (Chemical Vapor Infiltration) 耐熱性に優れる。  
 PIP : ポリマー含浸焼成法 (Polymer Impregnation and Pyrolysis)  
 MI : 溶融金属含浸反応法 (Melt Infiltration) 量産性に優れる。

## アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠

研究開発項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	
④超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発	→			最終目標	
⑤(1)1400℃級CMC材料の実用化研究開発	→				最終目標
⑤(2)1400℃級CMC材料の実用化研究開発	→				
⑥高レート・低コスト生産可能なCMC材料及びプロセス開発	→				最終目標

研究開発項目	最終目標（2022年3月）	見直し根拠
④ (UBE株式会社)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・引張強度3.0GPa以上、2700°F（1482℃）×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足し、高温クリープ特性に優れるSiC繊維を開発する。</li> <li>・SiC繊維の特性ばらつきを抑制する製造技術を確立する。</li> </ul>	—
⑤(1) (株式会社IHI、シキボウ株式会社)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マトリックス、製織の方法、耐環境性コーティングの最適化を実施して、CMASの存在する環境下で、室温引張強度300MPa以上、1400℃×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足するCMC部材を開発する。</li> </ul>	—



## アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠

研究開発項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	
④超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発	→			最終目標	最終目標
⑤(1)1400℃級CMC材料の実用化研究開発	→				
⑤(2)1400℃級CMC材料の実用化研究開発	→				
⑥高レート・低コスト生産可能なCMC材料及びプロセス開発	→				最終目標

研究開発項目	最終目標 (⑤(2)2023年3月、⑥2024年3月)	見直し根拠
⑤(2) (三菱重工航空エンジン株式会社)	・生産性の高いMI法において、新規界面コーティングの開発とUD積層構造・マトリックス形成の最適化を行い、室温引張強度300MPa以上、室温弾性率200GPa以上、1400℃×400時間暴露後の室温での弾性率低下が製造後の30%以内を達成するCMC部材を開発する。	—
⑥ (川崎重工業株式会社)	製織工程の高速化、CVI工程、PIP工程の短時間化を達成して、耐熱温度1400℃のCMC部材について、現行と比較して生産レート10倍向上を可能とする材料及びプロセス技術を開発する。	最終目標は同一 実施期間見直し

## アウトプット目標の達成状況

### 研究開発項目④

#### UBE株式会社

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

研究開発項目	目標	成果（実績）概要 （2023年3月時点）	達成度	達成の根拠／ 解決方針
④	<ul style="list-style-type: none"> <li>引張強度3.0GPa以上、2700°F（1482℃）×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足し、高温クリープ特性に優れるSiC繊維を開発する。</li> <li>SiC繊維の特性ばらつきを抑制する製造技術を確立する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>最適ポリマー組成を決定し、製造条件を確立することにより、強度、耐熱性、高温クリープ特性について目標を達成した。</li> <li>ポリマー合成、紡糸技術について、繊維中の欠陥を低減する技術を確立し、繊維強度のばらつきを低減することができた。</li> </ul>	○	当初の目的通り異物低減を図ることにより、強度の向上とばらつきの低減を確認できた。



# アウトプット（研究開発成果）のイメージ

## ポリマー合成技術の開発、紡糸技術の開発



新規建設開発棟



ポリマー合成開発設備



紡糸開発設備



試作したSiC繊維

- ・精密反応制御技術を確立
- ・異物/ゲルの低減が可能な生産技術を確立
- ・SiC繊維の強度改善及びばらつき低減を達成

# アウトプット目標の達成状況

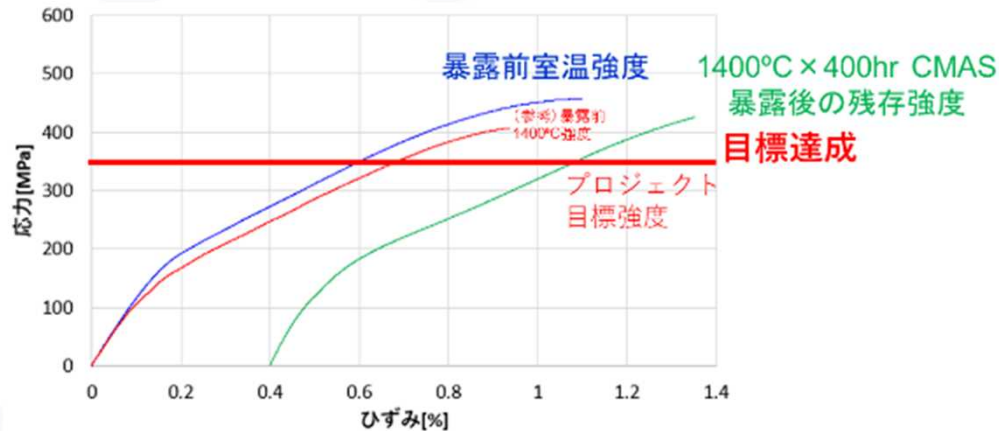
## 研究開発項目⑤(1)

### 株式会社IHI、シキボウ株式会社

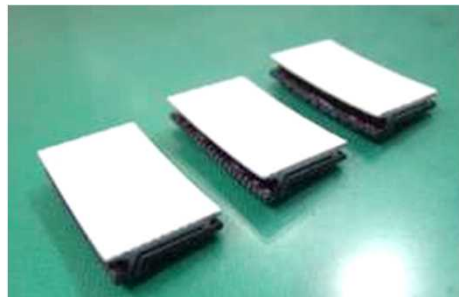
◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

研究開発項目	目標	成果（実績）概要 （2023年3月時点）	達成度	達成の根拠／ 解決方針
⑤ (1)	・マトリックス、製織の方法、耐環境性コーティングの最適化を実施して、CMASの存在する環境下で、室温引張強度300MPa以上、1400℃×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足するCMC部材を開発する。	<p>【株式会社IHI】 製織仕様の見直しおよびマトリックス含浸条件の改善・最適化により材料中の欠陥を大幅に低減した。耐環境コーティングについては従来材に比べて飛躍的に耐CMAS性が向上する新組成を見出した。これらを組み合わせて材料を評価した結果、CMAS存在下の室温強度：494MPa、CMAS暴1400℃×400時間後の強度低下：17%となり、目標達成を確認した。また、当該CMCにて高圧タービンシュラウドを製作し、JAXA F7エンジンに搭載して、エンジン試験実証も完了させた。</p>	◎	材料強度がアウトプット目標を達成したのみならず、当該材料による高圧タービン部品を搭載したエンジン試験実証も完了
		<p>【シキボウ株式会社 製織】 高性能SiC繊維を用いたニアネットシェイプでの三次元プリフォームについて、製法開発を行いXY積層・Z挿入について自動化装置を製作、試作に成功した。過去のNEDO事業（委託）にて、同じく高性能SiC繊維を用いたVf（体積当たりの繊維含有率）30%以上の平板形状三次元プリフォーム製法の開発に成功していたが、今回ニアネットシェイプでの三次元プリフォームについても同等Vfを達成した。</p>	○	目標形状・Vfにてプリフォーム製作に成功、繊維配向も設計どおりとなっている事を確認した。

# アウトプット（研究開発成果）のイメージ



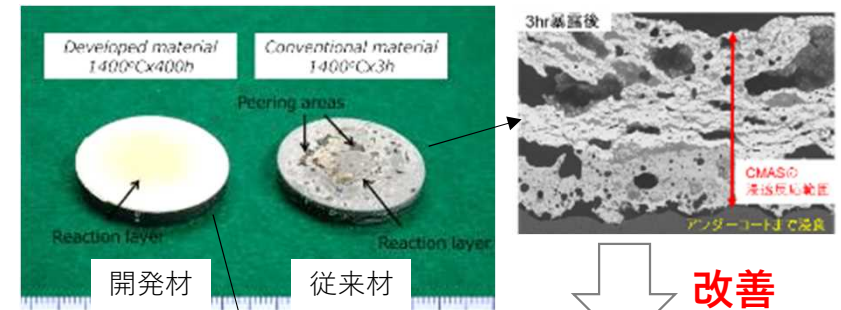
アウトプット目標「CMASの存在する環境下で室温引張強度300MPa以上、1400°C×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足するCMC」を達成



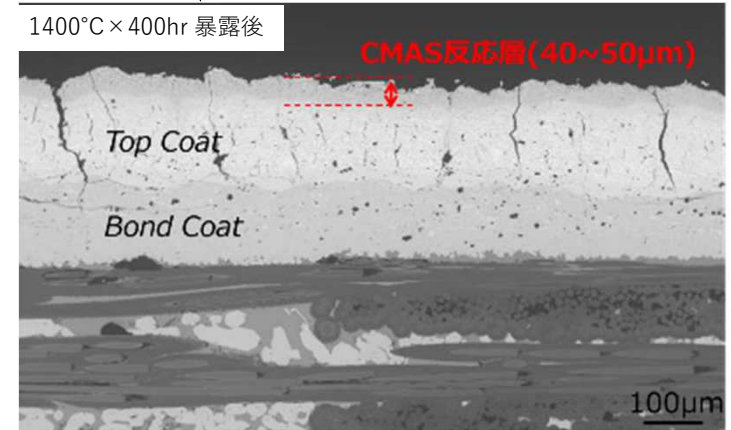
開発したCMCで高圧タービンシュラウドを試作 JAXA F7エンジンに搭載してエンジン試験を実施 計画通り試験を完了し、試験後のCMCシュラウドの評価を完了



国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



改善



1400°Cで耐CMAS性\*を有する新たな耐環境コーティング（EBS）を開発 従来EBCは3時間の曝露でも激しく損傷していたが、新開発EBCは400時間曝露後でも剥離なく、CMASとの反応が表層に限られている。

(\* CMAS：エンジンに吸い込んだ砂等が高温で溶融してコーティングを腐食させる問題。中国・インド・中東での運航増加に伴い、近年大きな課題となっている)

## アウトプット（研究開発成果）のイメージ

脆性的な特性を持つ高性能SiC繊維に対して、製織性を向上させるコーティング剤の開発と、その施工プロセスについて開発・自動化を行った。

また繊維状態によらない三次元プリフォーム製法の開発を行い、複数の製法にて目標通りの形状・Vfでの三次元プリフォーム製作に成功した。



繊維コーティング・カット装置



目標形状を模擬したニアネットシェイプでの三次元プリフォーム試作品

# アウトプット目標の達成状況

## 研究開発項目⑤(2)

三菱重工航空エンジン株式会社

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

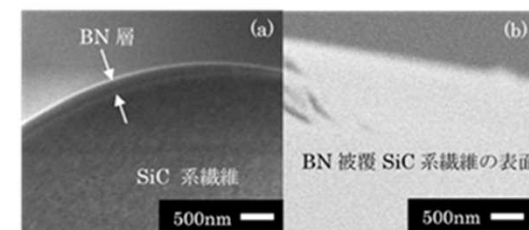
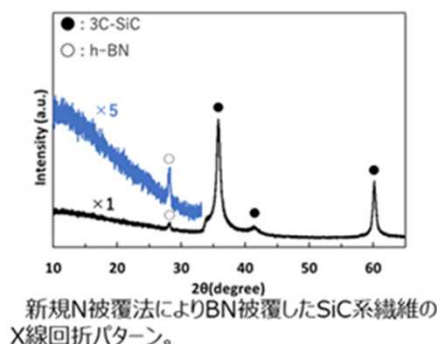
研究開発項目	目標	成果（実績）概要 （2023年3月時点）	達成度	達成の根拠／ 解決方針
⑤ (2)	・生産性の高いMI法において、新規界面コーティングの開発とUD積層構造・マトリックス形成の最適化を行い、室温引張強度300MPa以上、室温弾性率200GPa以上、1400℃×400時間暴露後の室温での弾性率低下が製造後の30%以内を達成するCMC部材を開発する。	新規界面コーティング繊維とSi含浸マトリックスを組み合わせたCMC特性は、破断応力は303MPaで、弾性率は294GPaで、目標とする強度特性が得られた。また、1400℃×400Hr大気暴露後の弾性率低下は8%で目標達成できていることを確認した。	○	エンジン部材のCMCに必要な強度特性が得られた。

# アウトプット（研究開発成果）のイメージ

要素技術	成果
新規界面コーティング技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>BNコーティング（膜厚<math>\geq 300\text{nm}</math>）の組織制御条件を設定。</li> <li>コーティング処理による繊維強度維持率90~100%。</li> </ul>
MI緻密マトリクス技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>UD積層材への緻密マトリクス形成条件を設定</li> <li>マトリクスのポイド10vol%以下，余剰Si 15vol%以下を達成。</li> </ul>
CMC特性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>室温引張強度300MPa以上，室温弾性率200GPa以上を達成。</li> <li>大気暴露後の室温での弾性率低下は，製造後の8%を達成。（製造後の弾性率289GPa，大気暴露後の弾性率266GPa）</li> </ul>

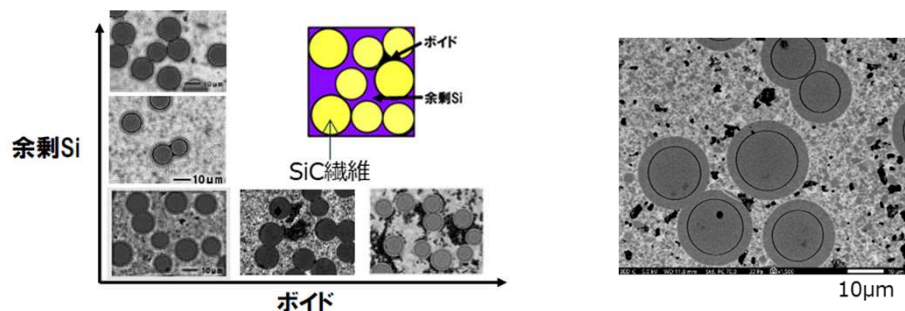
## 新規界面コーティング（BN）の特徴

- ①原料は毒性・腐食性がなく、室温で安定。
- ②副生成物は水素のみ。
- ③従来法に比べ、低温で結晶性の高いBN層の被覆が可能、結晶組織の制御が容易



新規N被覆法によりBN被覆したSiC系繊維のSEM観察結果 (a)断面写真、(b)表面写真

## MI緻密マトリクスでのマトリクス形成条件探索



余剰Si・ポイドの増減の関係性確認

代表的なCMC断面のSEM写真

# アウトプット目標の達成状況

## 研究開発項目⑥

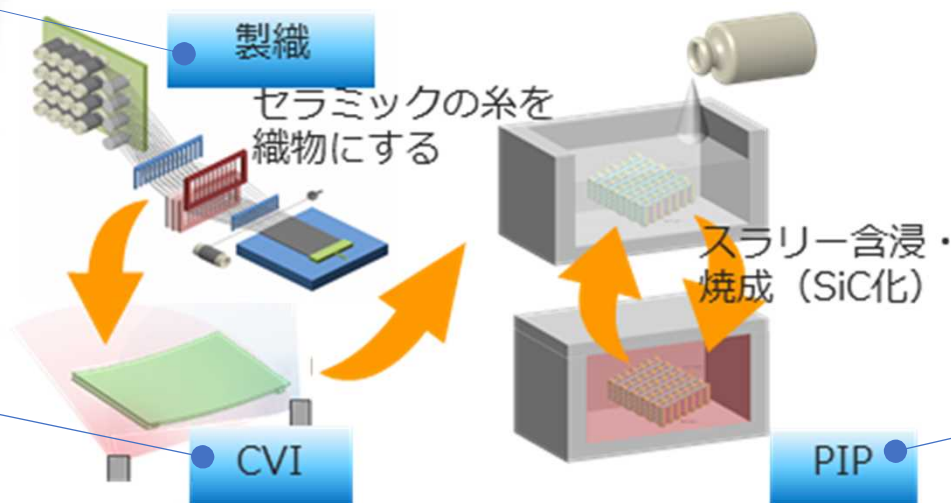
川崎重工業株式会社

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

研究開発項目	目標	成果（実績）概要 （2023年11月時点）	達成度 （見込み）	達成の根拠/ 解決方針
⑥	製織工程の高速化、CVI工程、PIP工程の短時間化を達成して、耐熱温度1400℃のCMC部材について、現行と比較して生産レート10倍向上を可能とする材料及びプロセス技術を開発する。	<p>下記の項目について技術開発を実施した。</p> <p>① CMC用セラミックス繊維プリフォーム(4倍) 異常監視自動化及び サイジング条件改善：レート4倍</p> <p>② CVI 繊維界面コーティング形成(5倍) バッチ当たり炉詰数3倍：レート3倍 副生成物対策によるメンテ時間減でのバッチ数増：レート1.5倍</p> <p>③ マトリックス形成(2.5倍) スラリー改良により回数半減：レート2倍 含侵条件最適化：含侵工程レート3倍 余剰樹脂作業機械化：除去作業時間60%以上減</p> <p>④ 燃焼器パネル部材向けCMC要求特性の検討 開発したCMCの特性が要求特性を満たすことを確認</p>	○ 2024年 3月に 達成予定	<p>ボトルネック工程の事業開始前生産レートを基準に、全工程の生産レートを10倍とすることが目標。事業開始前のボトルネック工程は②であり、この工程が現在5倍に出来ることを確認済み。</p> <p>残り期間で②工程のバッチ当たり炉詰数を現状から2倍とすることで、10倍向上を達成する予定。</p>

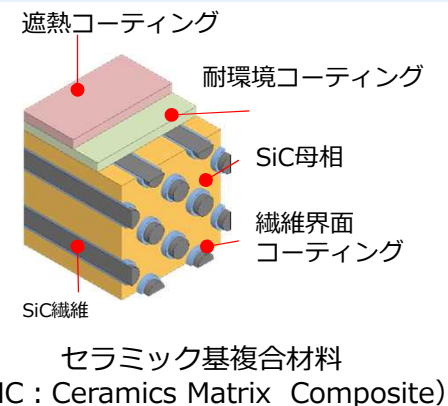
# アウトプット（研究開発成果）のイメージ

1. プリフォームの高レート製造技術開発

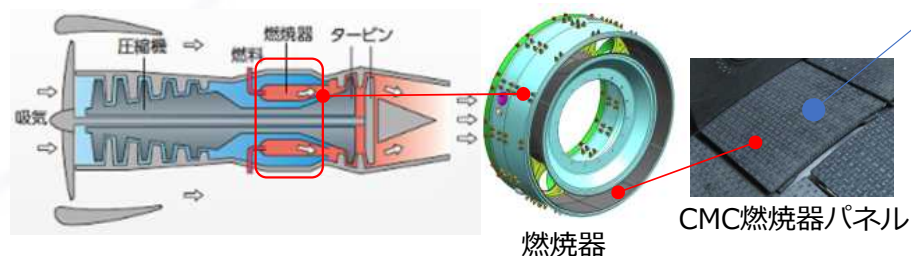


2. CVI工程の高レート・低コスト製造技術開発

3. PIP工程の高レート・低コスト製造技術開発



4. 燃焼器パネル部材向け CMC要求特性の検討





## 研究開発成果の意義(副次的成果)

### 研究開発成果の意義

- ・ **ALL JAPAN**(SiC繊維、成形・積層製織、CMC製品化)で取組
- ・ CMCの**各種マトリックス含浸手法**(CVI、PIP、MI)での取組
- ・ 他社を凌ぐ1400°C級のCMC開発。**量産化/実用化に向けての目途付け**

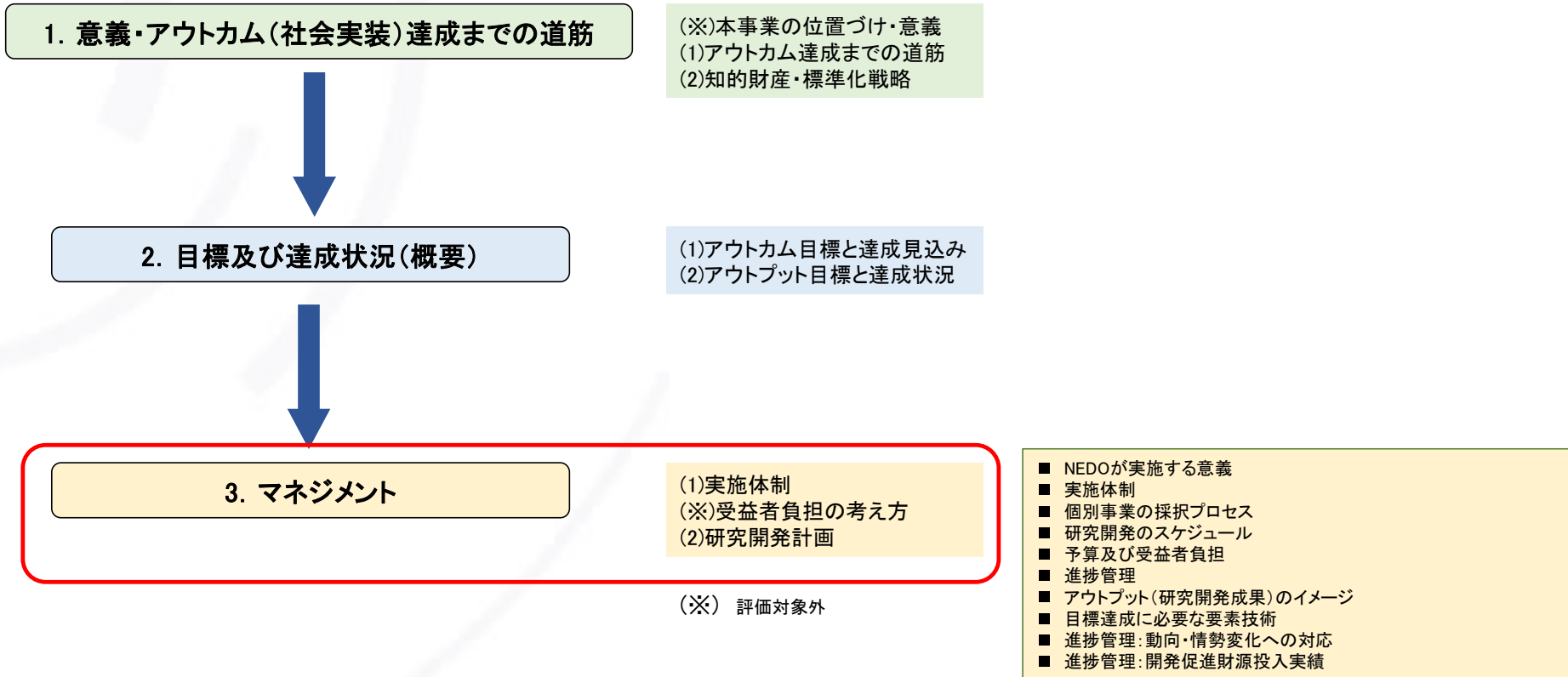
### 副次的成果

- ・ 航空分野以外の様々な分野(例:**発電用ガスタービン**など)での適用における基盤技術となることが想定される。

## 特許出願及び論文発表

※2023年11月30日現在

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	0	2 (1)	3 (1)	5 (2)
論文	0	1	1	2	4
研究発表・講演	0	2	14	9	25
受賞実績	0	0	1	0	1
新聞・雑誌等への掲載	0	2	2	0	4
展示会への出典	0	1	3	0	4

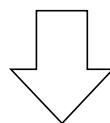


## ＜評価項目 3＞ マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 研究開発計画

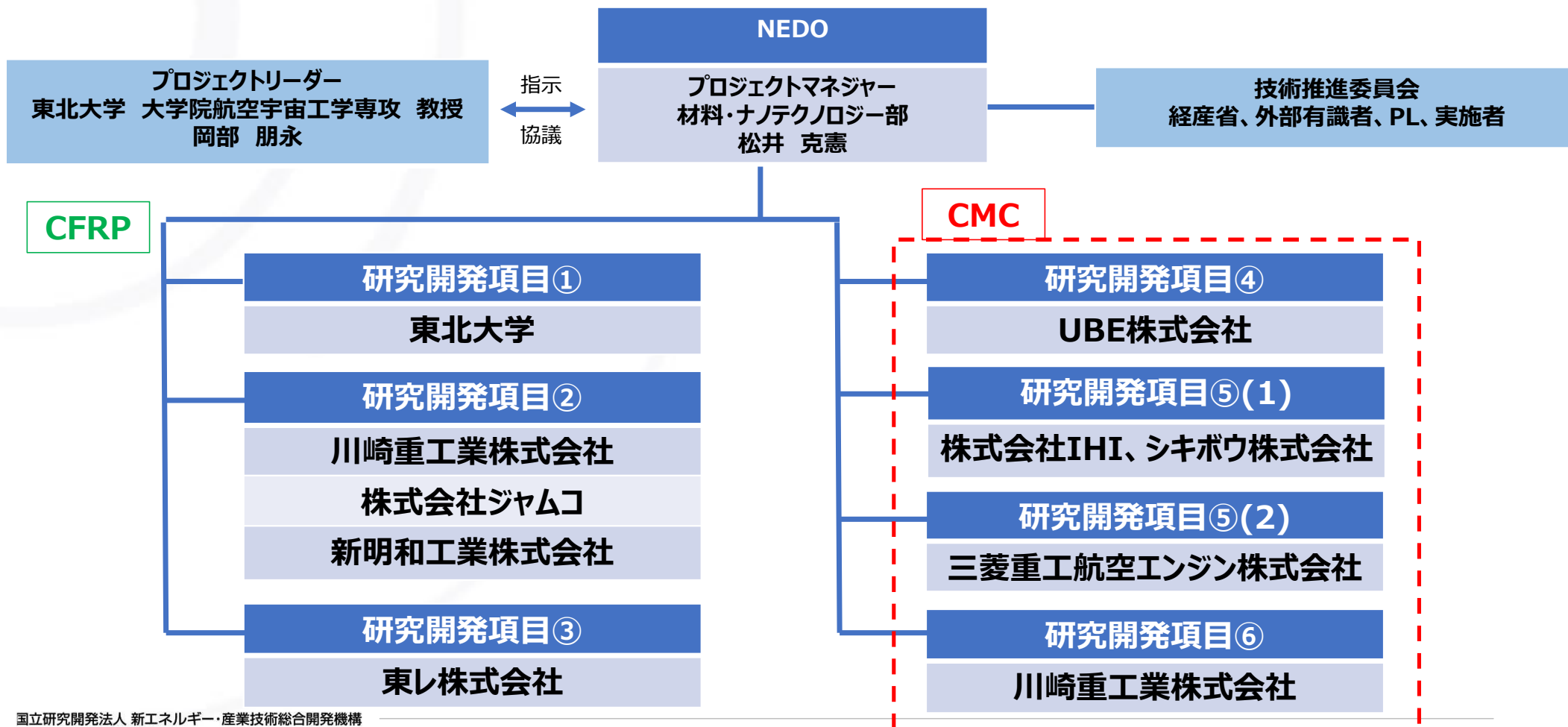
## NEDOが実施する意義

- NEDOは、第四期中期計画においては、「**成果の社会実装によりエネルギーの安定的・効率的な供給の確保及び経済・産業の発展に資する研究開発プロジェクトを推進する。**」ことを掲げている。
- 本プロジェクトの狙いは、産業構造の裾野が広い**航空機産業の国際競争力を維持・拡大し**、これらを他産業分野へ波及させることにより、**輸送機器をはじめとした様々な分野における製品の高付加価値化を進めることで日本の主要産業の競争力を強化し、新たな産業創成を目指すものであることから、NEDOのミッションと合致する。**さらに、**素材開発から材料、部材と航空機に採用されるまでには長い研究開発期間を要するためリスクが大きく、また単独企業での開発ではなく産学官の密接な連携の下で激化する厳しい国際的な産業競争に勝つ必要があることから、NEDOプロジェクトとしての実施が妥当である。**



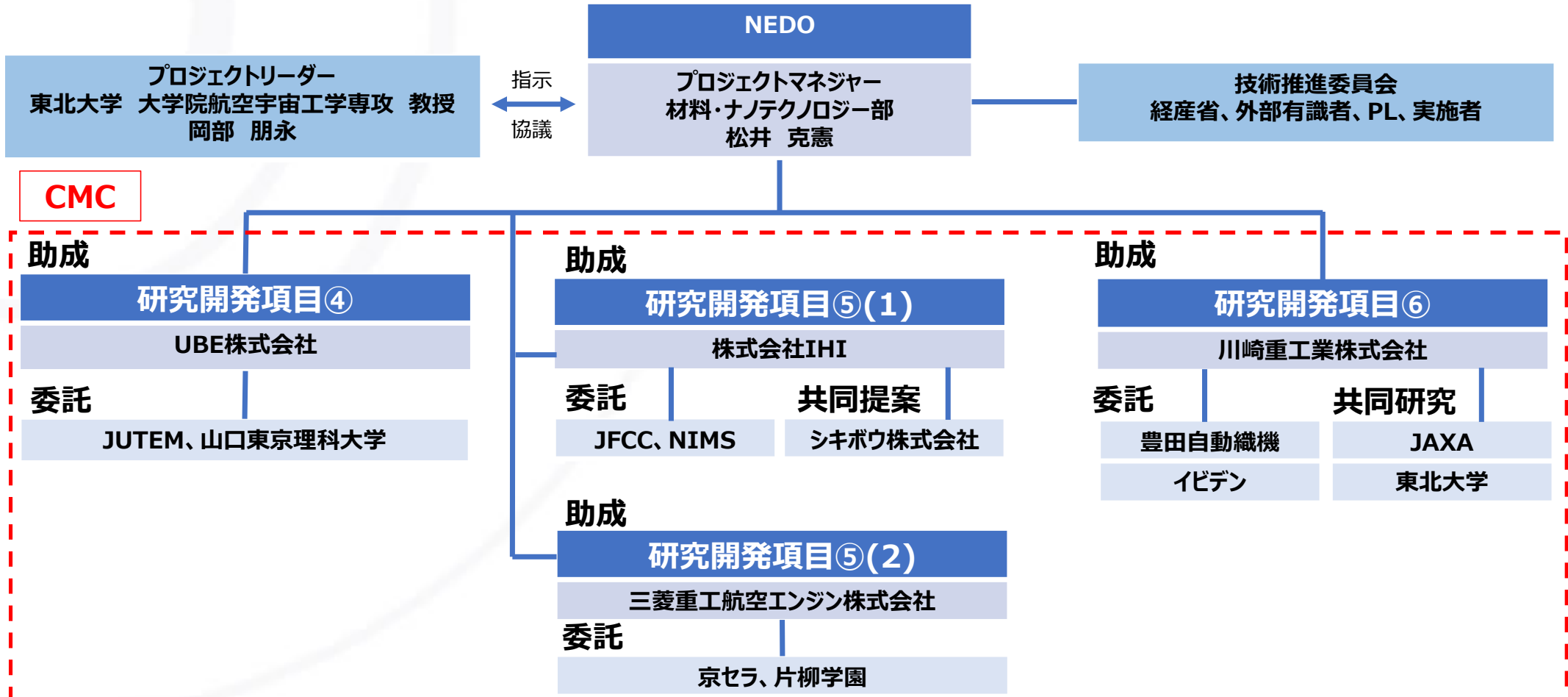
**NEDOが保有する知識・実績を活かして推進すべき事業**

# 実施体制 (責任体制) (「次世代複合材創製・成形技術開発」PJ全体)





# 実施体制 (責任体制) (CMC事業)



## 実施体制（実施者間での連携）

# 1400°C級CMC材料の研究開発

### 原材料：SiC繊維の開発

研究開発項目④

UBE株式会社



### 成形・積層技術開発

研究開発項目⑤(1)

シキボウ株式会社

研究開発項目⑤(2)

京セラ、片柳学園

研究開発項目⑥

豊田自動織機

### 1400°C級CMC製作

研究開発項目⑤(1)

株式会社IHI

研究開発項目⑤(2)

三菱重工航空エンジン株式会社

研究開発項目⑥

川崎重工業株式会社

**ALL JAPANでの研究開発**



## 個別事業の採択プロセス

### ■ 2020年度開始事業

1. 対象：研究開発項目④⑤(1)⑥  
・「次世代複合材創製・成形技術開発」
  2. 公募：  
・公募予告 (2/7) ⇒公募 (3/10) ⇒公募〆切 (4/20)
  3. 採択：  
・採択審査委員会 (4/21～5/1) (書面審査)  
・審査項目：NEDOの標準的採択審査項目で実施した。  
①提案者の評価 (事業遂行能力の適合性、実施体制の妥当性)  
②提案内容の評価 (技術開発計画の妥当性、優位性・新規性、実現可能性)  
③成果の実用化 (実用化・事業化計画の妥当性、優位性)
- ・採択条件
- |            |              |
|------------|--------------|
| 研究開発項目④    | ： 予算の精査をすること |
| 研究開発項目⑤(1) | ： 特になし       |
| 研究開発項目⑥    | ： 特になし       |
- ・留意事項  
研究の健全性・公平性の確保に係る取組；公募の際にその他の研究費の応募・受入状況を確認し、不合理な重複及び過度の集中がないか確認した。

### ■ 2021年度開始事業

1. 対象：研究開発項目⑤(2)  
・「次世代複合材創製・成形技術開発」
  2. 公募：  
・公募予告 (1/27) ⇒公募 (3/1) ⇒公募〆切 (4/6)
  3. 採択：  
・採択審査委員会 (4/26)  
・審査項目：NEDOの標準的採択審査項目で実施した。  
①提案者の評価 (事業遂行能力の適合性、実施体制の妥当性)  
②提案内容の評価 (技術開発計画の妥当性、優位性・新規性、実現可能性)  
③成果の実用化 (実用化・事業化計画の妥当性、優位性)
- ・採択条件  
研究開発項目⑤(2)：特になし
- ・留意事項  
研究の健全性・公平性の確保に係る取組；公募の際にその他の研究費の応募・受入状況を確認し、不合理な重複及び過度の集中がないか確認した。

# 研究開発のスケジュール

研究開発項目	2020FY	2021FY	2022FY	2023FY	2024FY	2025FY
<b>研究開発項目①</b> (委託事業) 東北大学	①複合材時代の理想機体構造を実現する機体設計技術の開発					終了時評価
			中間評価			
<b>研究開発項目②③</b> (助成事業) (CFRP) ②新明和工業 ジャムコ 川崎重工業 ③東レ	②熱可塑性CFRPを活用した航空機用軽量機体部材の高レート成形技術の開発 ③航空機部品における複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発					終了時評価
<b>研究開発項目④⑤⑥</b> (助成事業) (CMC) ④UBE ⑤(1)IHI/シキホウ ⑤(2)三菱重工航空エンジン ⑥川崎重工業	④超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発 ⑤(1)1400℃級CMC材料の実用化研究開発 ⑤(2)1400℃級CMC材料の実用化研究開発 ⑥高レート・低コスト生産可能なCMC材料及びプロセス開発					▼アウトプット最終目標  終了時評価

CMC

## 予算及び受益者負担

### ◆予算

研究開発項目		補助率	NEDO負担額（単位：百万円）				
			2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	合計
④	超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発	50%	121	330	183	—	634
⑤(1)	1400℃級CMC材料の実用化研究開発	50%	137	218	200	—	555
⑤(2)		50%	—	46	44	—	90
⑥	高レート・低コスト生産可能なCMC材料およびプロセス開発	50%	145	105	230	175	655
合計			403	699	657	175	1,934

### ◆助成事業の理由

技術的な難易度が高く、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進すべき研究開発であることから、助成事業として実施する。

## 進捗管理

名称	参加者	目的	開催頻度
来期計画説明会	PL,事業者,NEDO	各年度末に次年度計画を確認し、方針決定する	年1回
技術委員会&サイトビジット	PL,事業者,NEDO	研究開発の進捗状況の確認及び現場にて技術者と意見交換する <b>助成先の委託先もPLと訪問し意見交換</b>	適宜
予算執行状況調査	書面	研究開発が計画通り実施されているか予算面から確認する	毎月
四半期報告会	NEDO	NEDO担当理事に懸案事項/課題解決状況を報告する	四半期毎
技術推進委員会	技術推進委員,経産省,PL,事者,NEDO	外部有識者と研究開発の方向性を議論する	年1回程度

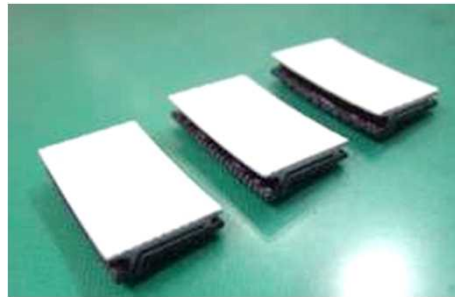
# 目標達成に必要な要素技術



SiC繊維



製織



CMC部品



エンジン実証



## 今後必要な要素技術

製造・量産技術開発

製造工程確立

品質向上信頼性評価

材料認定・評価プロセス

世界の主要航空局からの材料認定

国際標準化

## 進捗管理：動向・情勢変化への対応

日々の実施者とのコミュニケーションや情報収を通じて動向・情勢の把握を行い、**必要な計画の見直しがないか、NEDOから積極的に働きかけを行い、計画変更を柔軟・迅速に実施。**

### ■ 事業開始時に想定しなかった社会情勢への対応

事業開始時の2020年度に、「**Covid-19**」が発生、また2021年度頃から「**半導体不足**」により納期問題に直面したが、予算の見直しなど適宜実施し、最終目標に影響をしないように対応。

### ■ 委託先の設備不具合による開発への影響（研究開発項目⑥）

計画の変更と共に実施期間を1年延長して対応実施。

## 進捗管理：開発促進財源投入実績

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果・効果
【研究開発項目④】 SiC繊維品質評価装置の購入	2021年度	121	高性能SiC繊維の品質を評価するため	品質についてきめ細かく評価できるようになった。
【研究開発項目⑤】 界面コーティングに関する装置導入	2021年度 2022年度	50	製造条件確立と界面形成工程確立のため	界面コーティングに関する評価を確立可能となった。
【研究開発項目⑥】 従来原料での安全性評価 新原料でのCMC作製	2022年度 2023年度	25 45	再発防止の安全対策のため プロセス確立のため	安全対策を確立できた。 より多くの作製を実施する事によりプロセスのデータを取得出来た。