



「次世代構造部材創製・加工技術開発」

- ④ – 2軽量耐熱複合材CMC技術開発（高性能材料開発）
- ⑤航空機用構造設計シミュレーション技術開発
（中間評価）

プロジェクトの概要 **（公開）**

（平成27年度～平成31年度 5年間）

平成29年9月22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

I. 事業の位置付け・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取り組み

IV. 成果の実用化

- (1)成果の実用化に向けた戦略
- (2)成果の実用化に向けた具体的取り組み
- (3)成果の実用化の見通し

I. 事業の位置付け・必要性

◆事業実施の背景と事業の目的

【事業の必要性】

世界の民間航空機市場は、年率約5%で増加する旅客需要を背景に今後20年間で、累計約3万から3万5千機（4～5兆ドル程度）となる見通しである。「産業構造ビジョン2010」では、国内航空機産業を2020年（H32年）迄に2兆円にほぼ倍増させるとともに、2030年（H42年）には売上高3兆円を達成すると謳われている。国際的な産業競争が激化する厳しい競争の中で、航空機産業では高度な先進技術開発が進められてきており、サプライヤービジネスにおいても今後激しい競争にさらされていくことが予想されるため、我が国においても航空機産業の国際競争力を維持・拡大していく必要がある。また、航空機は、幅広い分野の技術の組み合わせた複雑なシステムを有しており、その部品点数は、自動車の2～3万点の約100倍に及ぶ300万点もの部品から成り立っており、産業構造の裾野が広い。

燃費改善、環境適合性等の市場のニーズに応えるため、近年の航空機（機体・エンジン・装備品）では、軽量化のために構造部材として複合材及び軽金属等が積極的に導入されており、先進的な素材開発及び加工技術開発等が急務となっている。我が国の強みを活かしつつ、民間航空機に求められる安全性、環境適合性、経済性という課題において、他国より優位な技術を獲得し航空機産業の国際競争力を維持・拡大していくことは、極めて重要である。また、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上で、重要な役割を果たすことも期待されている。

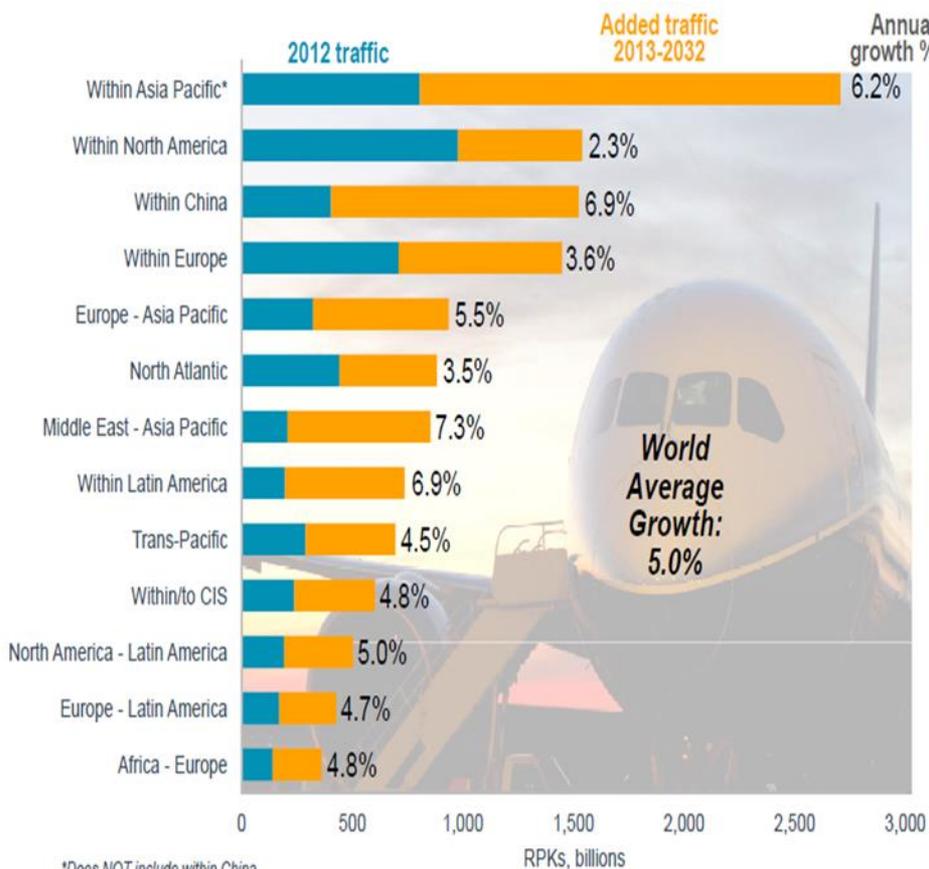
複合材料を始めとした我が国が強みを持つ材料分野における技術革新を促進し、産官学の密接な連携の下での我が国の航空機産業基盤の構築及び関連産業の成長を実現する。

I. 事業の位置付け・必要性

(1) 事業の目的の妥当性

○世界の民間航空機市場は、**年率約5%で増加する旅客需要**を背景に、今後20年間の市場規模は、約3万機・4～5兆ドル程度（ほぼ倍増）となる見通し。最も旅客需要が伸びるのはアジア太平洋地域。**最も機体需要が多いのは150席級（737、A320）**。

世界の旅客需要見通し

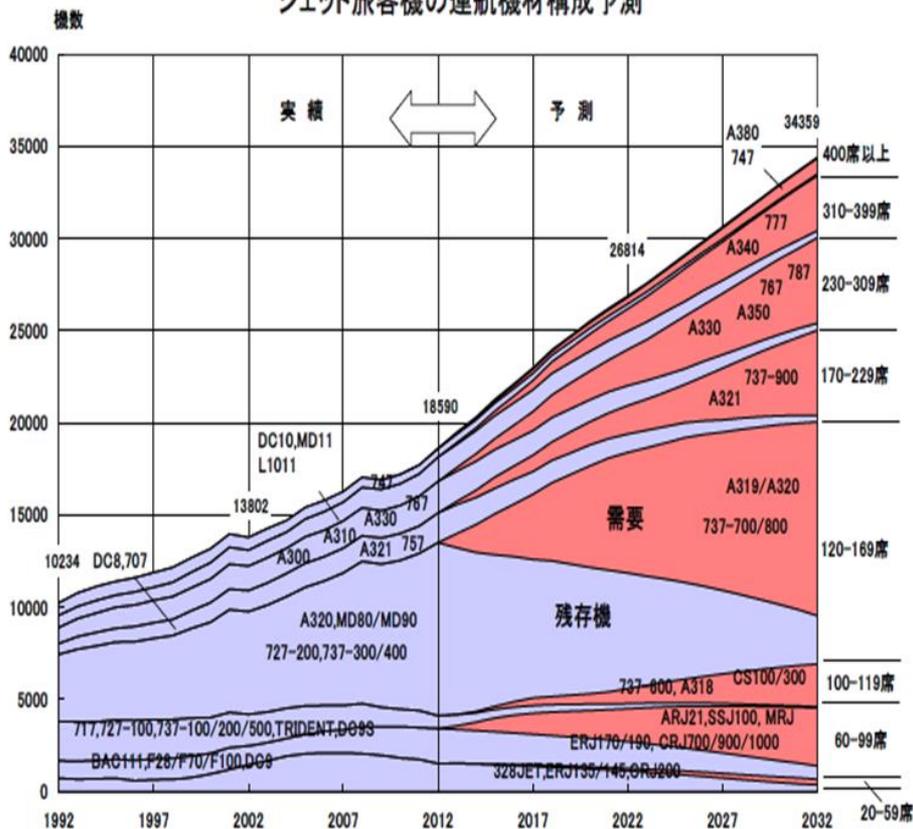


出典：航空機素材・製造技術の革新について（経済産業省, H25）

有償旅客キロ (RPK)

各有償旅客が搭乗し、飛行した距離の合計。
有償旅客数 × 輸送距離 (キロ)。

ジェット旅客機の運航機材構成予測



出典：航空機素材・製造技術の革新について（経済産業省, H25）

◆政策的位置付け

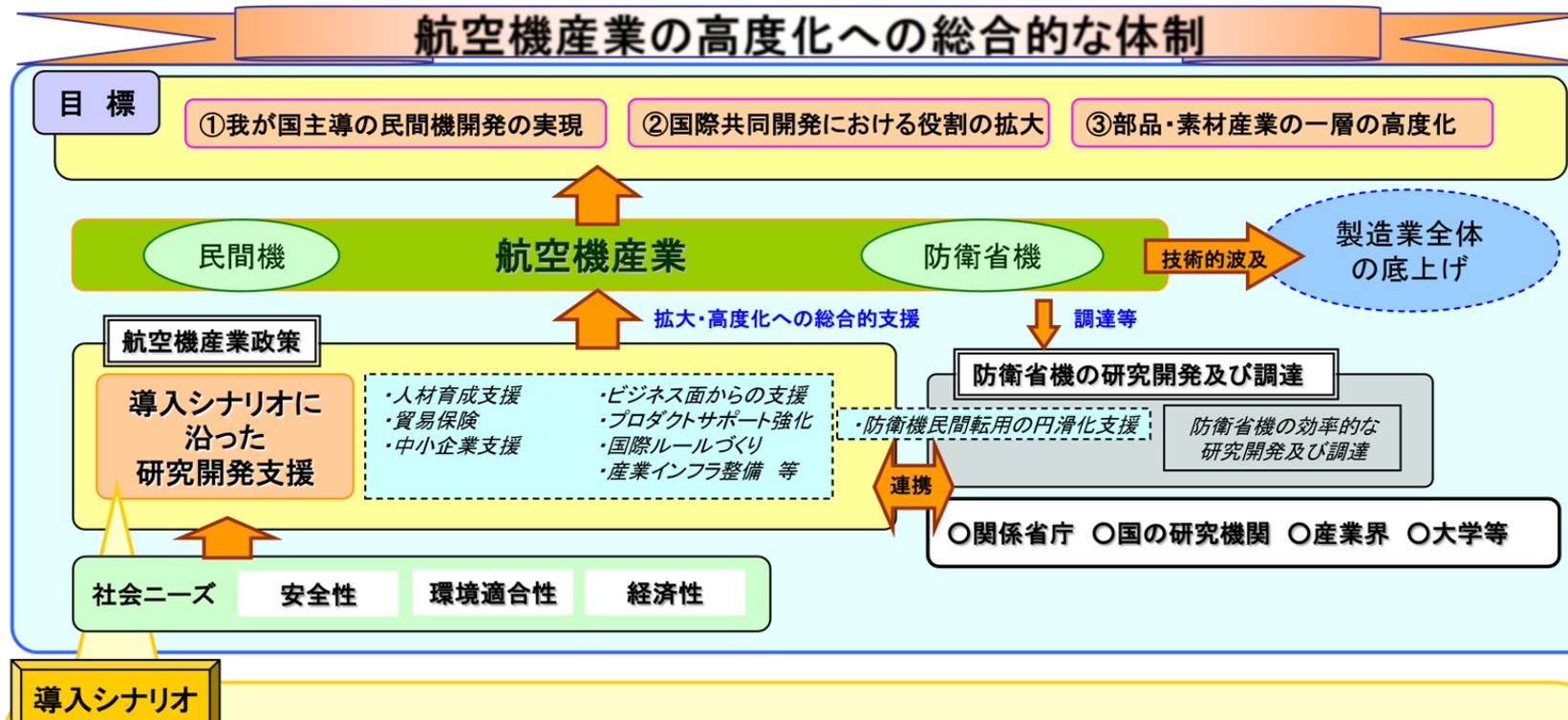
本事業は、総合科学技術・イノベーション会議により策定されている「科学技術イノベーション総合戦略」、「エネルギー・環境イノベーション戦略」等に則り、構造材料の飛躍的な軽量化等によって**航空機のエネルギー利用効率の向上を目指すために実施する**ものである。

航空機分野の技術戦略マップのなかで、我が国航空機産業が目指すべき方向性として、我が国主導の民間機開発の実現、国際共同開発における地位の維持・拡大が挙げられている。

この目指すべき方向性のもと定められた「**技術戦略マップ2010**」で示された「**航空機分野の導入シナリオ**」に本研究開発は適切に位置付けられている。

◆ 技術戦略上の位置付け

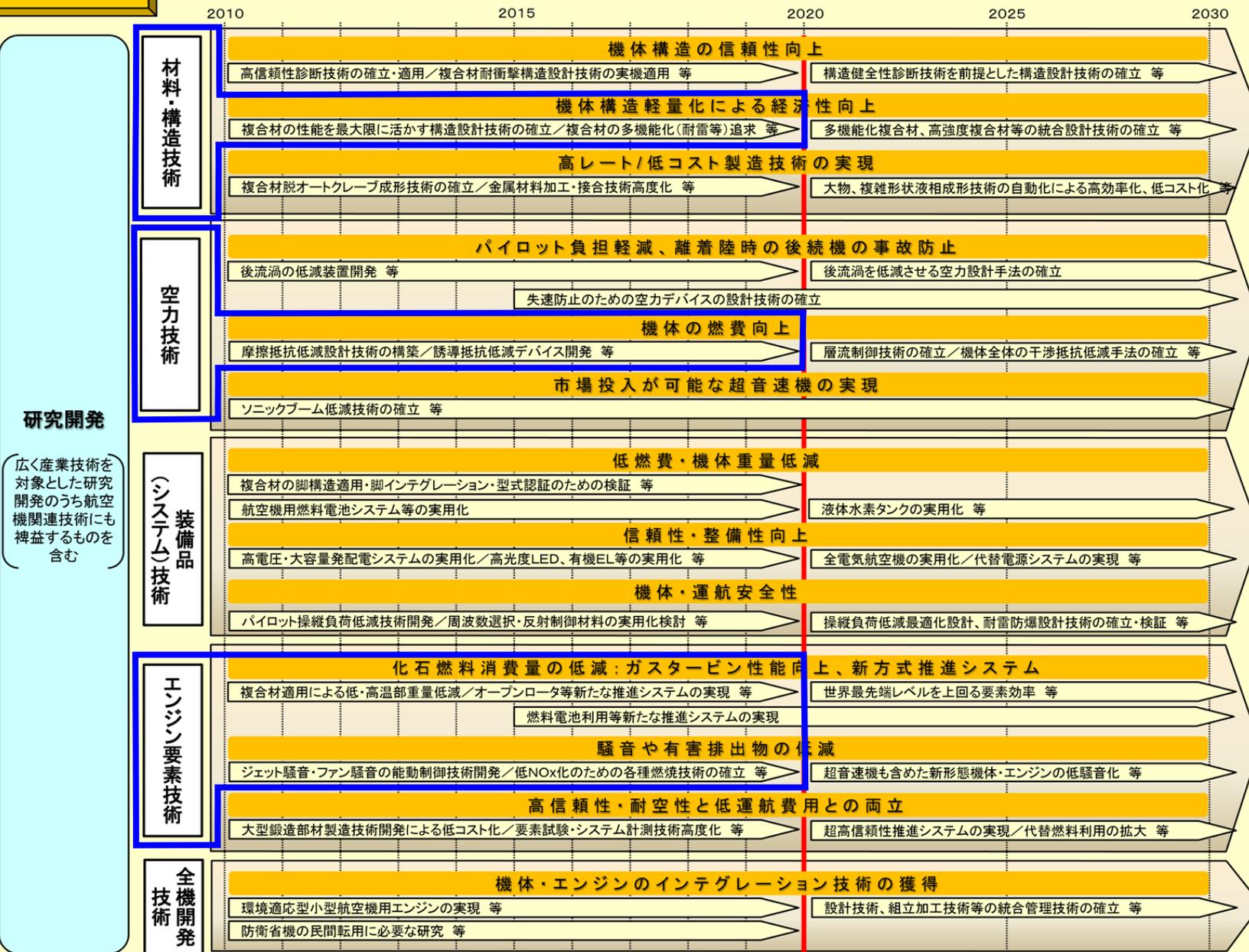
経済産業省策定「技術戦略マップ2010」における航空機産業の研究開発



I. 事業の位置付け・必要性

(1) 事業の目的の妥当性

導入シナリオ



材料・構造技術分野 — 概要及び課題 —

技術の概要

航空機構造は、構造体として必要な強度、信頼性を確保したうえで、**軽量である事、低コストで製造できること、高レートで製造できることが求められる。**そのためには、材料を規格化する技術標準化・認証、材料特性を生かし安全性確保や軽量化に寄与する構造設計技術、製造品質を保証し、信頼性を確保する検査技術や構造評価技術、運用中の信頼性を確保するための構造健全性診断技術、修理技術などに加え、高性能な材料を開発する技術、高効率な製造を可能とするプロセス技術が不可欠であり、これらの基盤となる基盤的技術の充実を推し進める必要がある。

国際競争力

- 炭素繊維複合材は性能、品質の点で先行している。今後材料の高い性能を生かす構造設計技術を高める事で、本分野の優位性を確保することが可能である。
- 今後必要となる複合材料構造の**低コスト製造技術、高レート製造技術に関しては、欧米に先行されており、キャッチアップが急務な状況**である。
- 複合材料開発に関し、欧米では国が主導する産学官連携が構築されており、我が国においても、材料認証・構造強度保証も含め、連携強化による効率的な開発体制の構築が必要である。

主要技術課題(1/2)

短期課題(~2015頃)

機体構造の信頼性向上

／(安全性向上、国際競争力)

✓ 複合材料構造に対する高精度な耐衝撃、耐衝突構造設計技術の確立

✓ 高信頼性システム(センサ装着、修理技術、計測技術)の確立
✓ 高信頼性診断技術の確立

✓ 非破壊検査データベース、シミュレーション技術の構築
✓ 複合材料修理技術基盤の確立

中期課題(~2020頃)

✓ 高精度な耐衝撃、耐衝突構造設計技術の実機適用

✓ 認証制度の確立、実運用(点検作業)への本技術の適用

✓ 非破壊検査技術の高効率化、高精度化技術の確立
✓ 複合材料修理技術の強度評価、経年変化評価

長期課題(~2030頃)

✓ 構造健全性診断技術を前提とした構造設計技術の確立

✓ 統合化非破壊検査技術
✓ 複合材料修理技術の認証取得、実機適用、長期経年変化評価

対応技術

構造安全設計技術

構造健全性診断技術

点検・修理技術

エンジン要素技術分野 ー概要及び課題ー

技術の概要

航空エンジンの開発においては、航空機の利便性を向上させつつ、環境適合性、安全性、経済性を高度に両立しなければならない。その際、化石燃料消費量低減による経済性および環境適合性向上に資する新方式も含めた高性能化、高温化、軽量化技術とともに、優れた環境適合性を実現する騒音や有害排出物低減技術、ならびに高い安全性と経済性を両立する設計・製造・試験基盤技術等の高度化を図る必要がある。

国際競争力

- ・複合材、耐熱合金等の先進材料の設計・製造技術や、流体、燃焼、構造等の大規模シミュレーション技術については、欧米と比べ遜色の無いレベルにある。
- ・国際共同開発で培った設計・製造基盤技術、防衛エンジン開発で培ったインテグレーション技術などをベースにした一部の技術開発においては今後の取組み次第で日本が優位に立てる可能性があるが、実機開発・運用の固有技術等においては、豊富な実績及び検証データの蓄積を有し、戦略的に標準化を進めている欧米が先行している。

主要技術課題(1/2)

短期課題(~2015頃)

化石燃料消費量の低減: ガスタービン推進の性能向上

- ✓エンジン内部の翼面、壁面の損失低減、多段CFD技術の確立
- ✓複合材部材設計製造技術の確立
- ✓耐熱複合材・耐熱合金部材設計製造技術の確立

- ✓GTF推進システムの実現
- ✓アクセサリギアボックスの損失低減

中期課題(~2020頃)

- ✓複雑な流れの原理理解に基づく損失低減、流体制御方法の確立
- ✓複合材適用による低温部重量低減
- ✓複合材適用による高温部重量低減、冷却空気量削減

- ✓オープンロータ等新たな推進システムの実現
- ✓エレクトリックエンジン要素技術およびシステム技術の確立

長期課題(~2030頃)

- ／(経済性、環境適合性)
- ✓世界最先端レベルを上回る要素効率とストールマージンの維持・向上
 - ✓更なる軽量化を図るための先進材料の実用化

- 化石燃料消費量の低減: 新方式の推進システムの実現／(経済性、環境適合性)
- ✓燃料電池利用等新たな推進システムの実現

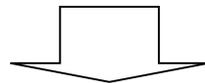
対応技術

- 要素高性能化技術
- 軽量化技術
- 高温化技術
- 冷却高性能化技術
- エンジン高性能化技術
- 高性能制御システム・機器技術

◆NEDOが関与することの意義

NEDOは第三期中期計画におけるミッションとして、「我が国の経済社会が必要とする具体的成果を創出するとともに、我が国の産業競争力の強化、エネルギー・環境制約の克服に引き続き貢献するものとする。」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が持つこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果（費用対効果）

| | |
|--|---|
| 本プロジェクトの総費用 | 130億円* ¹ （H23～H31予定） |
| CO2排出量削減 H37～H42年累積 （2025～2030年） | CO2排出削減量25万トン* ² 9.6万キロリットルの原油削減 費用削減効果は33億円* ³ |
| 市場創出効果 H42年想定（2030年） | 約1兆円／年* ⁴ |

* 1 H23～H26のMETI執行分は20.6億円

* 2 軽量化とエンジンの高効率化を合わせて15%燃費向上が達成されると期待

* 3 原油1バレル：50ドル、1ドル：110円で換算

* 4 H42年（2030年）の市場規模26兆円／年（JADC統計）

Ⅱ. 研究開発マネジメント

Ⅱ. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標と根拠

④ - 2 軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発)

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 根拠 |
|--|---|--|
| <p>(1) CMC材料の開発</p> <p>耐熱温度1400℃を達成する第3世代SiC繊維の生産技術を確立するとともに、CMC材料を開発する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を製造可能な、引張強度2.0GPa以上のSiC繊維を安定的に200kg/年供給できるバッチ焼結技術を確立し、繊維の供給を実施する。 ● 第3世代SiC繊維の三次元プリフォームを製造可能とする条件を設定し、繊維体積割合30%以上の織物を試作する。 ● 1400℃の耐熱性を持つ安定したマトリクス含浸方法を開発する。 | <p>航空機エンジンの高圧系、特に高圧タービンは環境温度が非常に高くなるため、耐熱性や強度の観点から、CMCの適用が最も難しい部位である。一方、その厳しい環境下に晒されることから交換頻度が高く、利益率の高い部材でもあり参入障壁は高いが、当該分野への参入を果たすことが日本の悲願である。</p> |
| <p>(2) 高性能SiC繊維の開発</p> <p>応力負荷が大きく環境条件の厳しい部材に適用可能な高性能SiC繊維を開発する。開発したSiC繊維を用いてCMC材料の適用可能性を検証する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 引張強度3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れるSiC繊維を開発する。 ● 繊維評価技術(クリープ特性)を開発する。 ● 材料のミクロ組織を模擬した解析手法を設定する。 ● 高性能SiC繊維によるプリフォーム製造方法を開発する。 ● 高性能SiC繊維に適合したCMC部材の初回製造プロセス方案を決定する。 | <p>現在、高圧系部材は、欧米のエンジンメーカーに抑えられてしまっているが、我が国としては、強みを有するSiC繊維の更なる高性能化とCMC部材への適用を進めることで、更なる部材の軽量化を実現し、当該分野での競争力を高めていく必要がある。マテリアルが金属からCMCに替わる今が千載一遇の好機である。</p> |

◆ 研究開発目標と根拠

⑤ 航空機用構造設計シミュレーション技術開発

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 根拠 |
|----------------------|---|---|
| 航空機用構造設計シミュレーション技術開発 | <ul style="list-style-type: none">● 開発上の必要なツールの選定、シミュレーション技術及び解析ツールを開発し、低コスト機体開発を実現するための数値シミュレーションツールを設計する。 | CAEを援用することで、 <ul style="list-style-type: none">● 我が国では経験の少ない全機設計を高度化することが可能となり、設計の初期段階から密な擦り合わせを行うことで、後工程での戻り作業を最小化することが可能となる。● 実験数削減、期間短縮等が可能となり、構造認証にかかるコスト削減の一助となる。 |

Ⅱ. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

◆予算規模

(単位：百万円)

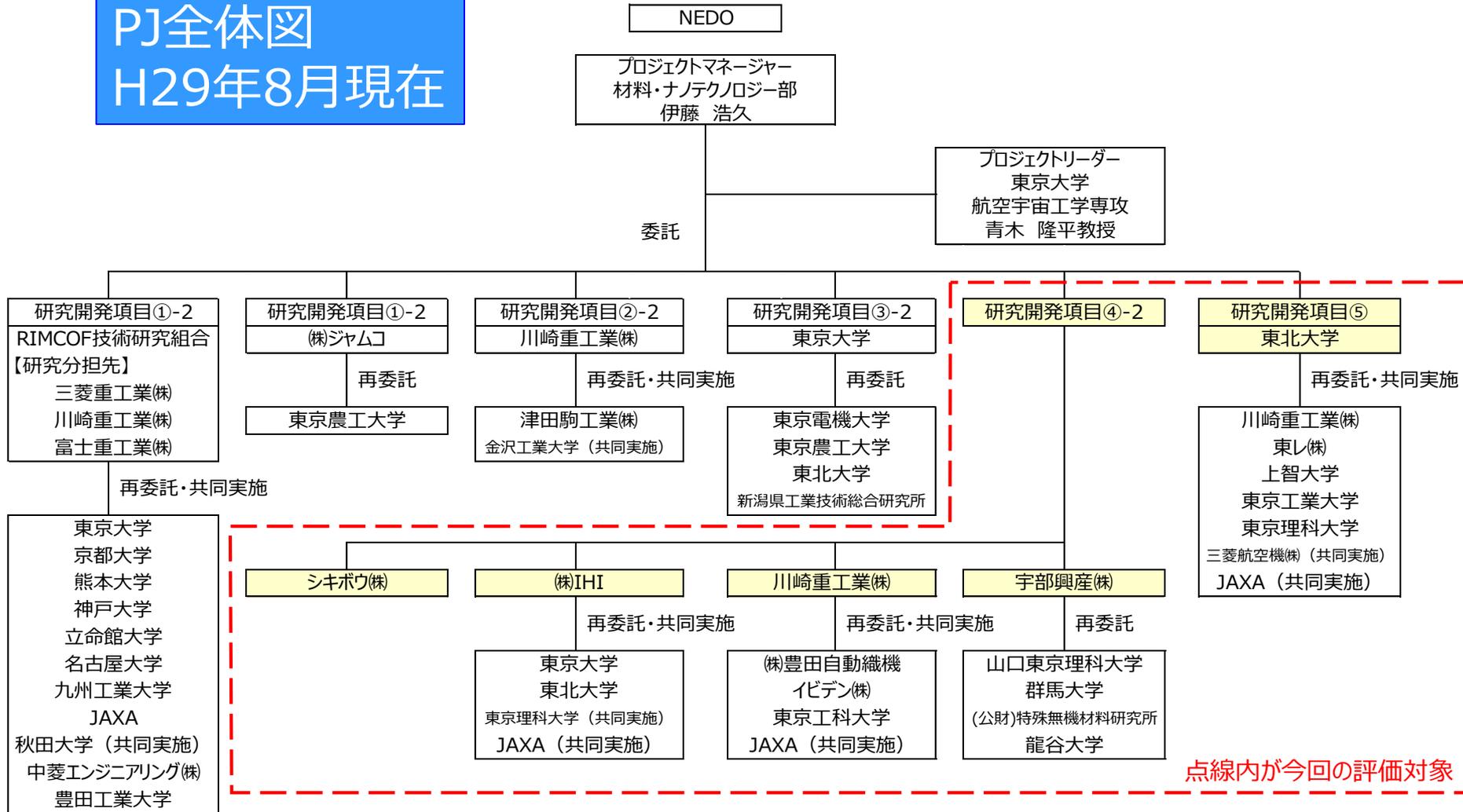
| 研究開発項目 | 平成27年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 平成31年度 | 合計 |
|--------------------------------|--------------------------|--------|----------------------------|---------|---------|---------|
| ④-2軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発) | 642 うち 加速予算 182 | 885 | 1,990 うち 加速予算 300 | (1,982) | (1,345) | (6,845) |
| ⑤ 航空機用構造設計シミュレーション 技術開発 | 37 | 37 | 37 | (37) | (37) | (185) |
| 合計 | 679 | 923 | 2,027 | (2,019) | (1,382) | (7,030) |

3年間Total
3,629百万円

II. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

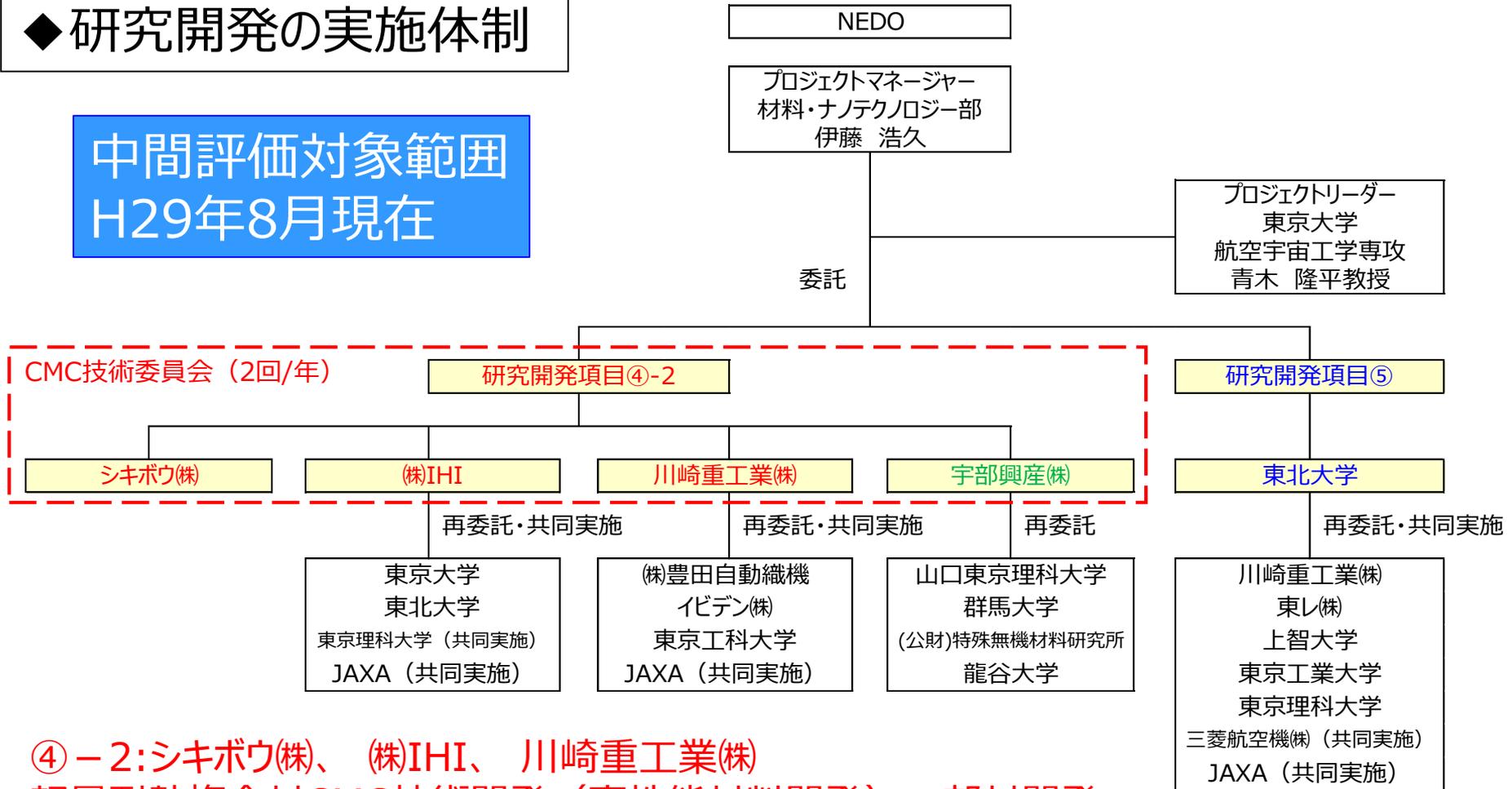
PJ全体図
H29年8月現在



II. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

中間評価対象範囲
H29年8月現在



④-2:シキボウ(株)、(株)IHI、川崎重工業(株)
軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発) – 部材開発

④-2:宇部興産(株)
軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発) – 繊維開発

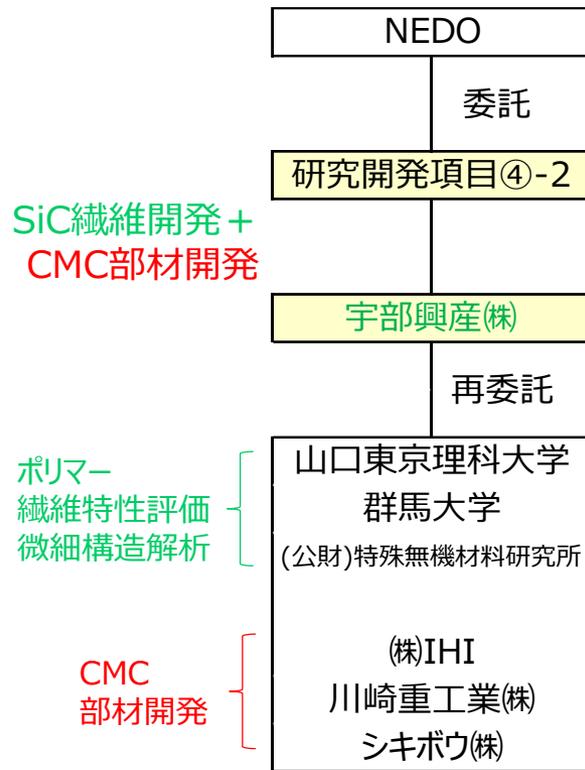
⑤:東北大学・流体科学研
航空機用構造設計シミュレーション技術開発

◆ 研究開発の実施体制の変更 (研究体制の強化)

- ・実施体制を変更して、SiC繊維開発の前倒しとCMC部材開発を推進
- ・適切な体制変更によって、NEDOと実施者間の連携が改善され、宇部興産も繊維開発に専念

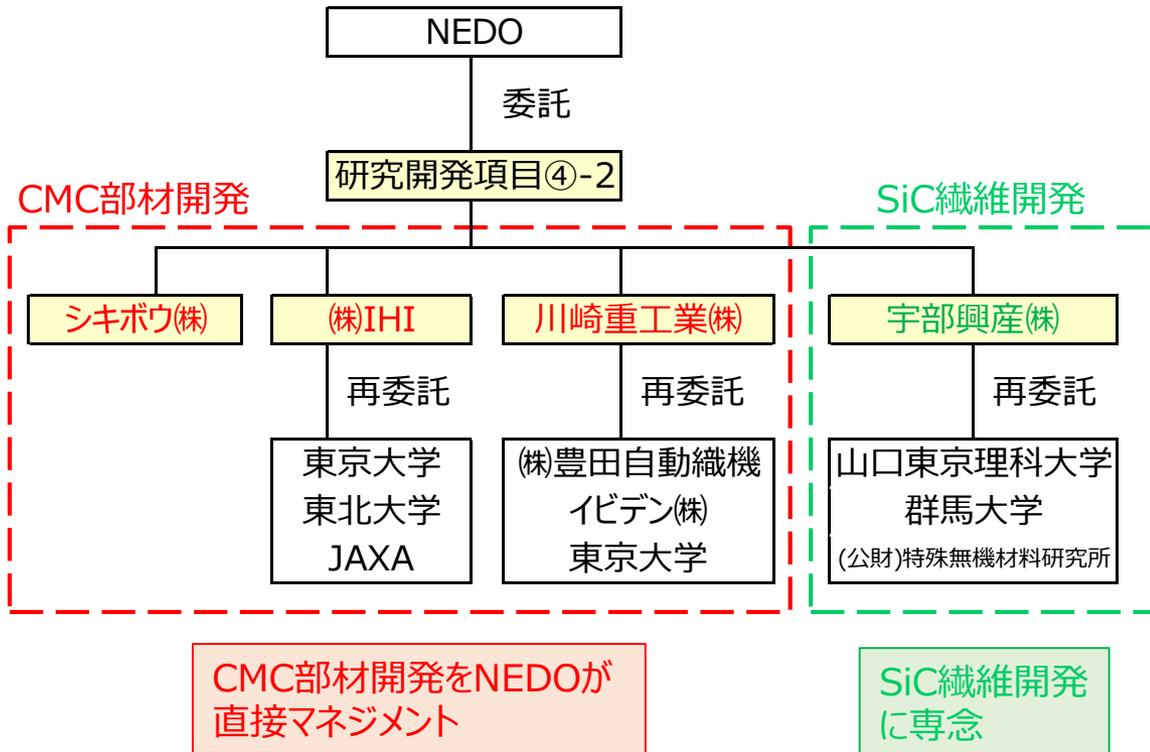
変更前

H27年8月スタート時



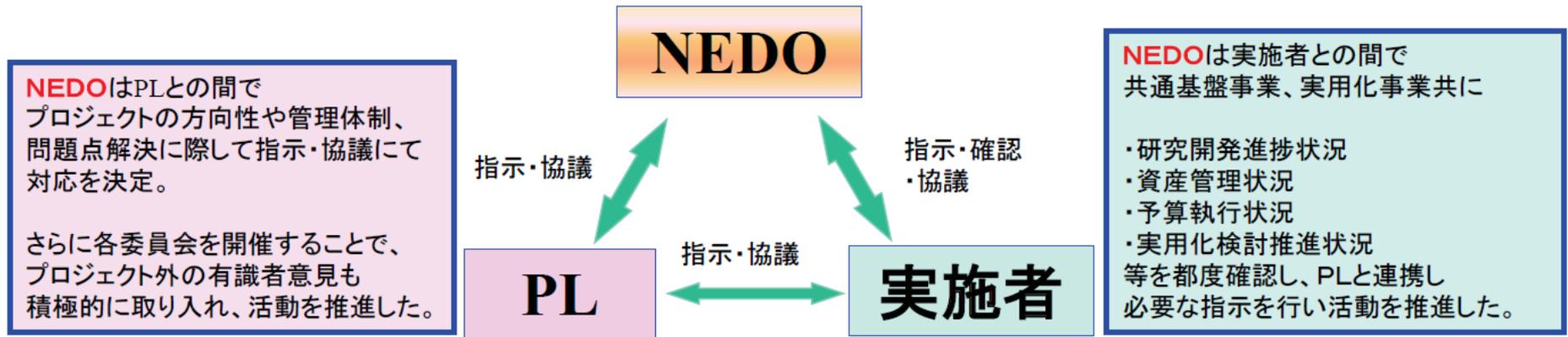
変更後

H27年11月の技術推進委員会で
妥当とのご判断



◆ 研究開発の進捗管理

◆ 動向・情勢の把握と対応 PLとの連携・情報共有



NEDOはPLと実施者の連携を強化することで、**コミュニケーションの向上を図り**、研究目標の達成を目指し、また実用化に向けた活動を推進した。

◆ 研究開発の進捗管理

◆ 動向・情勢の把握と対応

- **実施者訪問**により、生の声を聴き、実施者が困っている事案を発掘。産学連携を取ることと、**情報保守**の両立の難しさ。⇒**ガイドライン**を作成。
- **四半期毎**に開発目標と達成度をチェックし、**翌四半期計画**を見直し。
- 年1回のNEDO主催の**技術推進委員会**で、外部有識者の意見を参考に開発計画を見直し。
- CMC開発では、4実施者持回りで技術委員会を運営して、**横の繋がりを活かしたシナジー**を期待。
- H27、H29年度にCMC研究開発に**加速予算を配賦**。
- シミュレーション開発では、H29/6に**中間成果報告会**を実施。

◆ 知的財産管理

NEDO知財方針

【基本方針】

1. プロジェクトの知財マネジメントの強化を図り、
国民経済へのアウトカムの最大化を目指す。

- (1) 知財戦略を踏まえたプロジェクト企画の強化
- (2) プロジェクトにおける知財マネジメント強化
- (3) 公募・契約段階からの知財方針の明確化
- (4) 秘密漏洩防止、技術情報流出防止の管理の徹底
- (5) NEDOにおける知財マネジメント及びサポート体制の強化

2. 未利用成果等の活用促進の強化を図り、
国民経済へのアウトカムの最大化を目指す。

- (1) 成果の利用実態分析の強化（バイ・ドール調査への協力義務化）
- (2) 未利用成果等の活用促進（マッチング・システムの構築等）

◆ 知的財産管理

- ▶ NEDO知財方針に則り知財合意書を作成し、知財運営委員会を設置
知財合意書はNEDO委託契約締結の前提となるもの（スタート前に合意）
 - ・特許を受ける権利の帰属
 - ・大学等と企業の共願特許の持ち分確定
 - ・プロジェクト内での実施許諾

- ▶ 知財運営委員会の運用
 - ・メンバーは、再委託を含めた全参加者で構成
 - ・PJ期間中、出願・実施許諾依頼の都度開催

◆ 知的財産権等に関する戦略

▶ オープン／クローズ戦略の考え方

各実施者から非公開の場で説明の予定

| | 非競争域 | 競争域 | |
|-----|--|---|---------------|
| 公開 | 競合関係にある複数の大学や企業間であっても、研究成果の共有・公開を可能にする基礎的・基盤的研究領域であって、特許出願等、成果が公開されることが考えられる領域。 | 競合関係にある複数の大学や企業間で競争が発生する領域であって、積極的に出願・権利化を目指すことが良いと考えられる領域。 | 積極的に 権利化 |
| 非公開 | 競合関係にある複数の大学や企業間であっても、研究成果の共有・公開を可能にする基礎的・基盤的研究領域であって、ノウハウ等、成果をブラックボックス化して秘匿することが良いと考えられる領域。 | 競合関係にある複数の大学や企業間で競争が発生する領域であって、製品を分析しても技術の本質や製造プロセスを解析されないことがない等、ノウハウとしてブラックボックス化して秘匿することが良いと考えられる領域。 | ノウハウとして 秘匿 |

Ⅲ. 研究開発成果

④ - 2 軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発)

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 成果 | 達成度 |
|--|---|---|----------|
| <p>(1)CMC材料の開発</p> <p>耐熱温1400℃を達成する第3世代SiC繊維の生産技術を確立するとともに、CMC材料を開発する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を製造可能な、引張強度2.0GPa以上のSiC繊維を安定的に200kg/年供給できるバッチ焼結技術を確立し、繊維の供給を実施する。 ● 第3世代SiC繊維の三次元プリフォームを製造可能とする条件を設定し、繊維体積割合30%以上の織物を試作する。 ● 1400℃の耐熱性を持つ安定したマトリクス含浸方法を開発する。 | <ul style="list-style-type: none"> ● SiC繊維の生産技術開発 (宇部興産、一部を山口東京理科大学に再委託) SAグレードのバッチ焼結プロセスの最適条件 (昇温プロファイル、最適な焼結構造等を得るための処理条件等) を見出し、試作設備の詳細設計を行い、試作設備の設置及び試運転を実施した。本研究の目標とする強度2.0GPa以上、表面粗さRa2~3nmのSiC繊維を200kg/年程度安定的に製造可能となった。 ● 第3世代SiC繊維を用いた三次元プリフォーム製造方法の開発 (シキボウ) シキボウ独自のプロセスで、繊維体積含有率 (Vf) 30%以上のものを作製することができた。X糸 (経糸)、Y糸 (緯糸) 合計40層を超えるものや、幅200mmを超えるサイズの三次元プリフォームを実現した。 ● 高性能CMC材料開発 (IHI、一部を東京理科大学との共同実施) 高温での耐水蒸気性に優れる材料を骨材、ガラスをシール材として組み合わせたマトリクスを試作し、エンジン環境を模擬した1400℃加圧水蒸気中への曝露試験により各マトリクスの耐熱性・耐水蒸気性を試験を行い、マトリクス候補材の絞り込みをした。またCMCの損傷を評価するための最適条件を確立した。 ● CMCマトリクス形成技術の開発 (川崎重工業) (1)SiC繊維への界面コーティング技術の開発 (川崎重工業、一部をイビデンに再委託) CMC燃焼器パネルを模擬した織物積層品の断面SEM観察の結果、すべての位置において単純積層品と同等のバラツキの範囲でhBN膜形成が確認された。 (2)CMCマトリクス形成プロセスの最適化 (川崎重工業) クラックシール材のマトリクスへの添加について、新規クラックシール材の探索・評価および新規導入手法の検討を実施して、耐熱特性を評価した。 | <p>○</p> |

④ - 2 軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発)

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 成果 | 達成度 |
|--|---|---|----------|
| <p>(2)高性能SiC 繊維の開発</p> <p>応力負荷が大きく環境条件の厳しい部材に適用可能な高性能SiC繊維を開発する。開発したSiC繊維を用いてCMC材料の適用可能性を検証する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 引張強度3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れたSiC繊維を開発する。 ● 繊維評価技術(クリープ特性)を開発する。 ● 材料のミクロ組織を模擬した解析手法を設定する。 ● 高性能SiC繊維によるプリフォーム製造方法を開発する。 ● 高性能SiC繊維に適合したCMC部材の初回製造プロセス方案を決定する。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 高性能SiC繊維の開発 (宇部興産、一部を群馬大学に再委託) 高性能SAグレード用ポリマーの開発では、SiC繊維前駆体ポリマー中の焼結助剤成分 (B、Al) 量とSiC繊維の特性との相関性を調査し、高強度・高クリープ特性を両立する焼結助剤成分量について知見を得た。さらに、前駆体ポリマーの分子量、分子構造等についても基礎検討を実施した。 ● 高温クリープ特性評価技術の開発 (宇部興産) 高温クリープ特性評価は、BSR法により再現性良く測定可能であることが分かった。この方法は比較的簡便であり、高温クリープ特性の相対的評価に有効であることが分かった。 ● メソスケール解析技術の開発 (IHI、東北大学との共同実施) 解析的アプローチにて、直交3次元織物SiC/SiC 複合材料の応力-ひずみの非線形応答を予測するための連続体損傷力学(CDM)モデルを用い、トランスバースクラックが発生する応力域で解析モデルによる予測結果が実験結果と一致することを示し、本モデルの有効性を示した。 ● 高性能SiC繊維による三次元プリフォーム (シキボウ) 高性能SiC繊維については本年度後半にサンプル提供予定であり、そこから第3世代SiC繊維で培われた技術に基づき、高性能SiC繊維による三次元プリフォームの製作プロセスを検討する。 ● 高性能SAグレードを用いたCMC材料開発 (川崎重工業、一部を豊田自動織機に再委託) 現行のSAグレードの製織性の評価を実施。評価結果について繊維メーカーにフィードバックを行い、製織性の改善を進めている。現行のSAグレードSiC繊維の他、別のSiC繊維を用いたSiC/SiC-CMCの強度評価を実施した。BN層を形成したSiC/SiC-CMCの強度物性は、繊維物性の影響を大きく受けることを確認した。 | <p>○</p> |

⑤航空機用構造設計シミュレーション技術開発: 東北大学・流体科学研

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 成果 | 達成度 |
|----------------------|---|---|-----|
| 航空機用構造設計シミュレーション技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> ● 開発上の必要なツールの選定、シミュレーション技術及び解析ツールを開発し、低コスト機体開発を実現するための数値シミュレーションツールを設計する。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 主翼に関する多目的最適設計手法の構築 (一部を上智大学、川崎重工業に再委託) 構造にCFRPを適用した高性能な航空機設計を目的として、空力解析と構造解析を密接に連携させた航空機主翼の多目的最適設計手法を開発した。 ツール検証に関しては、航空機主翼の多目的最適設計手法に用いる構造解析モデルおよび最適化結果と途中経過について評価を実施し、意図通りの構造解析が実施できることを確認した。 ● CFRP損傷進展解析用内製XFEMコードの検証 (一部を上智大学、川崎重工業、東レに再委託) CFRP積層板における層間剥離、マトリクス割れを考慮した損傷進展解析を効率的に実施できる内製XFEM (拡張有限要素法) コードを用いて、検証解析を実施した。 文献に示されているOHT試験片の実験結果と概ね整合した結果を得た ● 着氷に関する非定常空力設計シミュレーターの開発 (三菱航空機と共同実施) クリーン翼および着氷翼の三次元計算を行い、着氷が流れ場に与える影響について検討した。着氷の存在により、低迎角でも翼根の氷前縁で剥離を起こし翼端側に発達する渦構造を持つことが分かり、クリーン翼と比べて迎角の上昇に対する剥離領域の拡大が緩やかであることが分かった。 ● 複合材の特性を活かした機体構造設計シミュレーターの開発 (JAXAと共同実施、一部を東京工業大学、東京理科大学、東レに再委託) 現状の市販の最も細い繊維束を用いる成形装置として熱可塑性樹脂CFRP束を想定し、流線を用いた最適化結果を成形する際の適切なプロセスを求めた。 | ○ |

④ - 2 軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発)

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 達成度 | 研究開発目標 (H31最終目標) | 達成可能性 |
|--|---|-----|---|--|
| <p>(1)CMC材料の開発</p> <p>耐熱温1400℃を達成する第3世代SiC繊維の生産技術を確立するとともに、CMC材料を開発する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を製造可能な、引張強度2.0GPa以上のSiC繊維を安定的に200kg/年供給できるバッチ焼結技術を確立し、繊維の供給を実施する。 ● 第3世代SiC繊維の三次元プリフォームを製造可能とする条件を設定し、繊維体積割合30%以上の織物を試作する。 ● 1400℃の耐熱性を持つ安定したマトリクス含浸方法を開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ● 1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を製造可能な、引張強度2.0GPa以上のSiC繊維の低コスト量産プロセスを確立する。 ● 室温引張強度200MPa以上、1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を開発する。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 順調に研究開発が進捗しており、1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を製造可能な、引張強度2.0GPa以上のSiC繊維を安定製造するバッチ焼結技術を確立している。低コスト量産プロセスでは連続焼結が必須となるが、バッチ焼結条件を参考にすることで連続焼結条件を最適化することが可能と判断でき、残り2年で最終目標を達成する可能性大と認められる。(宇部興産) ● 第3世代SiC繊維による三次元プリフォームの製作について、現状においてVf30%以上の織物の試作に成功していることを踏まえ、その製作は十分達成可能であると考えられる。(シキボウ) ● 耐酸化性を改良できるBN施工条件、耐酸化性に優れたマトリクス、耐酸化性を向上できるEBC施工条件を開発できたため、達成できる見通しである。(IHI) ● 材料仕様最適化の上で、曲げ試験を中心に試験を実施中。過去に実施した曲げ強度と引張強度の相関から、室温引張強度200MPa以上は現時点で達成の見通しである。(川崎重工業) |

④ - 2 軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発)

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 達成度 | 研究開発目標 (H31最終目標) | 達成可能性 |
|--|---|-----|---|--|
| <p>(2)高性能SiC 繊維の開発</p> <p>応力負荷が大きく環境条件の厳しい部材に適用可能な高性能SiC繊維を開発する。開発したSiC繊維を用いてCMC材料の適用可能性を検証する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 引張強度3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れたSiC繊維を開発する。 ● 繊維評価技術(クリープ特性)を開発する。 ● 材料のミクロ組織を模擬した解析手法を設定する。 ● 高性能SiC繊維によるプリフォーム製造方法を開発する。 ● 高性能SiC繊維に適合したCMC部材の初回製造プロセス方案を決定する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ● 引張強度3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れたSiC繊維を開発、さらに試作条件を確立し、CMC部材評価用試料を供給する。 ● 高性能SiC繊維における三次元プリフォームの量産を可能とするプロセスを開発し、繊維体積割合30%以上のプリフォームを試作する。 ● 開発したSiC繊維が、CMC材料に適用可能であることを確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> ● SiC繊維前駆体ポリマー中の焼結助剤成分を最適化することにより、ラボスケールでは引張強度3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れたSiC繊維が得られる目処がついた。現在はパイロットスケールで研究開発を進めており、残り2年で最終目標を達成する可能性大と認められる。(宇部興産) ● 高性能SiC繊維による三次元プリフォームは本年度後半より試作を開始する予定である。基本的には第3世代SiC繊維による三次元プリフォーム作製の技術を用いて、試作を行う。製作プロセスは高性能SiC繊維の引張特性、せん断特性によるところが多いが、達成の可能性は十分にあると考える。(シキボウ) ● 第3世代の改良繊維に対しても、耐酸化性を改良できるBN施工条件が見いだされたため、更に改良された繊維では達成できる見通しである。(IHI) ● 種々の繊維を用いて成形条件を変えた成形試験を実施。繊維の物性と成形条件、成形後の物性の相関について調査を実施し、これにより繊維物性に応じた成形条件の指針を得た。現在実施している繊維物性の取得結果により適用可能性を検証できる見通しであり、達成可能性は十分にある。(川崎重工業) |

⑤ 航空機用構造設計シミュレーション技術開発: 東北大学・流体科学研

| 研究開発項目 | 研究開発目標 (H29中間目標) | 達成度 | 研究開発目標 (H31最終目標) | 達成可能性 |
|----------------------|---|-----|--|--|
| 航空機用構造設計シミュレーション技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> ● 開発上の必要なツールの選定、シミュレーション技術及び解析ツールを開発し、低コスト機体開発を実現するための数値シミュレーションツールを設計する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ● 解析検証を終了し、数値シミュレーションの実用性を確認する。 ● 数値シミュレーションツールをソフトウェア化し、最適設計技術として確立する。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 複合材構造の強度保証を構成する試験の内、衝撃損傷を与えた構造要素・部分構造・実大構造の強度試験の一部を置き換えることが可能となる汎用性・精度を有する解析ツールの開発を行うことで、H31年までに認証プロセスにおけるコスト削減を達成する見込みである。 ● 通常の航空機開発では、空力設計と構造設計は交互に個別に実施されるため、設計の収斂に時間がかかる。機体設計シミュレーターは、これをシームレスに連成することで、H31年までに検証と最適設計の実施を達成する見込みである。 |

◆ 成果の普及

| | 論文 | | その他外部発表 | | | 受賞 |
|--------|----------|----------|-------------|----------------|----------|----------|
| | 査読付き | その他 | 学会発表 ・講演 | 新聞・雑誌等 への掲載 | その他 | |
| 平成27年度 | 1 | 0 | 12 | 1 | 0 | 0 |
| 平成28年度 | 5 | 0 | 29 | 1 | 0 | 0 |
| 平成29年度 | 1 | 0 | 11 | 1 | 0 | 0 |
| 平成30年度 | — | — | — | — | — | — |
| 平成31年度 | — | — | — | — | — | — |
| 合計 | 7 | 0 | 52 | 3 | 0 | 0 |

※平成29年度8月22日現在

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

○ SiC繊維製造プロセス、CMC製造プロセスはノウハウ化

| | 特許出願 | |
|--------|------|----|
| | 国内 | 外国 |
| 平成27年度 | 0 | 0 |
| 平成28年度 | 2* 1 | 0 |
| 平成29年度 | 0 | 0 |
| 平成30年度 | — | — |
| 平成31年度 | — | — |
| 合計 | 2 | 0 |

* 1 PCT出願済

※平成29年度8月22日現在

IV. 成果の実用化

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

基礎基盤PJの場合は「実用化・事業化」ではなく「実用化」

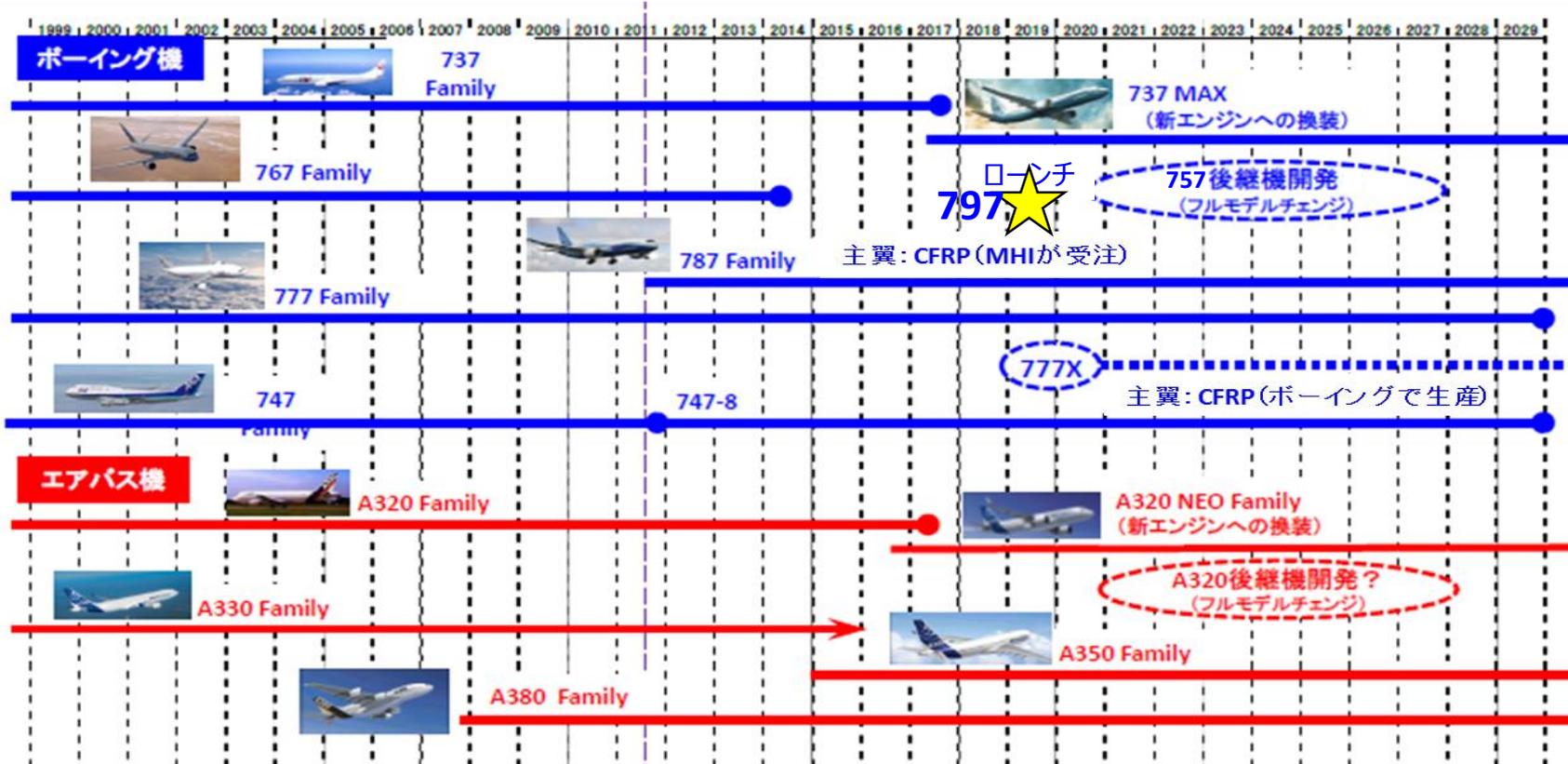
本事業における「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用
(顧客への提供等) が開始されることをいう。

IV. 成果の実用化 (1) 成果の実用化に向けた戦略

本事業は、海外主要OEMの次期量産機の開発計画にリンクさせて、各テーマの技術開発を推進することが極めて重要である。

次期量産機のローンは平成31年（2019年）、EISは平成37年（2025年）と予想されている。ローンに合わせた技術開発と製造プロセスの認証取得を目指していくこととする。



④ – 2軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発)

(1) 実用化に向けた戦略

- SiC繊維 : 特性バラツキが少なく、かつ低コスト・供給安定性で優位に立つ。
- CMC部材 : 要素技術で優位に立つ。

(2) 実用化へ向けたの取組

- エンジンメーカーとの接触を密に行い、最新情報を収集し、研究開発に反映。
- CMC技術委員会を開催し、研究開発をレビューすることで、方向性を都度確認。

(3) 実用化の見通し

- エアラインからの燃費削減圧力は増している。耐熱性に優れ、金属材料よりも軽量なCMC部材の実用化は非常に重要である。本プロジェクトでは、競合をしのぐ低コストの第3世代SA繊維が開発され、高圧タービン部材及び燃焼器ライナ部材としての評価も進んでいる。先行する1社とも伍している状況であり、他エンジンメーカーでの部材採用に大いに期待できる。
- 高圧タービンの動翼等大きな応力のかかる部材において使用可能な高い力学的特性と高温クリープ特性を有する繊維の開発も進んでいる。先行する1社を凌駕する状況であり、大きな応力のかかる部材においても、部材採用は大いに期待できる。

⑤航空機用構造設計シミュレーション技術開発:

(1) 実用化に向けた戦略

- 使い勝手が良くてフレキシブルな実機適用を可能とする。
- 破壊解析を可能とする。

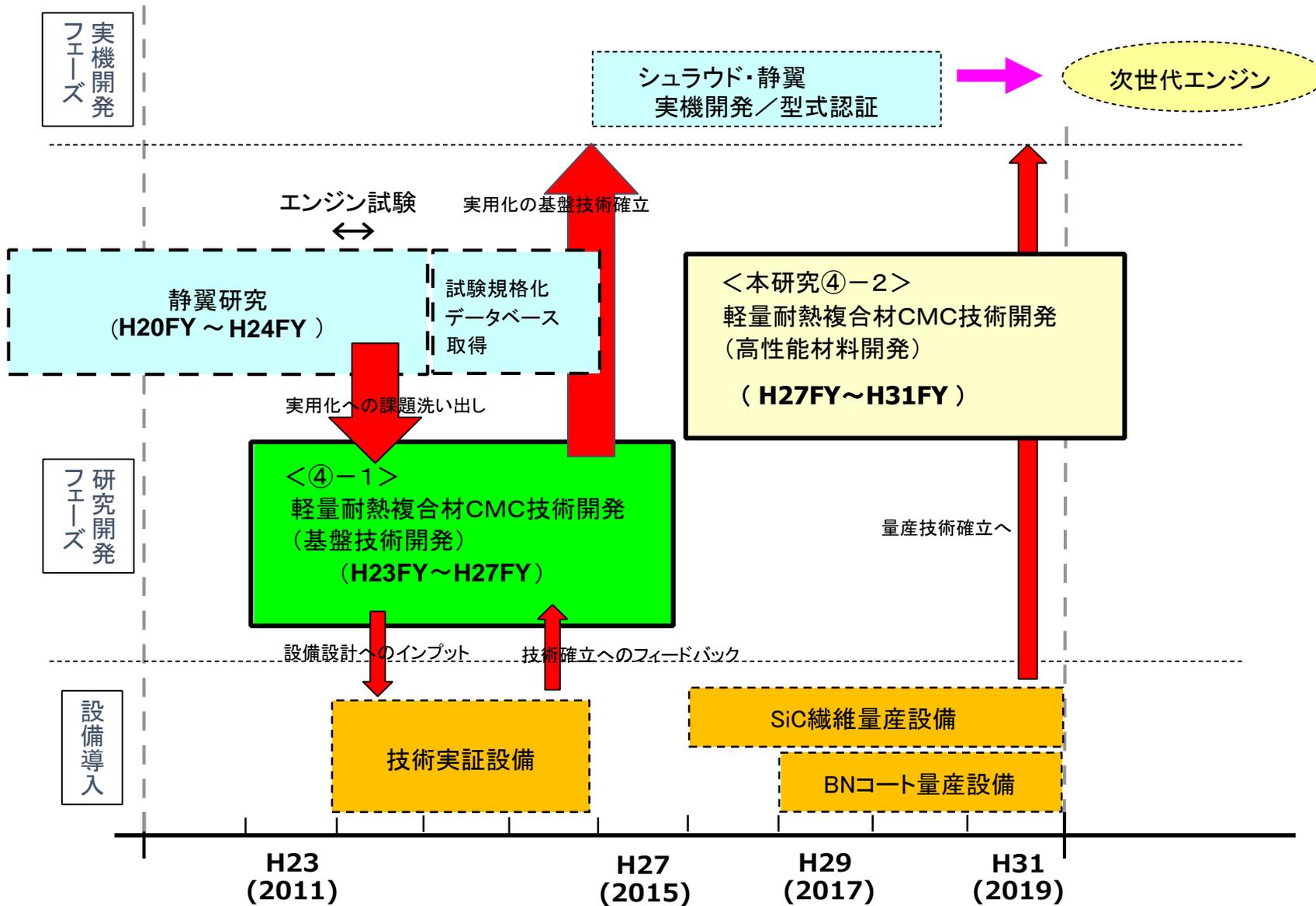
(2) 実用化へ向けたの取組

- 大学が委託先ではあるが、再委託・共同実施先として航空機・素材製造企業が研究開発に参画し、ツールに求める機能・制約を明確化して開発にフィードバック。
- 国際ワークショップを開催し、研究開発をレビューすることで、方向性を都度確認。また最新情報を収集し、ツール開発に反映。

(3) 実用化の見通し

- 国内航空機・素材製造企業が使いやすいツールとすることで、航空機開発における構造認証試験計画等において、認証に必要な材料・構造試験の低コスト化を支援する用途での実用化を達成する。
- 空力/防氷システム統合設計ツールを汎用化し、次世代の国産航空機的设计・開発に活用可能である。
- 設計シミュレーターの開発検討を通じて、曲線配向CFRPの製造に適した材料の特性を抽出し、材料を世界に先駆けて標準化することで、新市場を開拓することが期待できる。

④-2 軽量耐熱複合材CMC技術開発 (高性能材料開発)



⑤航空機用構造設計シミュレーション技術開発: 東北大学・流体科学研

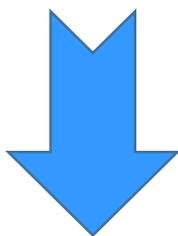
東北大学流体科学研究所
「航空機計算科学センター」
設立 (H29.4.1)

空力・構造・材料の枠を超えた拠点形成

- ・非破壊検査
- ・ナノ加工
- ・高性能計算科学 etc.

優れた研究者が集い、国際競争力のある成果を生み、
その成果が更に優れた研究者を引き寄せることで、
国内航空機産業振興を学術的に支援することを目指す

連携



ゲートウェイの開通は大きな成果

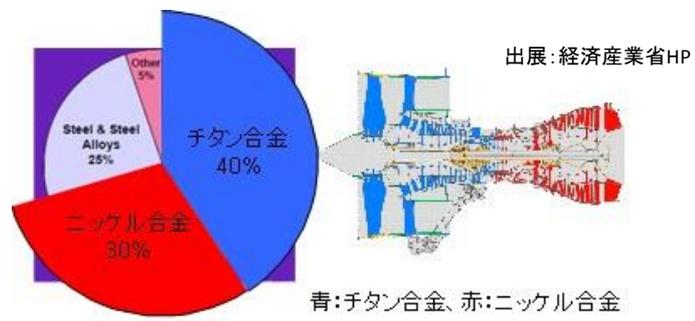
USA : ワシントン大学
Academic Open Space
ワークショップ開催 (2回/年)

海外主要OEMへのアプローチ
国内重工各社は交流に期待大

◆波及効果

我が国産業の競争力強化等への貢献

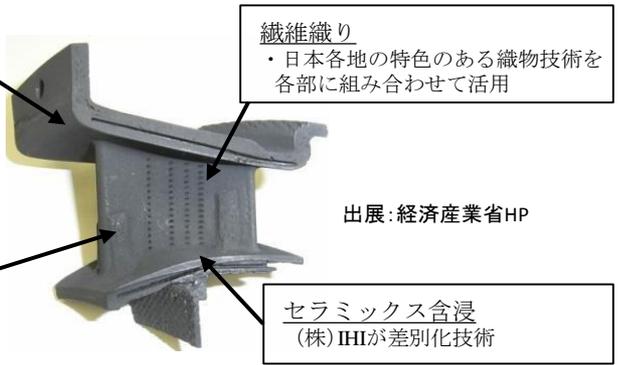
航空産業では、ボーイング787などの炭素繊維複合材の利用拡大において、日本の航空機メーカーの競争力強化に貢献しており、現在自動車業界等へ展開されつつある。
 同様に複合材としてCMCがそれに続く日本競争力強化に繋がることが期待される。また、技術波及が可能な輸送（自動車、鉄道、ロケット等）、エネルギー機器（ガスタービン、工業炉等）の分野において、耐熱性の高いCMCを活用することによる日本の競争力強化が見込まれる。



エンジンはレアアース等が大部分を占める

セラミックス繊維
 ・東北大学が開発
 ・国内メーカーが製造を独占

界面コーティング
 (株)IHIが差別化技術



CMCはレアアース等代替材料 (しかも、原料は国内で大量に採取可能)

素材、製造、修理まで オール国産 (日本が優位に)

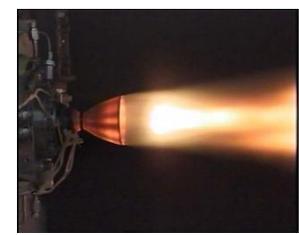
技術波及



軽量高性能ブレーキディスク
 (自動車、航空機、鉄道)



耐熱外壁
 (再突入機)



スラストノズル
 (衛星・探査機)

出展: 経済産業省HP

◆波及効果

我が国産業の競争力強化等への貢献
シミュレーションの目的はコスト削減に尽きる

自動車、鉄道車両、風力発電etc.

- ・流れに関するもの
- ・複合材の最適構造設計に関するもの に波及していく



出展：経済産業省HP