

経済安全保障重要技術育成プログラム／ 1400℃級CMC量産実証研究 (中間評価)

2023年度～2025年度 3年間

プロジェクト報告資料

2025年12月26日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

UBE株式会社

株式会社IHI

背景

- **軽量かつ高い耐熱性を有するセラミックス複合材**（CMC：Ceramic Matrix Composites）は、航空機エンジンの高温・高圧部に適用することにより、**航空機エンジンの燃費・性能を大きく向上させるゲームチェンジ技術**として国際的に注目されている。
- 我が国は、**世界最高性能である1400℃級の耐熱性を有するCMC部材の実用化に向けた技術開発を大きく進展**させているが、現状では、**性能、コスト、量産時の品質安定性に課題**がある。
- このため、**1400℃級のCMCの製造・量産技術を開発**することにより、その実用化を推進し、これまで日本が参入できていなかった航空機エンジン高温・高圧部分の開発への参画を果たすことにより、**次期民間航空機エンジン等における国際競争力及び戦略的不可欠性を獲得**する。

想定される利用ニーズ

- 2030年代半ばに市場投入が想定される**次期民間航空機用の新型エンジンの高温・高圧部**において、1400℃級CMC部材の適用が見込まれている。
- また、**航空機エンジンのほか、エネルギー分野などへの適用も期待される**。

研究開発の内容

- **1400℃級CMC材料の製造・量産技術開発**
1400℃級CMC部材の次期民間航空機用の新型エンジンへの適用に向けては、評価プロセスの実証も見据えて、品質安定性と生産性を両立し、コスト競争力を確保するための製造技術と、量産品質を保證するための検査技術を確認させる必要がある。
これらの実現に向けて、CMCの複雑形状加工技術の確立、形成工程の生産性向上、品質保証技術の高度化、耐環境コーティング施工技術等の開発を行う。
- **材料認証取得に向けた評価プロセスの実証**
CMCの航空機エンジンへの適用に向けた認証取得に当たっては、材料の構成要素・要求特性等を定義した材料規格と、その製造条件や品質保証方法等を定めた工程規格の制定のために必須となる膨大なデータの取得に加え、実環境での部品の健全性を確認するための実環境を模擬した試験での実証及び解析による予測技術の妥当性検証を行う。

想定スケジュール

	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
1,400℃級CMC材料の製造・量産技術開発	技術・手法確立、条件最適化		★	実証	
材料認証取得に向けた評価プロセスの実証	規格制定、条件設定			★	実証、試験実施

★：ステージアゲート

研究の背景： 頭打ち傾向の航空エンジンの燃費改善をCMCにより実現

民間航空機用のジェットエンジンの燃費はこの50年で49%改善。しかし近年、燃費改善は徐々に難しくなっている。このため、この状況を打破する技術の一つとしてCMCが期待されている。

IHIが開発に参画した主なエンジン

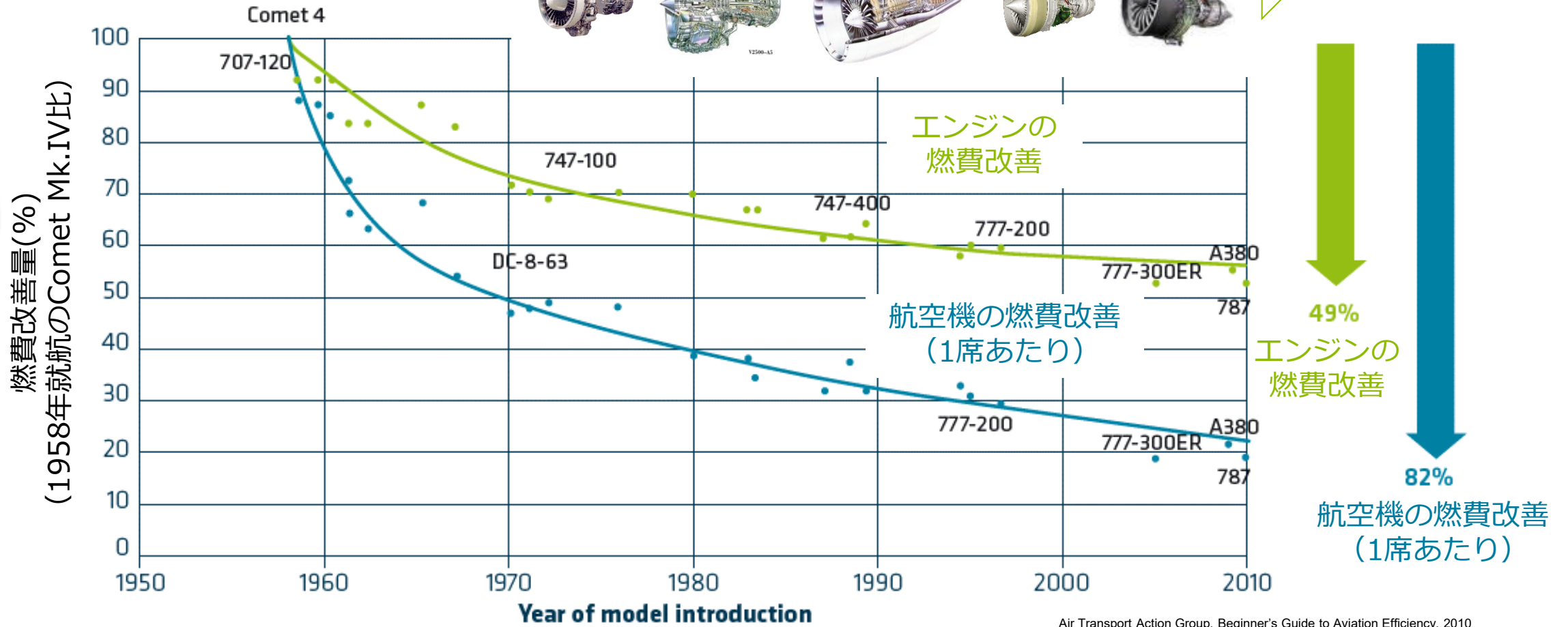
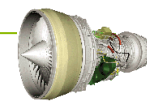
(FJR710)

V2500

GE90

CF34

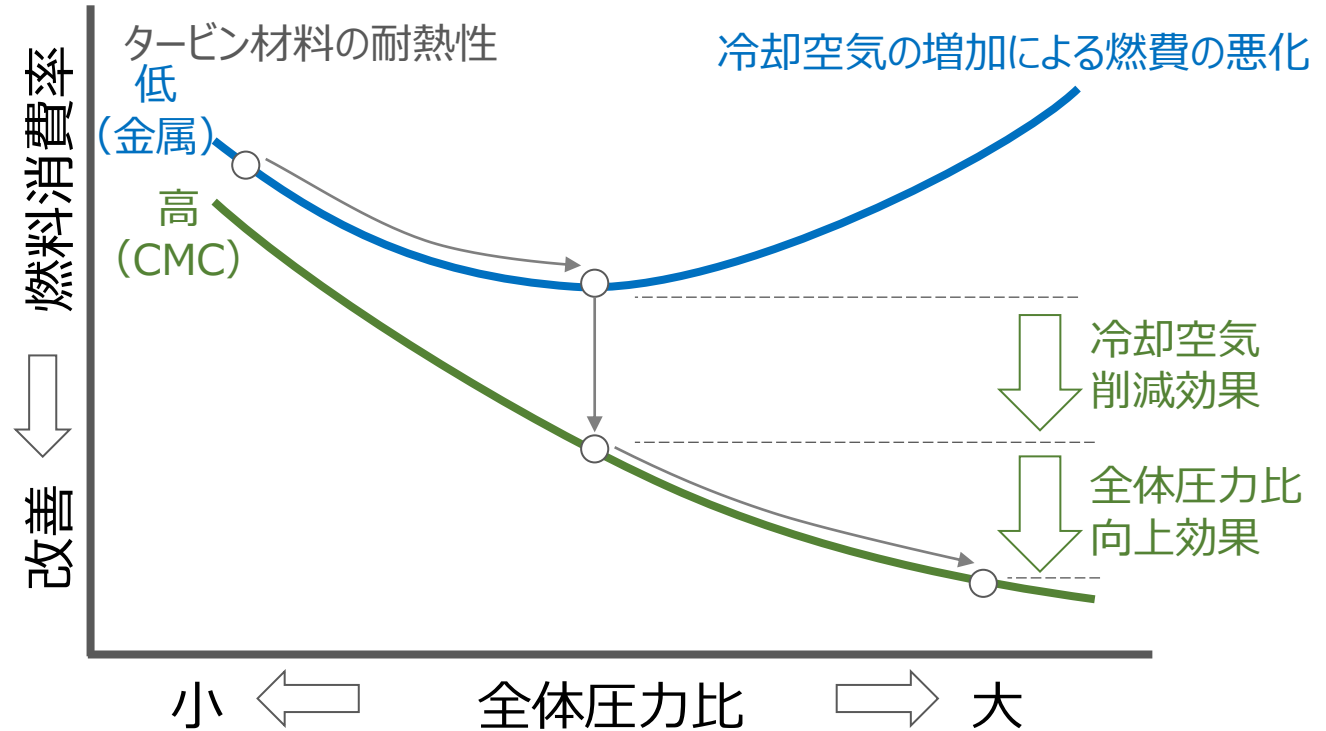
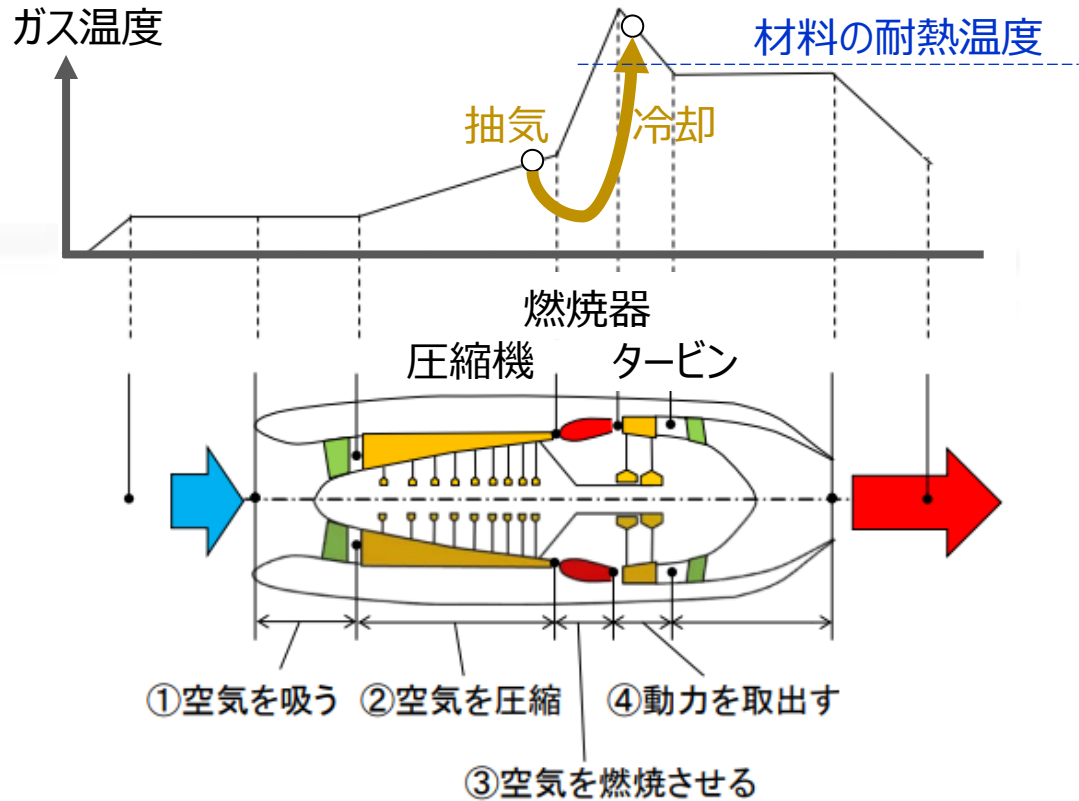
GEEnx



Air Transport Action Group, Beginner's Guide to Aviation Efficiency, 2010

CMC適用によるジェットエンジンの燃費改善

ジェットエンジンは、圧力比を大きくすることで燃費が改善する。しかしこの高圧力比化に伴い、タービン入口温度が高温となり必要な冷却空気が増加し燃費改善効果が得られなくなる。そのため、タービン部に耐熱温度が高いCMCを適用して冷却空気の増加を抑制し、高圧力比化による更なる燃費改善をはかる取組みがエンジンメーカー各社で進められている。



タービン材料の高耐熱化によるジェットエンジンの燃費改善イメージ

ジェットエンジン内のガス温度とタービンの冷却

＜評価項目 1＞ 研究開発ビジョン及び研究開発構想の実現に向けた研究開発課題の達成目標や内容の妥当性

- (1) 達成目標の妥当性
- (2) 知的財産・標準化戦略

達成目標の妥当性

下表に示す本事業の達成目標は現段階においても妥当と判断する。

項目	達成目標
CMCの品質	量産仕様の製造工程を確立し、品質・歩留まりを実証のうえ、材料規格・工程規格を制定し、世界の主要航空局の認証を得るためのプロセスを確立する。
CMCの製造性	上記規格に沿った品質を確保したうえで、量産時の製造タクトタイム5分に目途を付ける。
CMCの信頼性	確立した工程で製造したCMCの材料特性データベースを取得し、世界の主要航空局の認める統計手法に準拠して設計許容値を定める。

- ✓ 航空需要が年々拡大し続ける傾向は変わらない。
- ✓ 世界のCO2排出量の約4%は航空輸送が占めており、航空産業はCO2排出量の低減を強く要請されている。その中で、航空機エンジンに関しては燃費を改善することでCO2排出量を低減することが求められている。
- ✓ そのため、航空機エンジン部品の耐熱性を改善することで冷却空気を削減し、燃費改善／CO2排出量低減を実現するCMCの重要性に変わりはない。
- ✓ 米国、中国は依然CMC開発を続けているものと思われるが、入手可能な情報では、いまだ1400℃級CMCの実用化、量産化はなされておらず、本事業で開発する1400℃級CMCの耐熱性は優位性を維持している。
- ✓ 安定した品質で高レート生産を実現する革新的な製造技術を開発することで、民間航空機用エンジンの50%以上を占める単通路機用のエンジンの生産性への対応を可能にするとともに、材料特性のデータ取得、評価、材料規格の確立を通じて、材料認証に耐える合理的な評価プロセスを実証することが重要である。

知的財産・標準化戦略

- ✓ 「知財及びデータの取り扱いについての合意書」と「知財運営委員会運営規則」について、委託先(IHI, JAXA, UBE)および再委託先(東京農工大, 東京理科大, 東北大, 名古屋大, JUTEM)の合計8者で合意。
- ✓ 本研究で得られる知的財産権のうち, SiC繊維に関するものはUBEが, CMC製造技術に関するものはIHIが取得し, 事業化に向けて維持・活用を行う。なお、ノウハウ秘匿の観点から、現在のところ特許出願は実施していない。
- ✓ 本研究で得られる技術情報, データについては, 「データマネジメントプラン」において16種類を定義し, その管理者, 公開レベル, 秘匿期間等を設定。繊維開発の成果の一部についてUBEが1件、解析関連の成果の一部について東京農工大4件, 東京理科大3件, 名古屋大学1件の学会発表を実施。
- ✓ 本研究で得られる成果のうち, 材料の認証に関わる部分は, 規格文書, 試験技術, 統計処理を中心に積極的に標準化に関わっていく方針であり, 米国NIAR*と当該CMCの材料認定試験に関して討議中。

*National Institute for Aviation Research

＜評価項目 2＞ 研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況

- (1) 研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況（国内外との比較を含む）
- (2) 今後の見通し（多様な分野における実現可能性含む）
- (3) 指定基金協議会において合意された内容の進捗状況

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (全体進捗①)

研究開発項目①「1400℃級CMC材料の製造・量産技術開発」の各研究テーマについて下表の通り、2025年度末までに中間目標を達成または達成見込みである。各テーマの詳細進捗は別紙に示す。

研究開発項目		2025年度中間目標	進捗状況 (見込み)
研究開発項目① 1400℃級CMC材 料の製造・量産技 術開発	①-(1)SiC繊維への界面コーティング 技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> UBE 繊維で 3.8GPa 以上の繊維強度を実現し、界面施工に適した繊維製造工程を確立する。 繊維分散性を維持した状態の界面コーティング繊維を 100km/月レベルで安定して製造可能とする。 	100%
	①-(2)CMCの高速製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> プリフォームの繊維積層速度 2m/hr での製造を可能とする。 CVI 成膜速度を、副生成物の発生量を安全なレベルに維持したまま、4μm/hr レベルで製造可能とする。 	100%
	①-(3)CMCの高速加工・検査技術の 開発	<ul style="list-style-type: none"> 切削加工を7 時間で可能とする。 シール溝加工を10 時間で可能とする。 部品形状にレーザ穴明加工が可能とする。 X線 CT 検査を 4 時間で可能とする。 	(100%)
	①-(4)低コスト耐環境コーティング (EBC) 施工技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 部品形状で EBC の表面粗化等の前処理が可能とする。 	100%

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (全体進捗②)

研究開発項目②「材料認証取得に向けた評価プロセスの実証」の各研究テーマについて下表の通り、2025年度末までに中間目標を達成または達成見込みである。各テーマの詳細進捗は別紙に示す。

研究開発項目		2025年度中間目標	進捗状況 (見込み)	
研究開発項目② 材料認証取得に向けた評価プロセスの実証	②-(1)CMCの材料規格・工程規格制定と材料データベース構築	<ul style="list-style-type: none"> 300本レベルの初期材料試験を完了させ、確立した製造工程を前提とした材料規格・工程規格を発行する。 材料データベースの試験項目・条件を確定させ、計画策定を完了する。 	(100%)	
	②-(2)CMCの要素試験および解析技術開発	一般要素試験	一般要素試験の試験片及び試験条件の設定が完了し、試験を開始する。	100%
		高温HCF試験	高速高温 HCF 試験技術を構築する。	100%
		熱応力解析技術	熱応力評価手法を構築する。	100%

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (個別進捗①)

研究開発項目①-(1)「SiC繊維への界面コーティング技術の開発」は中間目標を達成した。

2025年度中間目標	進捗状況
<ul style="list-style-type: none"> UBE 繊維で 3.8GPa 以上の繊維強度を実現し、界面施工に適した繊維製造工程を確立する。 繊維分散性を維持した状態の界面コーティング繊維を 100km/月レベルで安定して製造可能とする。 	<ul style="list-style-type: none"> UBE 繊維で目標の 3.8GPa 以上の繊維強度を実現した。強度特性を維持しながら、界面コーティングの施工に適した分散性と両立する繊維製造工程を確立した。 界面コーティング炉に繊維を送り込むボビンの数を追加するとともに、繊維の自動糸掛け機構を開発して送りの高速化・安定化を実現した。これらの対策により目標の 100km/月の施工速度を達成した。

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (個別進捗②)

研究開発項目①-(2)「CMCの高速製造技術の開発」は中間目標を達成した。

2025年度中間目標	進捗状況
<ul style="list-style-type: none"> •プリフォームの繊維積層速度 2m/hr での製造を可能とする。 •CVI 成膜速度を, 副生成物の発生量を安全なレベルに維持したまま, 4μm/hr レベルで製造可能とする。 	<ul style="list-style-type: none"> •繊維配置ピッチの均質化など、積層品の品質向上を実現した。また、積層ノズルの設計変更、さらに積層の速度向上と非常停止の低減を果たし、目標の繊維積層速度 2m/hrを達成した。 •従来はCVI成膜速度を上げると有害性の副生成物の発生量が増加する傾向があったが、ガス濃度、プロセス温度を調整することで副生成物の発生量は抑えつつ、目標の成膜速度4μm/hrを達成できる施工条件を見出した。

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (個別進捗③)

研究開発項目①-(3)「CMCの高速加工・検査技術の開発」は中間目標を達成見込み。

2025年度中間目標	進捗状況
<ul style="list-style-type: none"> • 切削加工を7時間で可能とする。シール溝加工を10時間で可能とする。部品形状にレーザー穴明加工が可能とする。 • X線CT検査を4時間で可能とする。 	<ul style="list-style-type: none"> • 難削材であるCMCの高速加工に対応するため、加工トライアルを通して適切な加工条件を見出した。それを元に目標の加工時間を満足する能力を備えたマシニングセンタ、放電加工機、超音波加工機、レーザー穴明け加工機を選定、手配を完了した。 • X線CT自動化の要素開発を実施し、全体自動化の実証を完了した。複数部品同時撮影治具による撮影高速化の効果測定を完了した。これら自動化と高速化の組合せで中間目標である検査時間（4時間）を達成。

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (個別進捗④)

研究開発項目①-(4)「低コスト耐環境コーティング (EBC) 施工技術の開発」は中間目標を達成見込み。

2025年度中間目標	進捗状況
• 部品形状で EBC の表面粗化等の前処理が可能とする。	<ul style="list-style-type: none">• CMCの表面へのEBC施工にあたり、EBCの定着性がを改善するため、前処理が必要となる。CMC表面への酸化被膜形成、表面粗化を試行し、低コストでかつ有意な定着性の改善が確認できた表面粗化を選定した。• 表面粗化設備導入が完了し、平板への加工条件出し完了した。• 部品形状での溶射施工確認試験を年内に実施予定。

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (個別進捗⑤)

研究開発項目②-(1)「CMCの材料規格・工程規格制定と材料データベース構築」は中間目標を達成見込み。

2025年度中間目標	進捗状況
<ul style="list-style-type: none"> •300本レベルの初期材料試験を完了させ、確立した製造工程を前提とした材料規格・工程規格を発行する。 •材料データベースの試験項目・条件を確定させ、計画策定を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> •初期材料試験は試験リソース増強により達成見込み。構築したデータベースを活用しデータ分析を加速、規格・試験計画を発行する見込み。 •2025FY中に材料認証に対応する規格発行と試験計画策定のドラフトを完了する予定。

研究開発課題の達成目標に向けた進捗状況 (個別進捗⑥)

研究開発項目②-(2)「CMCの要素試験および解析技術開発」は中間目標を達成見込み。

2025年度中間目標	進捗状況
<ul style="list-style-type: none"> 一般要素試験の試験片及び試験条件の設定が完了し、試験を開始する。 高速高温 HCF 試験技術を構築する。 熱応力評価手法を構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> 一般要素試験は年度内に計画通り全ての設計が完了する見込み。重要度の高い試験片の製造も順調に進捗し、計画通り年度内に試験を開始できる見込み。 高速高温HCF試験は試験終了プロセスを定義し、計画通り試験プロセスを定めた。10月から1400℃で試験を実施し、定めた試験プロセスが妥当であることが確認できる見込み。 熱応力評価手法を検証するための静的・疲労・クリープ試験に着手し、年度内に計画通りデータが取得できる見込み。この試験結果を模擬するための解析技術を構築し、試験結果との比較も計画通り完了する見込み。 また、熱流体解析については計画通り公知の試験データでの解析検証を実施中。バーナリグ試験も計画通り予備試験を行い高解像度赤外線カメラによる翼面温度分布測定を実施した。

今後の見通し

- 2025年度の間目標は達成の見通し、さらにこれを足掛かりとすることで2027年度の最終目標到達に目途が立ちつつある。
- 本事業の成果をもとに事業終了後もアウトカム目標達成に向け、開発を継続する。

【最終目標】

項目	最終目標	現状と最終年度までの取り組み
CMCの品質	量産仕様の製造工程を確立し、品質・歩留まりを実証のうえ、材料規格・工程規格を制定し、世界の主要航空局の認証を得るためのプロセスを確立する。	材料規格・工程規格をNIARと協議しつつ整備中。最終年度までに認証レベルの内容に引き上げる。
CMCの製造性	上記規格に沿った品質を確保したうえで、量産時の製造タクトタイム5分に目途を付ける。	量産を想定した製造速度を有する設備の導入が進捗。設備のダウンタイム短縮、検査の自動化などの施策を適用することで最終目標到達は可能。
CMCの信頼性	確立した工程で製造したCMCの材料特性データベースを取得し、世界の主要航空局の認める統計手法に準拠して設計許容値を定める。	航空局の認証に耐えるレベルの材料特性データ取得計画を立案中。NIARと計画合意の上で、最終年度までのデータ取得、データベース構築を目指す。

【アウトカム目標】

- (ア) 2040年における世界の航空機エンジンに搭載されるCMC部品のうち、本事業で開発したCMCがシェア25%を獲得していること。
- (イ) CMC適用を足掛かりに高温・高圧部への本格的な参入を果たすことで、航空機エンジン分野において世界のなかで確固たる地位が確保されていること。
- (ウ) 航空機への新材料適用へ向けた国内企業の認証活動において、本事業の成果が参照されていること。

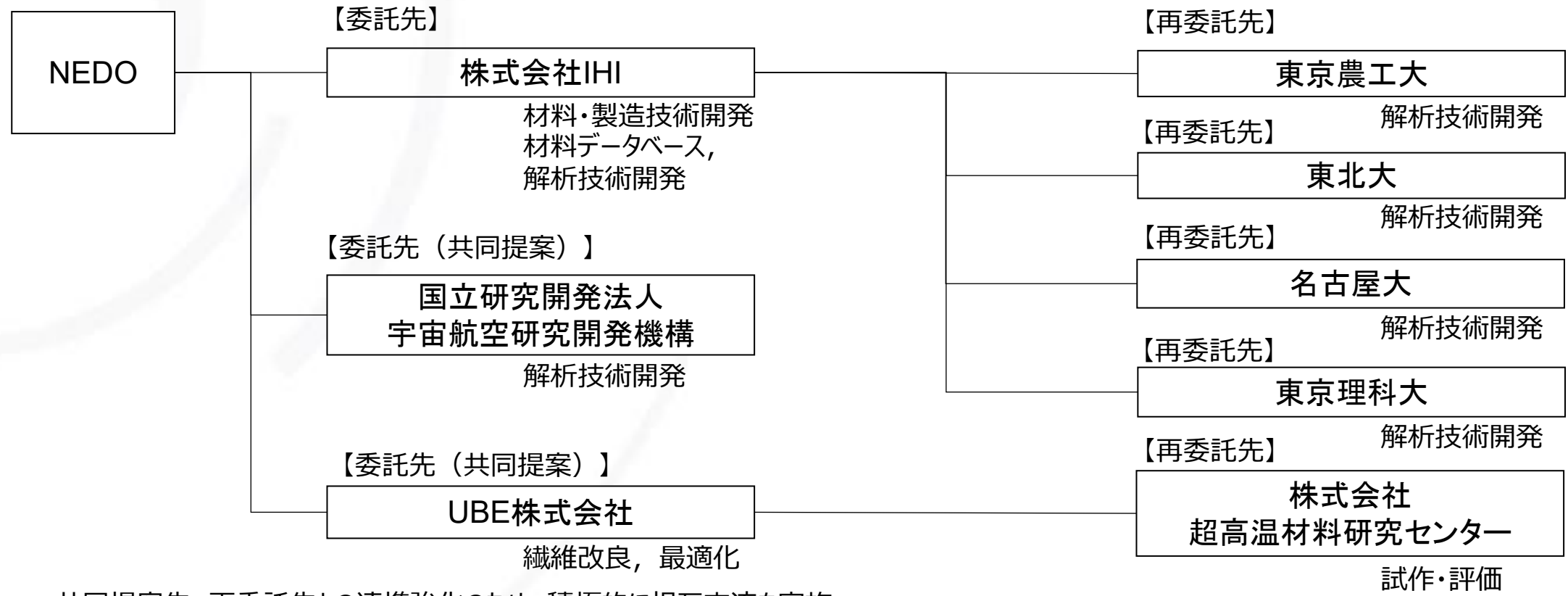
指定基金協議会において合意された内容の進捗状況

該当事項なし。

＜評価項目 3＞ マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 研究資金の効果的、効率的な活用
- (3) 国民との科学・技術対話に関する取組

実施体制の構築状況



NEDO、共同提案先、再委託先との連携強化のため、積極的に相互交流を実施

- ✓ PO、NEDOへの進捗報告会： 2025年11月までに累計19回
- ✓ 2024年6月： サイトビジット@UBE
- ✓ 2024年5月： サイトビジット@IHI
- ✓ 2024年10月： 拡大版進捗報告会@IHI
- ✓ 2025年6月： サイトビジット@JAXA
- ✓ 毎月： 再委託先 - IHI定期連絡会

研究資金の効果的、効率的な活用

事業の状況に応じて、効果的な資金活用を実施している。

- ✓ 2024年度： UBE繊維開発加速のため、IHIからUBEへの一部予算移転を実施
- ✓ 2023年度、2025年度： 特に予算変更なし

2024年度に実施した予算移転

IHI 契約金額及び限度額の変更

・全期間契約金額
 (変更前) 2,972,489,100円
 (変更後) 2,878,418,600円 [94,070,500円の減額]

・2024年度限度額
 (変更前) 1,505,950,400円
 (変更後) 1,411,879,900円 [94,070,500円の減額]

・変更理由
 界面コーティング付帯設備, 高温材料試験用伸び計, 高温材料試験用水蒸気薄型炉, 高温材料試験用水蒸気Box炉の導入をとりやめる

UBE 契約金額及び限度額の変更

・全期間契約金額
 (変更前) 599,522,000円
 (変更後) 693,591,800円 [94,069,800円の増額]

・2024年度限度額
 (変更前) 196,009,000円
 (変更後) 290,078,800円 [94,069,800円の増額]

・変更理由
 本研究開発の目標達成およびユーザー需要に適した繊維を開発するため、「ポリマー合成」、「焼結工程」について実験回数を増やして開発を進める必要がある

国民との科学・技術対話に関する取組

本事業の研究成果は適宜、情報公開を行っている。

- ✓ 本事業の成果の一部をNanotech2026（2026年1月開催 於：東京ビッグサイト）にて公開予定
- ✓ 2025年11月までに学会発表10件を実施

年	月	区分	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表者（敬称略）	発表者の所属	公表形態
2024	3	和文	セラミックス系複合材料の社会実装に向けた熱応力試験法の開発	日本セラミックス協会 2024年年会	高橋 駿介	東京理科大学	研究発表・講演
2024	9	和文	温度勾配を考慮した複合材料のマルチスケール解析	日本複合材料学会, 複合材料シンポジウム	西本 和真	名古屋大学	研究発表・講演
2024	11	和文	急速温度勾配加熱を受ける直交3次元織物 SiC 繊維 / SiC 複合材料のひずみ計測	日本機械学会第31回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2024)	菅原 直弥	東京農工大学	研究発表・講演
2024	11	和文	急速温度勾配加熱を受ける直交3次元織物 SiC 繊維 / SiC 複合材料の熱応力解析	日本機械学会第31回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2024)	曾根 佑大	東京農工大学	研究発表・講演
2024	11	和文	酸水素バーナーとジェットクーラーを用いた SiC/SiC 複合材料の熱応力試験と解析	日本機械学会第31回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2024)	高橋 駿介	東京理科大学	研究発表・講演
2025	1	英文	Effects of interfacial boron nitride layers on the mechanical behaviors of SiCf/BN/SiCm mini-composite reinforced by Tyranno Fiber	49th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	隅野 真央	UBE	研究発表・講演
2025	1	英文	Thermal strain measurement of an orthogonal 3D woven SiC fiber/SiC composite under rapid radiative heating using an IR lamp	49th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICAC2025)	菅原 直弥	東京農工大学	研究発表・講演
2025	9	和文	急速温度勾配加熱を受ける直交3次元織物 SiC 繊維 / SiC 複合材料のひずみ計測	日本機械学会2025年度年次大会	菅原 直弥	東京農工大学	研究発表・講演
2025	9	和文	UV-ステレオDICを用いた SiC/SiC 複合材料の温度勾配下での変形分布計測	日本セラミックス協会 第38回秋季シンポジウム	吉江 俊樹	東京理科大学	研究発表・講演
2025	11	英文	Strength of SiC-fiber reinforced SiC matrix composite under thermal gradient condition	JSME International Conference on Materials & Processing	高橋 駿介	東京理科大学	研究発表・講演