



「次世代複合材創製・成形技術開発」

(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

(2020年度～2024年度 5年間)

2022年6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

- 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
 - (2)成果の詳細
 - (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

【本事業の必要性】

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、ワクチン普及によるコロナ終息後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る事から、2019年末の約2.4万機から旅客需要で年率約5%増加、2040年末には、市場規模は約3.9万機(5~6兆ドル程度)となる見通しである。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。

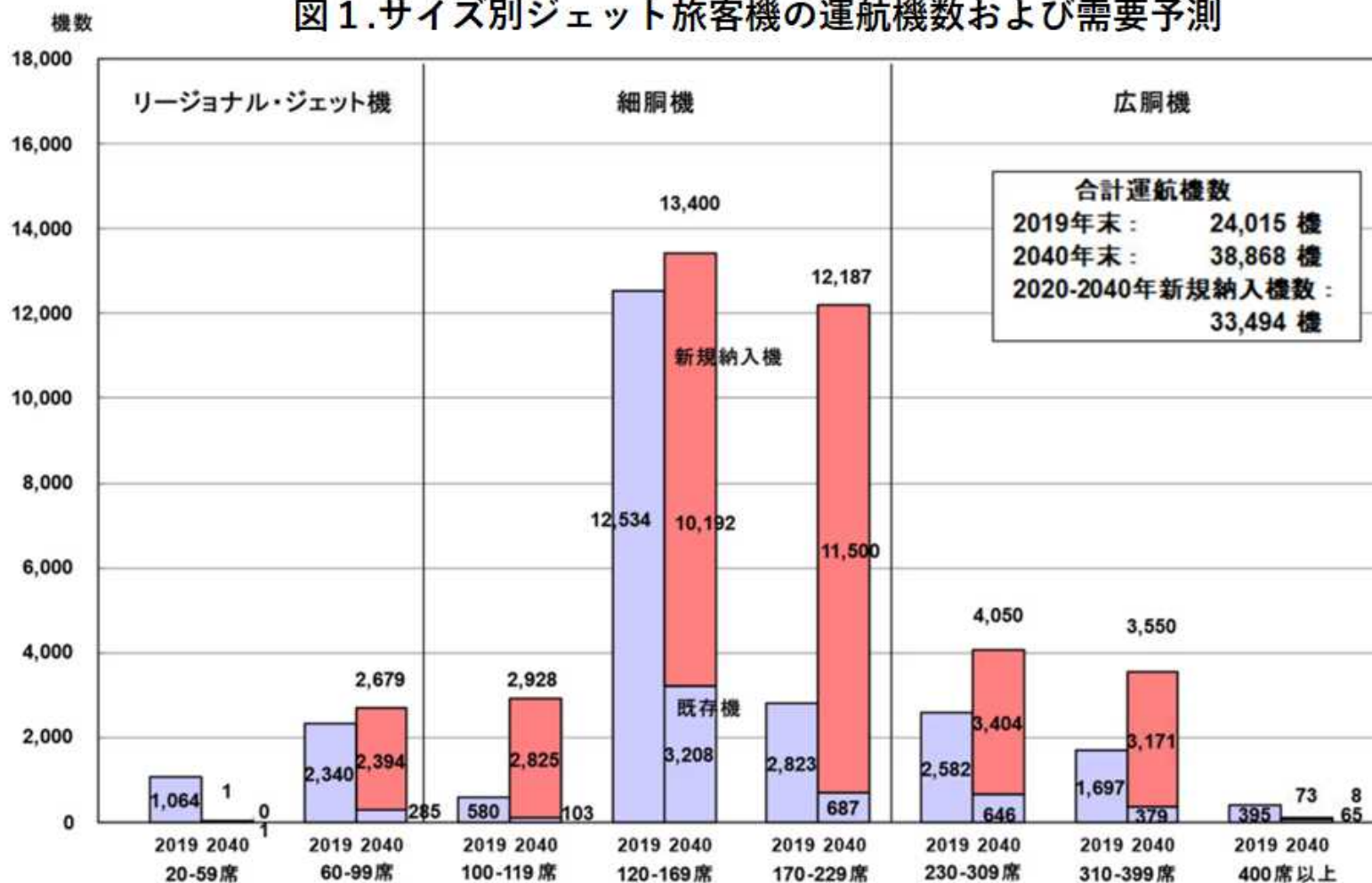
燃費改善、環境適合性等の市場のニーズに応えるため、近年の航空機（機体・エンジン・装備品）では、軽量化のために構造部材として複合材(CFRP)が積極的に導入されており、先進的な素材開発及び成形組立技術開発等が急務となっている。

【本事業のねらい】

- 航空機の燃費改善、環境適合性向上、整備性向上、安全性向上といった要請に応えるため、複合材料等の関連技術開発を中心として、航空機に必要な信頼性・コスト等の課題を解決するための要素技術を開発する。
- 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、整備性向上、安全性の向上並びに我が国の部材産業及び川下となる加工・製造産業の国際競争力強化を目指す。

○世界の民間航空機市場は、コロナの影響はあるものの年率約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3.4万機(5～6兆ドル程度)となる見通し。最も機体需要が多いのは150席級細胴機(737、A320)。

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。

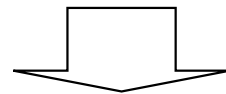
また、「革新的環境イノベーション戦略」（統合イノベーション戦略推進会議）には、運輸分野の温室効果ガス削減のため、航空機分野で燃費向上に資する機体やエンジンの材料軽量化等の開発を進めることが謳われている。

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。

◆NEDOが関与することの意義

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	60億円* ¹ (2020～2024年)
2040年のCO ₂ 排出削減量	CO ₂ 排出削減量1500万トン* ²
2040年での市場創出効果	機体3.2兆円+エンジン1000億円 獲得

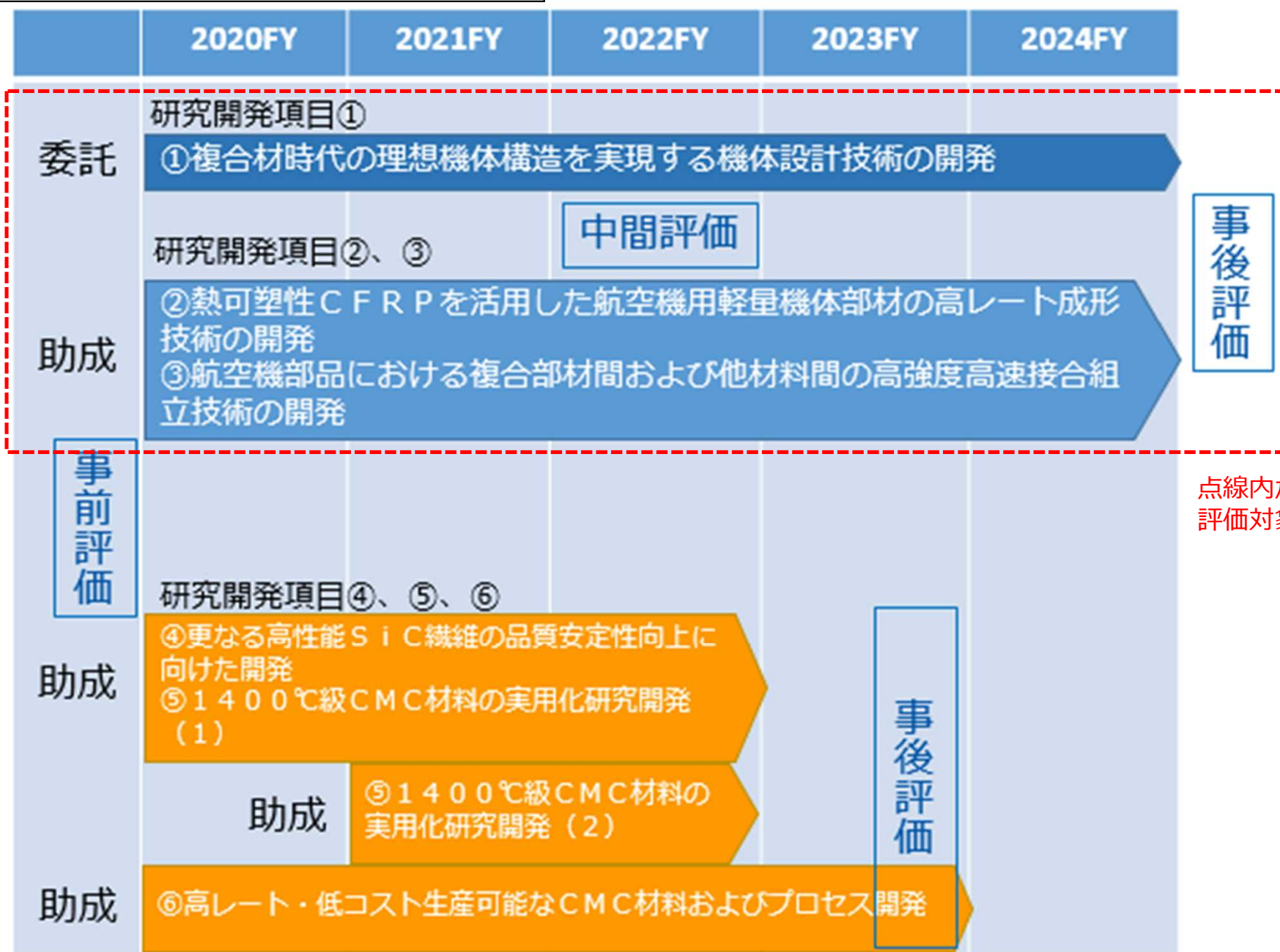
* 1 研究開発項目①～⑥の総費用、研究開発項目①～③は、34.5億円

* 2 研究開発項目①～⑥の総削減量、2040年の新型機の細胴機を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)

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

◆ 研究開発のスケジュール



◆ 研究開発目標と開発内容

研究開発項目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」(東北大学)

開発内容	<ul style="list-style-type: none">・ 熱可塑性CFRPの特質を活かし、熱硬化CFRPを上回る軽量高強度機体(「複合材料時代の理想の機体」)をアルミニウム機体と同等以上の生産レートで製造するための基盤となる構造設計技術を開発する。・ 熱可塑性CFRPの長所を十分に活用した軽量化構造を提案するためのシミュレーション技術を開発する。
中間目標 (2022年度末)	<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。
最終目標 (2024年度末)	<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。・ アルミニウムをCFRPで置き換えただけの従来の機体構造とは異なる新しい機体設計コンセプトの提案を目指す。

◆ 研究開発目標と開発内容

研究開発項目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」
 (新明和工業株式会社、株式会社ジャムコ、川崎重工業株式会社)

開発内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱可塑性CFRP用途でかつ複雑形状部品を低コスト・高レートで生産するための技術と装置を開発する。 ・ プレス機が使用できない大型の部品をプレス機並みの速度で成形する我が国独自の技術を開発する。
中間目標 (2022年度末)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 超高速自動積層において熱可塑性CFRPの積層方法に目途を付ける。 ・ 熱可塑性CFRPの大型・複雑形状成形技術に目途を付ける。 ・ 積層造形技術を活用した複雑な複合材－金属一体成形技術に目途を付ける。
最終目標 (2024年度末)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 超高速自動積層では、従来の熱硬化性CFRPと比較し5倍の生産性向上、熱硬化性CFRPと同等以上の軽量化、熱硬化性CFRPと同等以上の自動積層速度を達成する。 ・ 熱可塑性CFRPの特性を十分に活かし、熱硬化性CFRPでは達成できない高度な一体成形、さらなる軽量化、高レートな大型部材成形技術を確立し、成形の自動化を達成する。 ・ 積層造形技術を活用した複雑な複合材－金属一体成形技術等を開発するとともに、成形の自動化を達成する。

◆ 研究開発目標と開発内容

研究開発項目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」
(東レ株式会社)

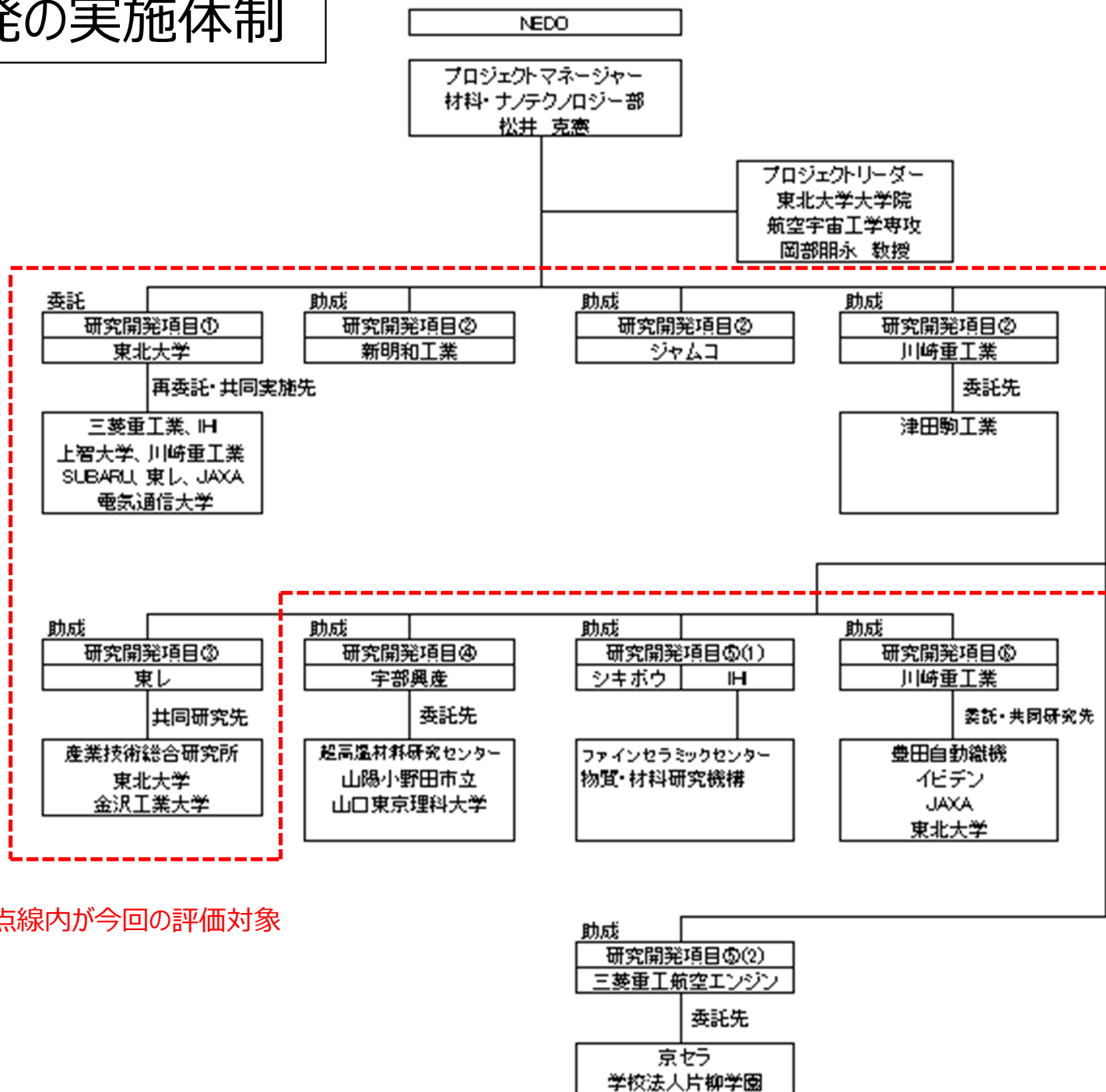
開発内容	<ul style="list-style-type: none">・ 航空機大型複合材部品を接合可能な高強度高速溶着技術を開発する。・ 複合部素材間、複合部素材と他材料間の高強度高速接合技術（溶着等）を開発する。
中間目標 (2022年度末)	<ul style="list-style-type: none">・ 熱可塑性CFRP部品の高速・高強度溶着組立技術に目途を付ける。・ 熱可塑性CFRPと熱硬化性CFRPをシームレスに接合する技術開発に目途を付ける。
最終目標 (2024年度末)	<ul style="list-style-type: none">・ 溶着できる熱可塑性CFRPの特性を活かし、大型部品同士のファスナーレス組立技術等、熱硬化性CFRPや他材料も含んだ高強度高速接合組立技術を開発する。面溶着等により破壊強度 30 MPa以上を実現し、ファスナー使用箇所 の半減および現行アルミニウム機体の組立と同等以上の生産性を可能とする技術開発を達成する。

◆プロジェクト費用

(単位：百万円)

研究開発項目		2020年度	2021年度	2022年度	合計
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」 東北大学		110	126	123	(359)
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」	新明和工業株式会社	39	42	41	(122)
	ジャムコ株式会社	49	27	59	(135)
	川崎重工業株式会社	184	196	200	(580)
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」 東レ株式会社		90	359	326	(775)
合 計		472	750	749	(1971)

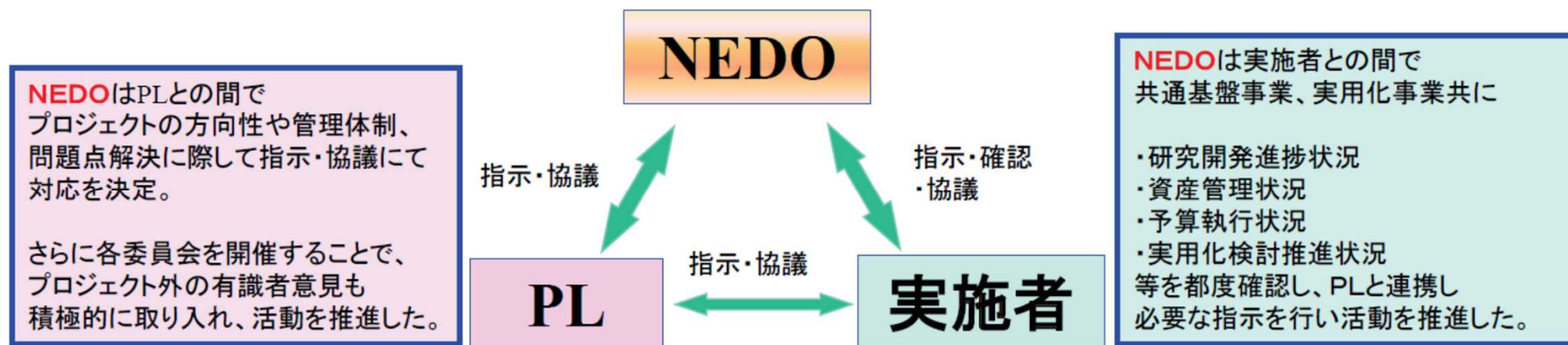
◆ 研究開発の実施体制



点線内が今回の評価対象

◆ 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ております。

◆ 研究開発の進捗管理

◆ 動向・情勢の把握と対応

- 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の進捗状況を確認。
計画変更がある場合は、臨時の**特別委員会**を開催して協議した。
- 研究開発テーマ毎に**技術委員会**を、委託事業は年3回、助成事業は年1回実施し進捗状況を確認。
- 各**年度末**には、年度の開発目標と達成度のチェック、及び**翌年度**の事業内容の確認を実施。
- 上記委員会は、**新型コロナ感染拡大**に伴い、オンライン及びハイブリッドにて実施した。
- プロジェクトリーダーによる**全事業者のサイトビジット**を行い、技術指導を実施。

Ⅱ. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

	2020年										2021年		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
実施項目						技術委員会(東北大)	技術推進委員会(練習)	サイトビジット(新明和) 技術推進委員会(本番)	サイトビジット(ジヤムコ) 技術委員会(東北大)		技術委員会(東北大)	来期計画説明会 技術委員会(東レ)	
	2021年										2022年		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
実施項目			サイトビジット(川重) 技術委員会(新明和) 技術委員会(東北大)	技術委員会(川重)	技術委員会(ジヤムコ)技術委員会(東レ)		技術推進委員会(練習)	サイトビジット(東レ) 技術推進委員会(本番)	技術委員会(東北大) 技術委員会(東レ)			来期計画説明会 技術委員会(東北大)	

◆ 知的財産管理

委託事業（研究開発項目①）

- ▶ 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

Ⅲ. 研究開発成果

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」
(東北大学)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目): 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」

研究開発テーマ①: 熱可塑性CFRPを用いた機体設計シミュレーターの開発

【中間目標】

機体設計シミュレーターにおいて熱可塑性CFRPを利用可能となり、また主翼のフラッター拘束条件を考慮可能となることとする。また、エンジンのフィッティングに関してナセル取り付け位置の変化による空力荷重変化を評価可能とし、全機CFD解析に基づく主翼構造解析を実施可能とする。

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
①	<p>1. 開発テーマ②の熱可塑性CFRPデータを取り込む主翼構造設計ツールの基礎モジュールを構築した。ストリンガーまで含めた詳細構造モデルを設計可能となった。熱硬化性CFRPを用いた静空弾設計に基づく翼形の多目的最適化及びデータマイニングを行なった。</p> <p>2. 静空弾設計に対するフラッター解析ツールを構築した。汎用線形ソルバーでは解析不可能な遷音速ディップ現象を捉えることが出来た。</p> <p>3. エンジンナセル取り付け位置の変化による主翼空力荷重を評価可能となるようシステム化した。</p> <p>4. 層流化デバイス設計用データを取得し、それを元に設計したデバイスの予備評価を実施した。また、非平衡壁面モデルの評価と航空機複雑形状における壁面モデルLESの評価を実施した。</p>	○	<p>1. 熱可塑性CFRPを用いた主翼構造設計ツールを構築し、翼形状等の最適化を実施・熱硬化性CFRPとの比較を行う(2022年度中)。</p> <p>2. フラッター解析ツールの主翼構造設計への統合(2022年度中)。</p> <p>3. 概念設計に基づく全機モデルを元に、エンジンナセル取り付け位置を変化した空力荷重への影響を評価する(2023年度以降の予定を前倒して開始し、2022年度中に試行解析を実施)。</p> <p>4. 実機への適用について精度を上げた検討と層流化デバイスの改良を実施。また非平衡壁面モデルの有効性検証と複雑形状の壁面モデルLESの改善を実施。</p>	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度 : ◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目): 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」

研究開発テーマ②: 熱可塑性CFRPを対象としたバーチャルテスト技術開発

【中間目標】

メッシュフリー解析手法の1つである XFEM を組み込んだ構造解析ソフトウェアを開発し、熱可塑性CFRP (CFRTP) の単層板試験、任意の切り欠きを有する複合材料積層板の損傷発生・累積から不安定破壊判定までの解析手法を10%の精度で確立する。

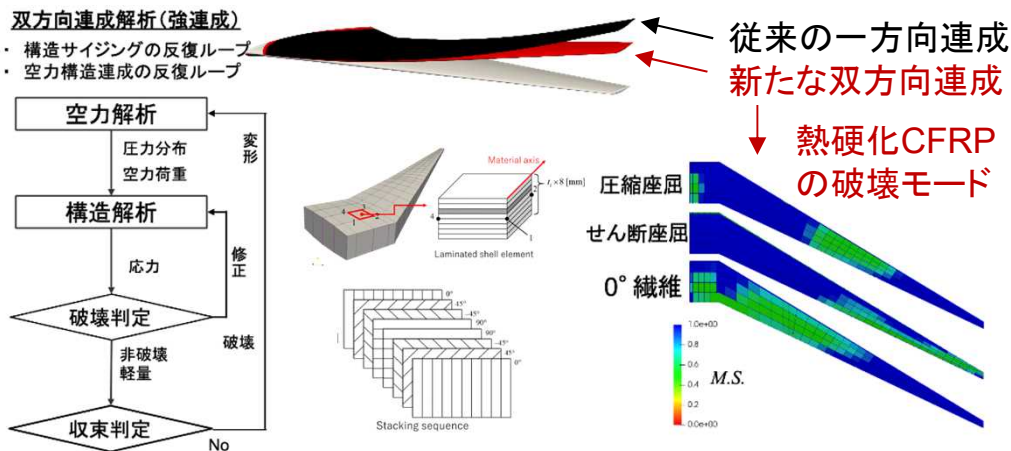
	成果	達成度	今後の課題	解決方針
②	<p>1. 解析に必要な各種一方向材の強度、ヤング率、界面破壊靱性値を取得した。解析との比較検証に用いるためのOHT, OHCデータを取得した。</p> <p>2. 弾塑性解析機能を実装した五面体要素のXFEMにてOHT, OHCのヤング率および強度を10%以内の精度で予測できることを実証した。また、プリポストシステムを含む六面体要素のXFEMによるOHT検証解析を実施した。</p> <p>3. クリップリング試験、層間せん断、層間強度データベースを構築した。</p>	○	<p>1. 面外衝撃特性、CAI強度、Hot/wet環境下でのOHT, OHCデータを取得する見込み。(2022年6月)</p> <p>2. 六面体要素のXFEMへ弾塑性解析機能を実装し、OHT, OHCの検証解析を実施する。(2022年9月)また、平板および部分構造モデルに対する衝撃解析、CAI解析のための曲率を有する連続性シェル要素を用いたXFEMを開発する。(2022年度内)</p> <p>3. 接合要素の強度試験データベースを構築する。(2022年度内)</p>	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の詳細

研究開発テーマ①: 熱可塑性CFRPを用いた機体設計シミュレータの開発

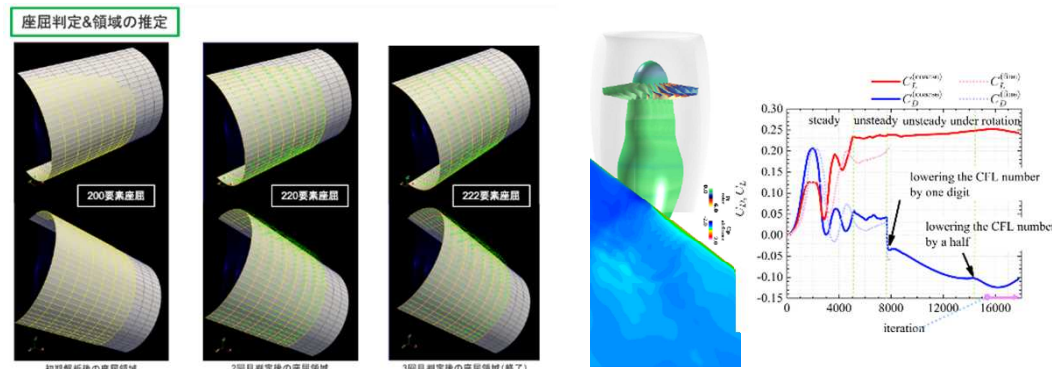
双方向連成解析に基づく主翼構造設計ツールが完成



胴体座屈許容設計・駆動エンジン空力解析ツールの開発

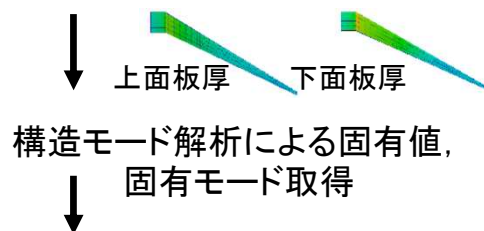
KHI・上智大・東北大の連携で検証中
→座屈許容設計を2022年度中に完成

IHI・電通大によるエンジン位置
変化を考慮可能な解析ツール

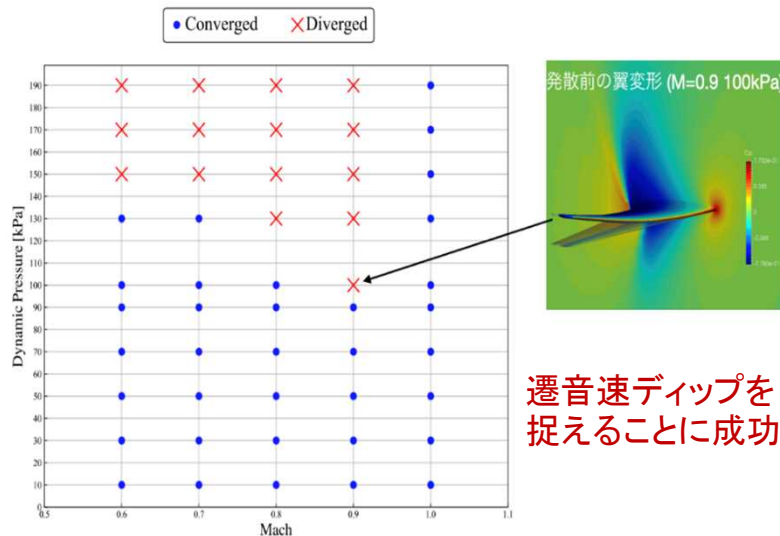


翼ボックス構造を対象とした遷音速フラッター解析ツールが完成

静空弾設計(構造サイジング)



フルポテンシャル遷音速フラッター解析に
基づくフラッタ境界の探索

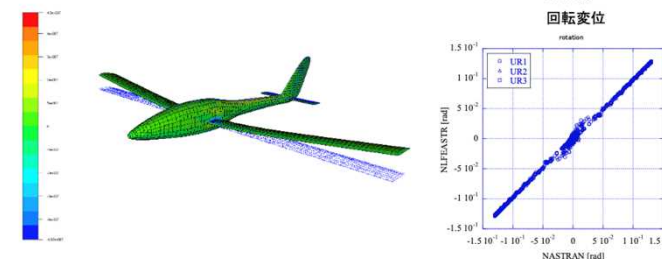


構造解析ツールの要素技術開発

目的: 拘束条件がない場合の構造解析の実施

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{Q}(\mathbf{u}) = \mathbf{F}_{ex} - \sum_{j=1}^m \alpha_j \mathbf{M} \mathbf{d}_j$$

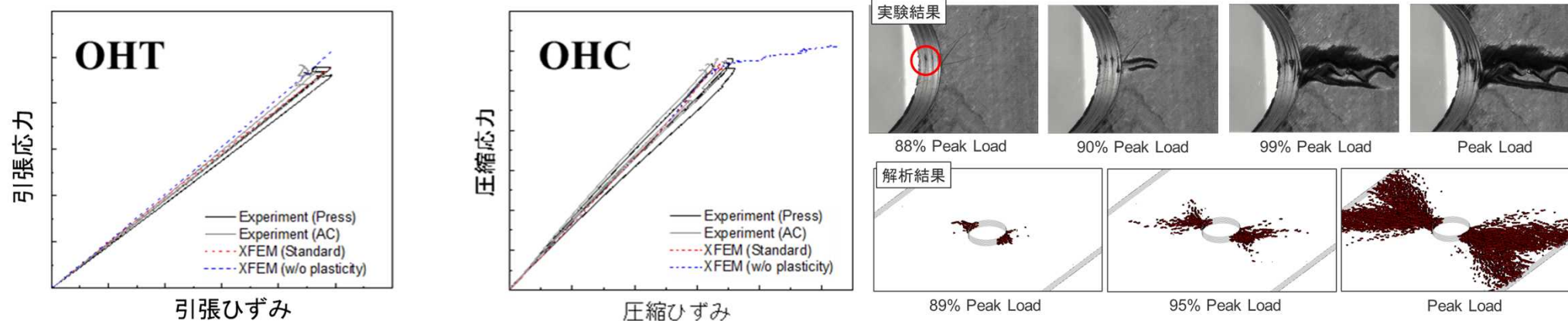
Q: 内カベクトル
 $\mathbf{d}_1^T \mathbf{M} \mathbf{d}_j \alpha_j = \mathbf{d}_1^T \mathbf{F}_{ex}$ M: 質量マトリクス
 \mathbf{d}_j : 参照点まわりの剛体変形モード
 \mathbf{u} : 変位ベクトル \mathbf{F}_{ex} : 外カベクトル
 α_j : 剛体変形モードの加速度



Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の詳細

研究開発テーマ②: 熱可塑性CFRPを対象としたバーチャルテスト技術開発

弾塑性解析機能を実装したXFEMでのOHT(引張特性)、OHC(圧縮特性)解析と実験結果との比較



熱可塑性樹脂の材料非線形性を考慮することで、OHT、OHC強度や損傷挙動を予測できる。

新規開発した六面体要素のXFEM(NLXQ3D)の試行計算

既存熱硬化材データによる評価(熱可塑データベース構築に向けた事前評価)



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」
(新明和工業株式会社)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目):

熱可塑複合材による波板サンドイッチ構造部品の設計ならびに、高生産性を有する成形/接合技術の開発

【中間目標】

1. 新明和の概念設計を基に、500 x 500 mmサイズの海外OEM納入用デモンストレータパネルの詳細設計を行う。
2. 大型サイズの供試体を、製造プロセスの自動化を図りつつ、成形接合プロセスを20分という高速で実施し、品質評価・強度試験を実施することで、次世代軽量フロアパネルの要求を満足することを検証する。

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
1.	概念設計したフロアパネルの性能について海外OEMの合意を取得し、デモンストレータパネルの詳細設計を完了した。	○	製品付加価値向上のための重量削減。	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
2.	500mmサイズの溶着接合が可能であり、一部自動化要素も組み込んだ製造装置及びプロセスを開発し、製造条件に制限はあるものの、表面及び内部品質が良好なパネルの試作を完了した。	△ (2023年2月達成見込み)	短時間サイクルにおけるパネル品質の改善。	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の詳細

成果	詳細内容	写真等
①波板サンドイッチ構造フロアパネルの概念設計	<p>既存の熱硬化ハニカムサンドイッチパネルと同等強度の熱可塑フロアパネルを設計・解析し、材料選定と、板厚・波板形状の決定を行った。(対象は客室中央、客室端、貨物室の3種類)</p> <p>量産価格と性能について既存製品と同等以上の性能を有することを確認し、海外OEMのデザインレビューで評価を得るとともにプロジェクト続行の合意を得た。</p>	<p>貨物室フロアパネル 客室フロアパネル</p>  <p>旅客機胴体</p>
②小型供試体(200mm)による成形接合技術の検証	<p>200mmサイズの波板コアと同サイズの平板を接合可能な装置及びプロセスを開発し、波板サンドイッチ構造の小型供試体を製作した。評価の結果、表面及び内部品質、並びに代表的な機械的強度が海外OEM社の求める基準を満足していることを確認した。</p>	 <p>小型溶着接合装置の外観</p> 
③大型供試体(500mm)による成形接合技術の検証	<p>500mmサイズの波板コアと同サイズの平板を接合可能であり、かつ一部自動化要素も組み込んだ装置及びプロセスを開発し、製造条件に制限はあるものの、表面及び内部品質が良好なパネルの試作を完了した。また、強度試験にて良好な結果も取得し始めており、達成見込みを得た。</p>	 <p>大型溶着接合装置の外観</p> <p>試作した小型及び大型供試体</p>

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」
(株式会社ジャムコ)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目): 高度な一体成形等を可能にするための熱可塑性CFRP部材の成形技術開発

【中間目標】

- ① 寸法、外観、強度などの評価を通じて、**航空機品質を満足する製品を製品化できる見込みがあることを確認する。**
- ② 検査方法など品質保証のための目途づけが終わっている。
- ③ **量産化に向けた製造プロセス**のコンセプトが構築されている。

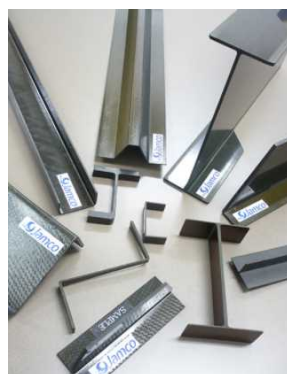
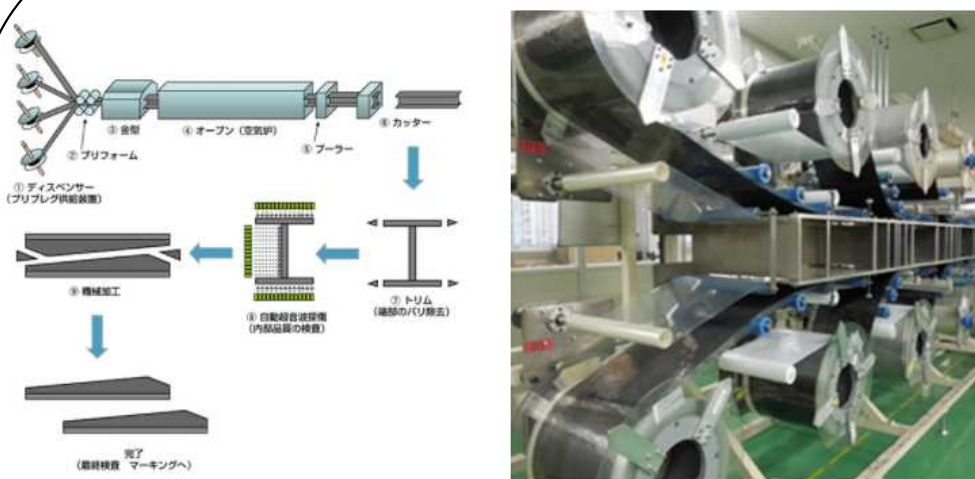
	成果	達成度	今後の課題	解決方針
①	製造難易度が比較的低い単純な形状を持つ対象製品に関しては、試作品の評価結果から、中間目標に掲げた項目(外観寸法、強度など)を達成することができ製品化の見込みが得られた。	△ (2023年2月達成見込み)	製造難易度が高い複雑な形状を持つ対象製品についても製品化の見込みを得ると共に、形状によらず更なる品質の向上と安定化を図る	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
②	暫定的に検査基準を設けて、品質の確認を行った。	○	効率良く、安定して測定できる手法の確立	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
③	成形試験装置を開発し、1/2以下の製品サイズの成形実証試験を行うことで、成形工程における製造プロセスの妥当性を確認した。	△ (2023年2月達成見込み)	積層工程における技術の目途付け	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の詳細

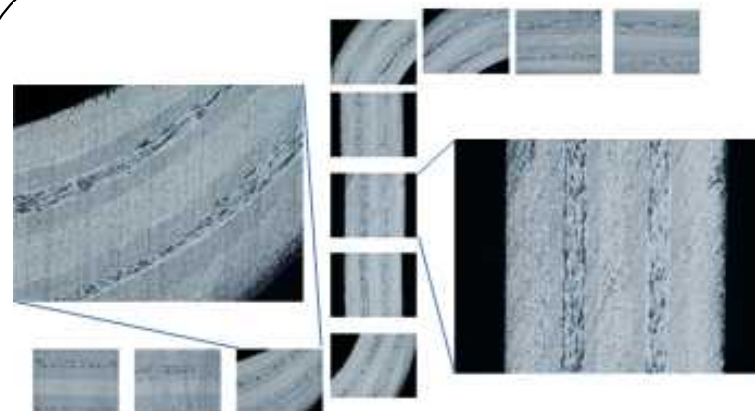
海外OEM向け一次構造部材事業で培った、ADP製法などの当社独自の複合材成形技術を熱可塑性CFRP部品の製造に転用し、航空機品質を有する製品化見込みの確認を行った。又、熱可塑性の特性を活かした複雑形状化や大型化への実証として、成形試験等を行った。

ADP製法:当社で開発したCFRP連続製法



当社HPより

成形試験による実証



- ボイドが少なく品質は良好
- 理論値にほぼ近い強度結果
- 外観はオートクレーブ製法による熱硬化性CFRP製品と遜色無し
- 組立性等に影響しない寸法公差を実現

幅広い製品に対応するため、一定断面の単純な形状だけでなく、複雑な形状を持つ製品の製造プロセスを考案し、成形試験により妥当性を確認中。

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」
(川崎重工業株式会社)

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目：A 自動積層技術、装置の開発

【中間目標】

- ① ロボットを用いた積層装置による、**曲面およびテーパー比20:1程度に対応した自動積層において熱可塑性CFRPの積層方法に**目途を付ける。

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
①	<ul style="list-style-type: none"> ・平面およびテーパー比20:1程度に対応した自動積層において熱可塑性CFRPの積層方法に目途を付けた ・ロボットを用いた積層装置による、曲面に対する熱可塑性CFRPの積層方法に目途を付けた 	<p style="text-align: center;">△ (2023年2月 達成見込み)</p>	<p>曲面およびテーパー比20:1程度に対応した自動積層において熱可塑性CFRPの積層方法に目途を付ける</p>	<p>引き続き研究開発計画に沿った事業の実施</p>

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目：B 成形技術の開発

【中間目標 (1/2)】

以下の達成により、大型・複雑形状部材の成形技術及び一体成形技術に目途を付ける。

- ① 複雑形状対応として、板厚変化（テーパ比20:1程度）を持つスキンの成形技術開発の達成。
- ② **一体成形技術開発として、長さ1,500mm程度のスキンとストリンガーを一体成形する技術開発の達成。**（一体成形技術開発用試験供試体の製造）

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
①	連続成形技術のコンセプト案を策定、および成形トライアルを実施し、成形技術の目途を得た	○	なし	-
②	周方向長さ1,000mm以上 x 長さ1,500mm以上のスキンを一体成形技術を用いたトライアルを実施し、成形技術のコンセプトの目途を得た	○	なし	-

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目：B 成形技術の開発

【中間目標 (2/2)】

以下の達成により、大型・複雑形状部材の成形技術及び一体成形技術に目途を付ける。

- ③ 一体成形された構造物に対し、航空機品質であることを確認するため、
ボイド率3%以下を達成
- ④ スキン/ストリンガーと湾曲部材の接合部強度が、既存接合技術であるリベット結合と同等
(8割程度以上)の強度を達成

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
③	周方向長さ1,000mm以上 x 長さ1,500mm以上のスキンを一体成形技術を用いたトライアルを実施し、成形技術のコンセプトの目途を得た	△ (2023年2月達成見込み)	目標となるボイド率3%を達成するために、成形品質向上を検討する	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
④	クーポンを用いた強度試験では、目標強度を達成している。 (2019年度 NEDO先導研究成果)	△ (2023年2月達成見込み)	航空機構造を用いて、接合強度が目標を満たしていることを確認する	引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

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」
(東レ株式会社)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目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/航空機構造に適用する熱硬化性CFRP部材を高速で熱溶着する高強度接合技術の開発

①実施項目A-1: 熱硬化性CFRPの熱溶着での高強度接合設計

【中間目標】 熱硬化性CFRPを熱溶着した試験片の接合部の破壊じん性値 (G_{IC} 、 G_{IIC}) が、従来材の一体成形と同等以上であることを実験的に実証

②実施項目A-2: 熱硬化と熱可塑の異種CFRPによるマルチマテリアル系構造設計

【中間目標】 熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPの熱溶着接合に対応可能とするプリフォームの開発

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
①	✓ 暫定処方にて、中間目標である従来材の一体成形同等以上の G_{IC} 、 G_{IIC} を達成(ただし、ばらつき大)	△ 2022年6月 達成見込	✓ 安定した G_{IC} 、 G_{IIC} を 発現する接合部の設計	✓ 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
②	✓ 熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPの熱溶着接合を工業的に可能とするプリフォームの基本設計が完了	△ 2022年12月 達成見込	✓ プリフォームの作製	✓ 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目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/航空機構造に適用する熱硬化性CFRP部材を高速で熱溶着する高強度接合技術の開発

③実施項目A-3: 熱硬化性CFRPの熱溶着による**高速接合設計**

【中間目標】ワンパスの接合時間10分以内において、厚みの寸法誤差1%以下

④実施項目A-4: 機体構造部品の**高レート生産プロセス設計**

【中間目標】□500mm 相当の要素形状での実証

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
③	✓ 平板試験片で、中間目標を達成する超音波スポット溶着条件を策定(接合時間1分以内/厚みの寸法誤差0.5%)	○	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 部材サイズでの超音波溶着条件の設定 ✓ 誘電溶着法および抵抗溶着法でのベンチマーク実施 	✓ 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
④	✓ □500mmデモンストレーターの熱溶着組立を熱板溶着で実証し、基本コンセプトの成立性を確認	○	✓ 熱溶着組立デモンストレーションの完成度向上	✓ 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目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/航空機構造に適用する熱硬化性CFRP部材を高速で熱溶着する高強度接合技術の開発

⑤実施項目B-1: マルチマテリアル系**接合部の信頼性保証**(東北大)

【中間目標】マルチマテリアル系への先進評価法(OHT, OHC, NHT, NHC, CAI)の適用による材料物性の取得

⑥実施項目B-2: マルチマテリアル系の**物性データベース構築**(金沢工大)

【中間目標】マルチマテリアル系での接合基部のデータベース構築

⑦実施項目B-3: CFRP接合部の**高速非破壊検査技術の開発**(産総研)

【中間目標】接合面近傍の□5mmの層間剥離、Φ3mmの空隙を検知可能な非破壊検査手法の同定

	成果	達成度	今後の課題	解決方針
⑤	✓強度/損傷シミュレーションにより、熱溶着接合前後の接合基部が母材同等の力学特性であることを確認	○	✓接合部の信頼性検証方法の方針策定	✓引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
⑥	✓データベース取得の一巡目が完了し、溶着層による接合基部の特性変化は無視できることを確認	△ 2022年12月 達成見込	✓低温/吸水環境下での試験環境整備および耐久性評価の開始	✓引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
⑦	✓レーザー超音波+独自の画像解析により、中間目標を達成可能な見通しを獲得	△ 2022年12月 達成見込	✓部材形状での欠陥検出精度の検証	✓引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の詳細

実施項目A-1) 熱硬化性CFRPの熱溶着での高強度接合設計

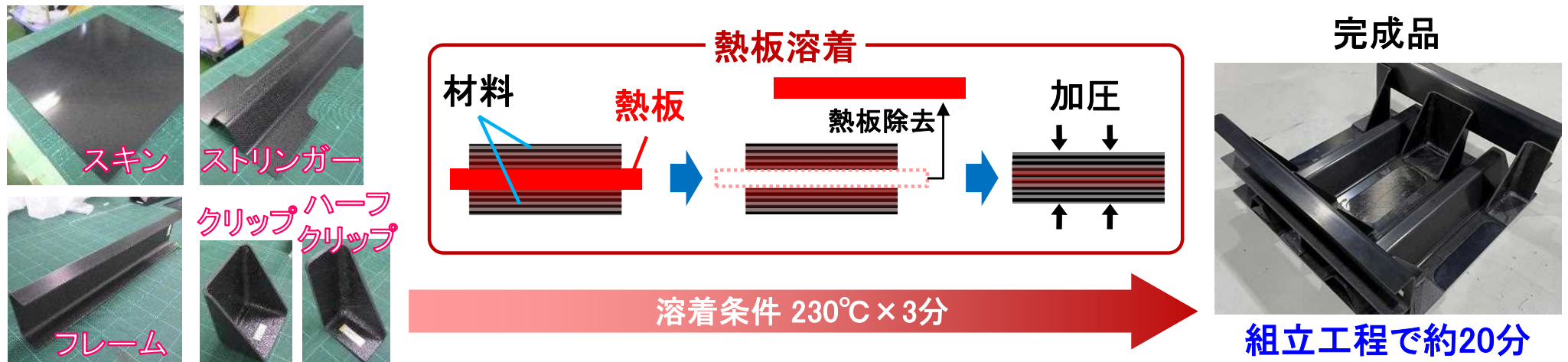
※シングルラップシヤ	中間目標	最終目標	開発材料		従来材一体成形
			暫定処方	中間評価処方(想定)	
溶着方法	熱板溶着	高速熱溶着	熱板溶着	熱板溶着	溶着層なし
接合時間	10分以内	3分以内	6分	6分	数時間のオートクレーブ成型
G_{IC} (CV)	600J/m ² (-)	600J/m ² (≤10%)	1400J/m ² (>20%)	1400J/m ² (≤10%)	600J/m ² (≤10%)
G_{IIC} (CV)	2000J/m ² (-)	2000J/m ² (≤10%)	2000J/m ² (>20%)	2000J/m ² (≤10%)	2000J/m ² (≤10%)
接合強度※	-	≥30MPa	≥30MPa	≥30MPa	30MPa

青字: 中間目標

開発条件処方では中間目標達成、接合特性の安定発現が今後の課題

実施項目A-4) 機体構造部品の高レート生産プロセス設計

熱溶着可能な熱硬化性CFRP(産業用)製パーツ ... オートクレーブ成型: 130°C × 2hrで製作



熱硬化性CFRP部材を使用した□500mmデモンストレーターの熱板溶着による高速組立(ワンパス10分以内)によって、技術コンセプトの成立性を確認 39

◆ 成果の普及

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
論文	4	4	-	8件
研究発表・講演	12	15	-	27件
受賞実績	-	2	-	2件
新聞・雑誌等への掲載	-	5	-	5件
プレス発表	-	1	-	1件

※2022年3月末現在

◆ 知的財産等の取組

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願(うち外国出願)	-	3	-	3件

※2022年3月末現在

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

本事業は、「実用化」を目指すプロジェクトである。

本事業における「実用化」の考え方

本事業における実用化とは、
当該研究開発で開発した「熱可塑CFRP」に係る設計ツール、
航空機品質での部品製造技術、接合技術・サービス等が検
証と妥当性確認を明確に実行されて、実用に供される基準
に達していることを実用化と定義する。

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」
(東北大学)

◆実用化に向けた戦略

【全体】

航空機計算科学センター(ACS)によるサービス提供

実用化イメージ

航空機計算科学センター(流体研スパコン)で、すべての成果物(ソフトウェア、データベース)を利用可能にする。

研究開発時の取組

航空機計算科学センターに、すべての成果物(ソフトウェア、データベース)を実行・利用可能な形で集積する。

研究開発終了後の取組

航空機計算科学センターが、すべての成果物(ソフトウェア、データベース)を継承・発展させ、スパコン有償利用の提供と企業のコンサルティングを行う。

【研究開発テーマ①】

熱可塑性CFRPを用いた機体設計シミュレータの開発

実用化イメージ

航空機メーカーが航空機開発時の概念設計などに使用し、主要設計パラメーターの効率的な特定を支援するツールをイメージ。

研究開発時の取組

- ・航空機開発での使用に適したツールとするため、航空機メーカーが研究開発に参画し、ツールに求める機能・制約を明確にする。
- ・国外の航空機メーカー、研究者が参加するワークショップを開催し、航空機開発に必要とされる機能、ツールに取り込める最新技術等の情報を収集し、ツール開発に反映する。
- ・航空機メーカーが、航空機開発で用いる空力／構造解析ツールとの比較を通じて、必要な機能、利便性、汎用性が確保できる目途を得る。

研究開発終了後の取組

- ・ツールの本格的な検証作業は、適用される航空機開発プロジェクトの中で実施される。ここでは、航空機開発で用いる空力／構造解析ツールを用いて、機体設計シミュレーターを構成する解析モデルの個別検証、および、シミュレーターで得られた設計の最適化の度合の評価作業が想定される。

【研究開発テーマ②】

熱可塑性CFRPを対象としたバーチャルテストング技術開発

実用化イメージ

東レ(株)等の材料メーカー、川崎重工業(株)等の航空機メーカーが航空機開発における構造認証試験計画等で使用し、**認証に必要な材料・構造試験の低コスト化を支援するツール**をイメージ。

研究開発時の取組

- 航空機開発での使用に適したツールとするため、開発実績のある材料メーカー、航空機メーカーが研究開発に参画し、ツールに求める機能・制約を明確にする。
- 国外の航空機メーカー、研究者が参加するワークショップを開催し、必要な機能、ツールに取り込める最新技術等の情報を収集し、ツール開発に反映する。
- ツールから得られた解析結果と構造試験結果を比較し、必要な機能・精度が確保できる目途を得る。
- 熱硬化性CFRPを対象とした解析ツールを既に完成させており、このツールをCFRTPにも対応可能なものにするために材料非線形性を含んだ損傷解析コードを新たに実装する。

研究開発終了後の取組

- ツールの本格的な検証作業は、航空機開発プロジェクトの中で実施される。
- この検証作業は、ビルディング・ブロック・アプローチとして材料レベルから積み重ねる構造試験と並行して進めることが想定される。

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」
(新明和工業株式会社)

◆実用化の見通し

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構築し、事業化に向けて取り組む。

Step①熱可塑性CFRPフロアパネルを海外OEM細胴機へ適用



Step②熱可塑性CFRPフロアパネルを海外OEM広胴機へ適用



Step③熱可塑性CFRPフロアパネルをその他OEMの機体へ適用

クラス別運航機数および納入機数



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」
(株式会社ジャムコ)

◆実用化の見通し

1.コスト見込

一般的なプレス製法や熱硬化性CFRP製法に比べて、**材料廃材率が小さく、製作工数も少ないため、製造コストは安価となる。** 更に、高圧プレス装置等の設備が不要なため設備投資額も抑制される。

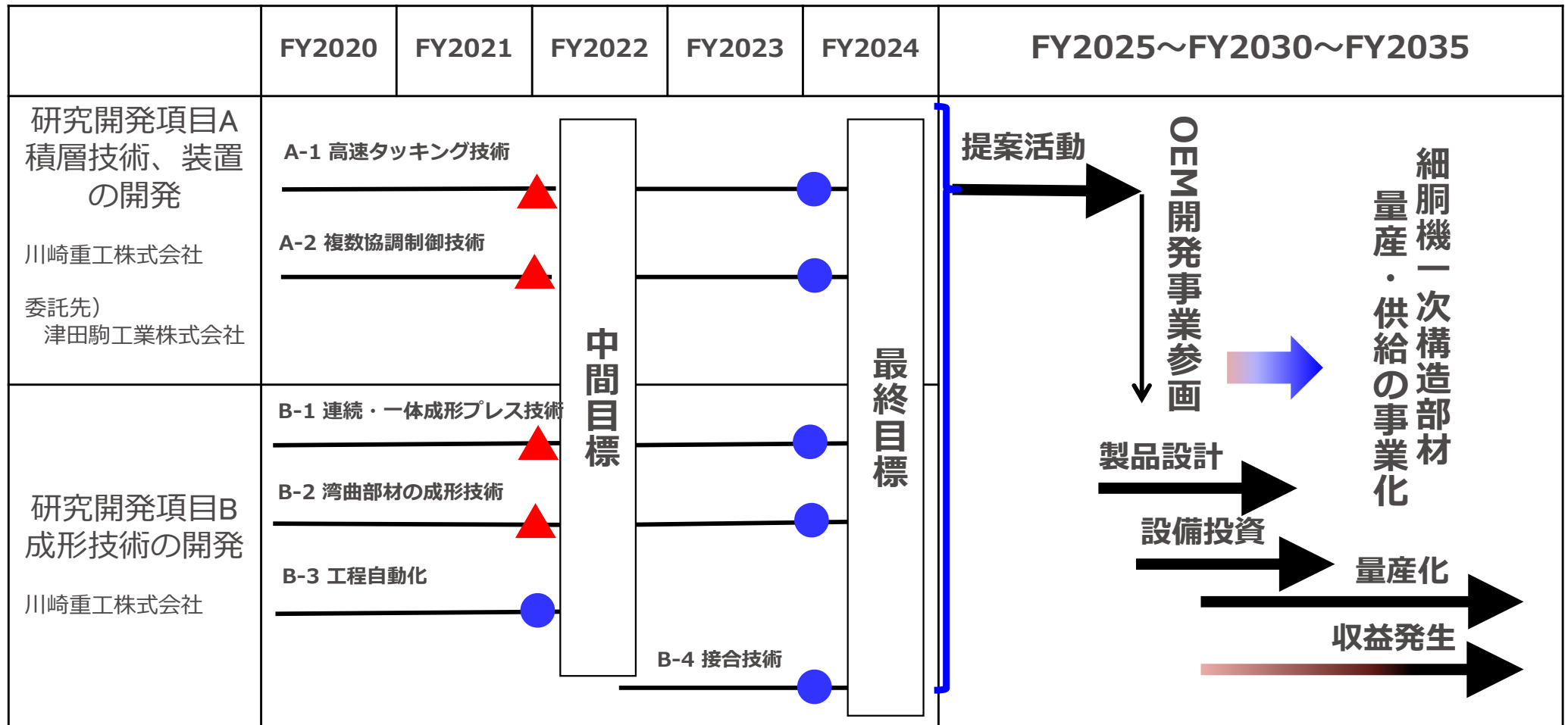
2.製品イメージ

一般的なプレス製法や熱硬化性CFRP製法に比べて、コスト、品質、組立性等に優れた熱可塑性CFRP部材が、実証試験等を経て機体構造部材として認定されると、**従来より軽量で環境負荷の少ない航空機が低コストで製造できるようになる。**

3.売上見込み

今後の航空機需要の回復と共に、機体の老朽化による買換え需要等で単通路機等の小型機の需要拡大が見込まれる。

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」
(川崎重工業株式会社)



▲ : 基本原理確認

● : 基本技術確立

◆ 他国の研究開発動向

特に欧州においてはClean Sky2及びTAPASにおいて、A320後継機を目標とした熱可塑性CFRPによる大型実証構造の研究開発が活発に行われている。

⇒ 技術課題によりまだ実用化には至っていない。

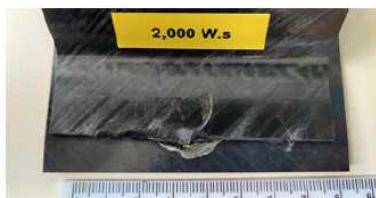
STUNNING project
(smart multi-functional and integrated thermoplastic fuselage)

a) Stringer welding process

- 1) Stringer picked
- 2) Stringer placed on the skin
- 3) Ultrasonic welding



b) Sample of welded stringer



An demonstration of jig-less end-effector stringer-to-skin ultrasonic welding process.

Thermoplastic Composite Demonstrators

PROGRAM			PROGRAM			PROGRAM					
TAPAS 1			TAPAS 2			CLEAN SKY IN SITU CONSOLIDATION			FRENCH CIVIL AVIATION RESEARCH COUNCIL (CORAC)		
PARTICIPANTS			PARTICIPANTS			PARTICIPANTS			PARTICIPANTS		
Dutch/Airbus Partnership Fokker, Airborne (The Hague), CoDeT (Delft), Dutch Thermoplastic Components (Almere), KE-works (Delft), KVE Composites (Den Haag), NLR, Technobis (Alkmaar), TenCate, TUDelft, Univ. of Twente, Rijksuniversiteit			Leonardo Aircraft (previously Finmeccanica, Rome, Italy), ADS, FIDAMC, MTorres			ADS, FIDAMC, MTorres, Tecnilia (Derio, Spain), CATEC (Seville, Spain), CTA (Miyano, Spain)			STELJA (Méaulte), Pocher (Lyon), AVIACOMP (Lausanne), Cetim (Nantes), Groupe Institut de Soudure, SINTEX NP (Genoa)		
STRUCTURE			STRUCTURE			STRUCTURE			STRUCTURE		
Fuselage Panel (40T form)			Wing Torsion Box			TPC floor grid • Cockpit frame • Window frame			Wing panel (4.2m x 0.9m)		
Torsion Box (2m span)			Larger, more integrated fuselage structure			Window Frames			Fuselage with integrated lightning strike protection, welded stringers, formers, overmolded argon/wheel access door		
1990			2000			2010			GOAL: Fuselage section with integrated window frames		
First Series Production Integrated Center Site			First Primary Structure Standard UV Resin Form (Composites)			First Low Temperature Resin Wing Leading Edge A340			First Full-size Fuselage		
First Welded Assembly: HIC door (A320)			First Low Temperature Resin Wing Leading Edge A340			First Substrate Welded Control Surface G550			First Co-consolidated Torsion Box A320		
A350 Wing Root Landing Gear			A350 Wing Root Landing Gear			A350 Wing Root Landing Gear			A350 Wing Root Landing Gear		
Co-consolidated Floor Beam			First Co-consolidated Torsion Box A320			First Co-consolidated Torsion Box A320			First Co-consolidated Torsion Box A320		
TAPAS2 Targets: Primary stiffened-skin UD-based structures			TAPAS2 Targets: Primary stiffened-skin UD-based structures			TAPAS2 Targets: Primary stiffened-skin UD-based structures			TAPAS2 Targets: Primary stiffened-skin UD-based structures		

CLEAN SKY 2 + CORAC

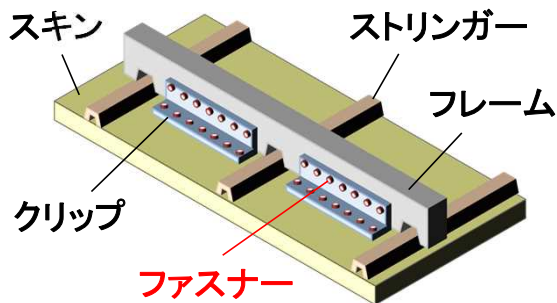
CORAC will develop the THERMOSET center wing box design (one shot CFRP CWB) via "Investing in the Future" PIA, PIA2 programs for input into Clean Sky WP2.3 and will also develop and validate next generation lower fuselage section subassemblies.

CORAC and Clean Sky 2 WP2.3.2 and WP2.3.3 will pursue smart fuselage and components using hybrid materials: CFRP, metal, prepreg, textile and TPC.

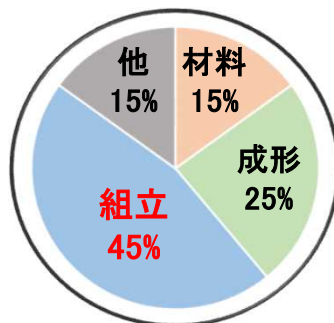
③「航空機部品における複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発」
(東レ株式会社)

◆実用化の見通し

- 現状CFRP機の製造 → **組立工程がボトルネック**
- 多様な工程(寸法調整/接着/穿孔/締結) → **製造時間・コスト増大**

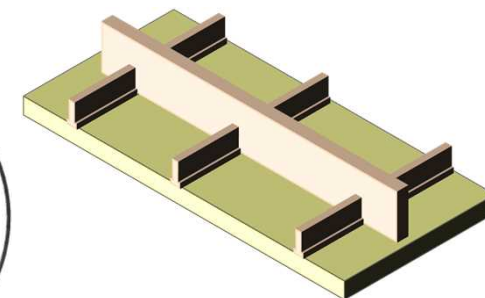
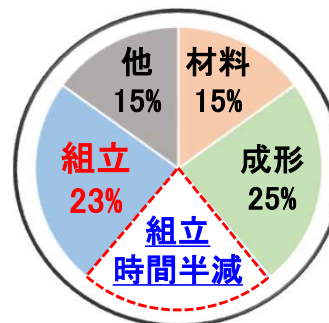


現行の接合構造



**ハイブリッド
接合技術**

787 胴体・主翼
推定コスト構成



ファスナーレス構造

ボーイング社との連携

- CFRP適用の促進に向けて、設計・材料・部品生産の広範な領域に対して、**ボーイング社と東レが共同開発を進めることで合意** (2014年公表)
- 共同開発の枠組みを活用して、本プロジェクトで開発した新技術の評価や目標設定を実施中



ボーイング社によるプレスリリース (2019年1月)

- 将来航空機に必要な技術分野の協力強化で**METI**と合意
- 対象技術: 電動化技術、**複合材製造技術**、自動化技術
- 複合材製造技術の材料メーカーは**東レ**のみ出席