

「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」

中間評価報告書

2022年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

2022年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果
について報告します。

「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」

中間評価報告書

2022年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-5
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-17
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」の中間評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第 70 回研究評価委員会（2022 年 10 月 31 日）に諮り、確定されたものである。

2022 年 10 月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2022年6月13日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 現地調査会（2022年6月2日）

新明和工業株式会社 甲南工場（兵庫県神戸市）

● 第70回研究評価委員会（2022年10月31日）

「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」

中間評価分科会委員名簿

(2022年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	しぶたに ようじ 渋谷 陽二	大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授
分科 会長 代理	たなか かずと 田中 和人	同志社大学 生命医科学部 医工学科 教授
委員	あらい まこと 荒井 誠	株式会社日本政策投資銀行 企業金融第2部 航空宇宙室長
	たなか ひろあき 田中 宏明	防衛大学校 システム工学群 航空宇宙工学科 教授
	つじ さきこ 辻 早希子	株式会社三菱総合研究所 経営イノベーション本部 主任研究員
	にしやぶ かずあき 西籘 和明	近畿大学 理工学部 機械工学科 教授
	よこざき ともひろ 横関 智弘	東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 准教授

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

航空機産業が直面している航空機のエネルギー消費や製造時・使用後の CO₂ 排出量の削減といった課題に対して、次世代複合材の創製・成形技術開発を行うことは意義がある。特に、熱可塑性 CFRP に関わる技術の精度を高め、信頼性のある航空機部品・部材づくりを目指して取り組まれている本事業は、今後の航空機産業を発展させるだけでなく、炭素繊維に関わる我が国の素材産業の強みを基盤に、それを活用した部品産業、部材産業、そして組立産業の振興にもつながるものであり、NEDO の事業として妥当である。

また、日本を代表する航空機製造分野の機関からなる体制で、航空機メーカー等としっかり連携しながら、ターゲットとする機体等の開発が進められており、中間目標に対し概ね当初計画通りの成果を出し、一部顕在化した課題に対しても解決策を確認していることは評価できる。

一方、各技術に対するメカニズム解明や裏付けデータなどの技術基盤構築は、技術の実用化や波及につながる力を獲得するために重要である。しかし、まだ十分な連携が見えないため、これまで以上に基盤的な協調領域での産学官連携など図ってほしい。また、将来の日本の技術力向上や産業創出のために、得られた失敗や教訓などを共有化することも期待したい。さらに、金属にない熱可塑性 CFRP の特性等を踏まえ、直接の想定顧客に加え、潜在的に可能性があるその他のユーザーや UAM、UAS といった次世代空モビリティ業界、その他分野の業界との対話も進めていただくことを期待したい。

注) CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)、UAM(Urban air mobility)、
UAS (Unmanned Aircraft Systems)

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

航空機の燃費改善、環境適合性向上、整備性向上、安全性向上に加え、高い生産性と低コスト化が航空機製造業に強く求められている中、本事業は、それらの課題を解決するための要素技術として次世代複合材、とりわけ熱可塑性 CFRP を対象とした創製・成形技術を開発するものであり、NEDO 事業の目的として妥当といえる。

また、炭素繊維に関わる素材産業における優位性を担保しながら、複合材を用いた部材の低コスト化、高レート成形組立技術の確立という目標は適切であり、我が国の国際競争力を高めることが期待される。

さらに、航空機開発は長期に亘り、民間のみでの実施はリスクが高いことから、開発実現に向け NEDO の支援が必要といえる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

各社の保有技術や強み、ユーザーニーズや市場トレンドをふまえ、技術の具体的な適用先

とその要求スペックが想定され、明確な目標設定や成果の推計が行われており評価できる。

一方、研究開発項目によっては、機関間連携や各研究開発項目に共通する技術や知見の共有に向けた取組みが見て取れなかったことから、各機関が開発する材料や構造要素に関しては、成形・製造のデモンストレーションだけでなく、材料特性や構造強度特性といった取得すべき基礎特性の知見の共有化を、可能な限り図ってほしい。さらに、加工等で問題となっている現象に関しては、産学官連携等の推進を図ることにより、開発の効率を上げ、日本全体の複合材技術力向上や人材育成につながる取組みも期待したい。

2. 3 研究開発成果について

いずれの研究開発項目においても中間目標に対し概ね当初計画通りの成果を出せており、一部顕在化した課題に対しても、解決策を確認し、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。

知財権の確保と技術の秘匿については、知財化すべき要素とノウハウとしてクローズする要素を分けて戦略的に検討・実行され、ユーザーレビューを取り入れながら開発が進められており、社会実装という最終目標を目指して具体的・計画的に研究開発が実施されている。

一方、多くの成果がノウハウを含む内容であり、秘匿の事情は理解できるものの、今のところ積極的な成果の情報発信が行われていない感がある。今後、可能な範囲で、論文、国際会議、国際標準化、特許出願、プレスリリース等を通じて、公開できる成果は世界や国民に向けて積極的に発信し、国民の関心の喚起、海外との交流の深化、日本のプレゼンス向上に努めていただきたい。

また、日本の技術力向上や産業の創出を図る基盤力のためにも、目標の達成度を評価するだけでなく、研究過程において得られた失敗や教訓などを共有化する努力や活動に期待したい。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

航空機メーカーと研究協力もしくは意見交換を継続する中で、ターゲットとする機体等を想定し、要件を定め、実用化に向けたマイルストーンを明確にして開発が進められており、効率的な開発ができていると考えられる。

一方、熱可塑性 CFRP を、航空機産業に寄与する製品に仕上げていくことはもちろんではあるが、その応用性はより広範囲にあると考えられる。航空機以外の輸送機器や機械装置の軽量化など、例えば UAM、UAS 等の新しいモビリティや他業界への適用可能性があるため、これら周辺業界のニーズも把握していただきたい。さらに、研究開発過程で得られた金属にない熱可塑性 CFRP の特性を、種々の広報手段等により伝え、新たな適用範囲を開拓していただきたい。

研究評価委員会委員名簿

(2022年10月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	きの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー
	あたか たつあき 安宅 龍明	元先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	技術ジャーナリスト
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム 教授
	ところ ちはる 所 千晴	早稲田大学 理工学術院 教授 東京大学 大学院工学系研究科 教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学 先端科学技術研究センター ライフサイクル工学分野 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャ
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第70回研究評価委員会(2022年10月31日開催)に諮り、本評価報告書は確定された。
研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

航空機産業が直面している航空機のエネルギー消費や製造時・使用後の CO₂ 排出量の削減といった課題に対して、次世代複合材の創製・成形技術開発を行うことは意義がある。特に、熱可塑性 CFRP に関わる技術の精度を高め、信頼性のある航空機部品・部材づくりを目指して取り組まれている本事業は、今後の航空機産業を発展させるだけでなく、炭素繊維に関わる我が国の素材産業の強みを基盤に、それを活用した部品産業、部材産業、そして組立産業の振興にもつながるものであり、NEDO の事業として妥当である。

また、日本を代表する航空機製造分野の機関からなる体制で、航空機メーカー等としっかり連携しながら、ターゲットとする機体等の開発が進められており、中間目標に対し概ね当初計画通りの成果を出し、一部顕在化した課題に対しても解決策を確認していることは評価できる。

一方、各技術に対するメカニズム解明や裏付けデータなどの技術基盤構築は、技術の実用化や波及につながる力を獲得するために重要である。しかし、まだ十分な連携が見えないため、これまで以上に基盤的な協調領域での産学官連携など図ってほしい。また、将来の日本の技術力向上や産業創出のために、得られた失敗や教訓などを共有化することも期待したい。さらに、金属にない熱可塑性 CFRP の特性等を踏まえ、直接の想定顧客に加え、潜在的に可能性があるその他のユーザーや UAM、UAS といった次世代空モビリティ業界、その他分野の業界との対話も進めていただくことを期待したい。

注) CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)、UAM(Urban air mobility)、
UAS (Unmanned Aircraft Systems)

<肯定的意見>

- ・ 熱可塑性 CFRP に関わる技術開発の精度を高め、信頼性のある航空機部品・部材づくりを目指して取り組まれる点は、今後の我が国の航空機産業を発展させる国策になる。NEDO の継続的な支援がその牽引力となって成長することが大いに期待できる。炭素繊維に関わる我が国の素材産業の強みを基盤に、それを活用した部品産業、部材産業、そして夢のある組立産業の振興につながることを切望している。
- ・ 熱可塑性 CFRP の研究開発について、国内においては、熱可塑性 CFRP のプリプレグ作製など素材の開発ばかりに注目が集まっており、用途開発については不十分であったと言わざるを得ない。本プロジェクトにおいて、熱可塑性 CFRP 部材の実用化において極めて重要となる、設計、成形・加工、接合に関する研究開発を取り上げていることは高く評価出来る。一方で、熱可塑性 CFRP だけに未来があるわけではなく、熱硬化性 CRRP や金属も含めて適材適所に利用することが望まれる。機体設計技術開発において、熱可塑性 CFRP にも対象を広げた設計ツール開発を行っていること、他材料間の接合技術開発を実施していることも高く評価出来る。
- ・ 今後の航空需要の 70%を占めると予想される細胴機向けの搭載は日本の航空産業の大きな成長に資するものであり、取組意義の高い分野と認識できる。各プロジェ

クトとも想定ユーザーや再委託先と確り連携しながら、概ね当初計画通りのスケジュールで且つターゲットとする機体等を定めて開発を進めており、中間段階で概ね当初計画通りの成果を出し、一部顕在化した課題も解決策を確認しており、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。

- ・ 将来航空機産業の発展、環境性向上に向けた重要な課題に取り組んでおり、各研究開発項目の設定も概ね妥当であり、かつ、順調に進んでいると考える。国内で競合する事業者を含む研究開発実施体制の中、バランスを取りながら研究・開発を進められていると思う。
- ・ 全般として、技術の適用先を具体的に見据え、要求達成に向けて検討が進められており、順調に遂行されていると考えられる。
- ・ 本事業は航空機産業が直面している課題を解決するため、次世代複合材の創製・成形技術開発を行い、航空機のエネルギー消費や製造時・使用後の CO₂ 排出量を削減することを最終の目標に設定されていることは意義深い。熱可塑性 CFRP の特徴を活かした航空機構造部材の設計・製造を実現するための設計ツールを用意され、また熱可塑性 CFRP の高い生産性と再溶性を活かした連続成形や溶着接合技術を、先行している欧州の技術とは異なる独自の技法で解決されようとしていることは高く評価される。特に、我が国の航空機製造業が最も得意とする高品質製造を訴求することに重点を置き、金属加工業で培われた金型の設計・製造技術で熱可塑性 CFRP 製造を行うことは古くて新しい、革新的な派手さよりも実益を重んじる日本ものづくり技術の手本となり得る。
- ・ 熱可塑 CFRP を主な対象とした成形・接合・設計解析技術を統合する研究開発であり、NEDO 事業として非常に有意義な研究開発である。日本を代表する航空機製造分野の機関からなる体制であり、日本の国際競争力を確保するための研究開発成果が得られるものと考えられる。各研究開発項目の進捗も良好であり、十分な成果が得られており、一層の研究開発の加速を期待する。

<改善すべき点>

- ・ 技術開発に関わる研究開発項目の実施とともに、知財における戦略、そして世界標準につながる産学官の連携にも絶え間ない議論が不可欠である。また、今後の本件に関わる商業活動を有利に進めていくことのできる素地づくりにもアイデアを出していただきたい。そして、その学術的、定量的な根拠となる解析技術であったり、使いたい／使わなければならないと思われる設計支援技術としてのシミュレータであってほしいと思う。換言すれば、研究開発項目①は、全項目に関わる学術的な根拠づくりの解析ツールであり、設計条件や仕様の策定における条件出しに大きく貢献できる設計支援ツールになることを期待する。
- ・ ノウハウとしてすべてを囲い込むような技術開発であるならば、NEDO の事業としてはふさわしくないと考えられる。また、国際競争力の確保のためには十分な知的財産の管理が必要と考えられる。

- ・ 技術融合の観点ではやや個社研究の要素が強い部分もあるため、研究項目間連携や他の日本企業連携により、個社だけでなく日本の航空産業としてより高い競争力が発揮できる形を実現して欲しい。
- ・ 各事業者間での交流が少なく感じた。日本として熱可塑性 CFRP の航空機への適用における国際競争力を高めるためにも、参加事業者間での交流がより活発である方が良いように思う。
- ・ 得られた成果を広く社会に還元するため、直接の想定顧客に加え、潜在的に可能性があるその他のユーザーや UAM、 UAS といった次世代空モビリティ業界、その他業界との対話も進めていただくことを期待している。
- ・ 実施者が設定した個々の研究開発項目を遂行し、その目標に到達することに加え、他の実施者と相互連携を図り、本事業全体での成果物としての開発課題を設定し、広く見える形にすべきである。その方法としては、それぞれの実施者による特許出願や学会・展示会などへの公表、顧客企業への技術提供だけでなく、本実施者全体で取り組むよう、今後改善されるべきである。なお、今回の中間評価資料では成果の技術のポイントが明確でなく、不鮮明な記載が散見されるため、今後はその成果資料の作成においては詳細で分かりやすい記載になるよう十分に配慮されるべきである。また、本事業の申請時および開発着手前段階から知財調査および特許出願を済ませて取り組む必要があり、今後改善すべきである。
- ・ 製造・実証のみならず、各技術に対するメカニズム解明や裏付けデータなどの技術基盤構築にも力を注いでいただきたい。その基盤的技術力こそ、技術の実用化や波及につながる力を獲得するために重要である。基盤的な協調領域での大学／企業、企業間連携などの横串を通してほしい。

<今後に対する提言>

- ・ 目標の達成に留まらず、さらに高見を目指した目標設定を自ら課すことも場合によっては必要と思う。そのことが、企業内での若い人材育成を通じた技術の伝承につながり、結果的には航空機産業が国力増強につながる産業へと成長することになる。
- ・ 競合する成形・加工メーカーの協業は難しいとしても、装置メーカーや金型メーカー、素材メーカーなどとの協業および官学との有機的なプロジェクト推進により、より迅速かつ適切に技術開発が進むものと考えられる。
- ・ 細胴機は航空需要のボリュームゾーンであり、競合する欧米勢も搭載に向け開発を推進していくことが予想され、急速に技術面でキャッチアップしてくる中で、厳しい競争も考えられることから、欧米勢の開発動向も適切にフォローすると共に、想定ユーザーとの連携に加え、国内での企業間また産学官連携を推進する中で、より高い技術優位性を獲得し、オールジャパンで実用化を実現して欲しい。
- ・ 競合する事業者間の連携は難しいと思うが、産学の連携は進められるのではないかと思う。特に、加工等で問題となっている現象に関して、学術理論的なサポートを行うことで、開発の効率を上げられるのではないかと思う。学側でも優秀な研究者

が多く参加されているので、産学の交流強化を願う。また、事業者間でも世界的な技術動向など一般的な情報交換は可能ではないかと思うので、交流が進むことを望む。

- 成果の事業化に向けた戦略は明確であり、それぞれの研究テーマが目指す適用先に向かって引き続き尽力いただきたい。今後は、直接の出口として想定している目標の実現に向けた活動に加え、周辺産業での事業化の可能性検討や航空機構造部位における我が国の国際競争力強化に向けた提言、熱可塑性樹脂複合材料のリサイクル技術開発との連携等、成果の社会還元の最大化に向けた活動についても検討いただけるとよい。
- 熱可塑性 CFRP の製造においては金型や成形など、金属やプラスチックなどの“ものづくり基盤技術“が強く求められるのは明らかであり、航空機の部材製造や組み立てとはいえ、ハイサイクル・低コスト・環境適合においては航空機産業以外の方がかなり進んでいる感があり、航空機製造以外の他の産業分野や専門の立場から忌憚のない指摘や意見を広く聞き入れることに加え、得られた成形品等の評価は学術的かつ科学的な視点から正当に行い、査読論文等の検閲を得た上で、分かりやすい資料作成を行い、本事業の成果を国内外へ積極的に広報されることが望ましい。
- 研究開発の過程において、中間目標や最終目標の達成も重要であるが、得られた失敗や教訓などを共有化することは、将来の日本の技術力向上や産業創出のための大きな成果となると考えられる。目標の達成だけでない成果の創出（知見や教訓の共有など）も期待したい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

航空機の燃費改善、環境適合性向上、整備性向上、安全性向上に加え、高い生産性と低コスト化が航空機製造業に強く求められている中、本事業は、それらの課題を解決するための要素技術として次世代複合材、とりわけ熱可塑性 CFRP を対象とした創製・成形技術を開発するものであり、NEDO 事業の目的として妥当といえる。

また、炭素繊維に関わる素材産業における優位性を担保しながら、複合材を用いた部材の低コスト化、高レート成形組立技術の確立という目標は適切であり、我が国の国際競争力を高めることが期待される。

さらに、航空機開発は長期に亘り、民間のみでの実施はリスクが高いことから、開発実現に向け NEDO の支援が必要といえる。

<肯定的意見>

- ・ 航空機産業はポストコロナにおける拡大分野であり、我が国としても自動車産業に次ぐ主要産業として成長させなければならない国策の1つと考える。部品点数の観点からも、自動車部品の約50倍以上あり、その部品を製造するサプライチェーンの拡大が期待できることから、日本の産業を下支えする中小企業の活性化を促す大きな起爆材にもなる。炭素繊維の素材産業の優位性を担保しながら、部品産業・部材産業の成長を本プロジェクトが駆動することになり、NEDO の事業として妥当であるというよりも不可欠な事業と考える。
- ・ 複合材を用いた部材の低コスト化、高レート成形組み立て技術の確立は、我が国の国際競争力強化のために必要不可欠であり、NEDO が関与する事業として適していると評価出来る。
- ・ 複合材等の最先端技術開発は、今後の航空需要の70%を占めると予想される細胴機向けの搭載を想定している。この複合材の搭載が実現することで、細胴機における燃費改善や環境適合性向上の要請に応え CO₂ 削減に貢献するとともに、大きな航空需要を確保することになり、日本の航空産業の競争力強化及び成長にも大きく資すると認められることから、事業目的としては妥当である。また航空機開発は長期に亘り、民間のみではリスクが大きいことから、開発実現に向け NEDO が支援することは妥当と考えられる。
- ・ 熱可塑性 CFRP 技術の発展は、従来の CFRP に比べ高レートでの機体製造につながる技術であり、軽量の航空機の利用拡大、航空産業全体での環境性の向上に係る重要な課題であると考ええる。また、航空機産業はすそ野が広く将来性のある分野であり、今後の国際競争力を高める意味でも、NEDO の事業として実施することは妥当と考える。
- ・ 軽量化・燃費向上、環境負荷低減といった社会要請に対応し、航空機産業における我が国としてのサプライヤービジネスの国際競争力強化という観点で重要な事業であると考えられる。

- ・ 本事業は、航空機の燃費改善、環境適合性向上、整備性向上、安全性向上に加え、高い生産性と低コスト化が航空機製造業に強く求められており、それらの課題を解決するための要素技術として次世代複合材、とりわけ熱可塑性 CFRP を対象とした創製・成形技術を開発することにより、エネルギー消費量と CO₂ 排出量を大幅に削減することを最終目標とし、開発から採用に至る長い期間を要する大きなリスクのため、単独企業での開発ではなく産学官の密接な連携の下で実施される必要があり、NEDO 事業として妥当であると思われる。加えて、本事業で得られた成果の公表を通じて、航空機産業を通じた国際貢献度が諸外国からも認知されるようになり、また国内においては航空機のみならず他の輸送機等への波及効果や若い技術者の育成にもつながることが期待され、NEDO 事業として必要であると思われる。
- ・ 熱可塑 CFRP を主な対象とした成形・接合・設計解析技術を統合する研究開発であり、NEDO 事業として非常に有意義な研究開発である。日本を代表する航空機製造分野の機関からなる体制であり、日本の国際競争力を確保するための事業成果を期待する。

<改善すべき点>

- ・ 委託である研究開発項目①と、助成である研究開発項目②と③の関係性に改善の余地があると思う。シミュレータやバーチャルテストのコンピュータシミュレーションを軸にした開発項目の前者と、製造プロセスの開発に主眼におかれる後者とは直接には関係しておらず、相互理解を促す仕組みが今後必要である。前者については、熱可塑性 CFRP に特化したシミュレータの開発が進められる一方で、その応用のためのプラットフォーム化（各社が使える、自社用としてカスタマイズできる基盤解析技術の共通化・一般化）の議論が必要と思われる。
- ・ 欧米とのプロジェクト推進方針の違いはあるとはいえ、民間活動のみでは解決できない課題に NEDO の関与の元で取り組んでいるプロジェクトであることに注意を払う必要がある。例えば、研究開発項目②に関連するテーマにおいては、装置メーカーや金型メーカー、素材メーカーなどとの協業により、目的達成がより迅速かつ適切になると考えられる。
- ・ 環境面での評価として 2040 年での CO₂ 削減量の見積を行っているが、各テーマがどのような形で CO₂ 削減につながるのかが明確でないように思われる。各テーマと環境性の関係についても検討があると良いと感じた。
- ・ 現状は個別技術要素の研究開発を推進する事業となっている。テーマごとの機密情報管理の必要性は理解できるが、本事業を通じて我が国としての航空機構造部位における産業競争力強化についても議論していくことができるとよい。
- ・ 本事業の研究開発目標や内容および各研究開発項目の年度予算総額は明記されているが、事業終了後に得られる実施効果（費用対効果）のエネルギー消費量および CO₂ 排出量の削減量、市場創出効果（具体的な商品や売上額）の予測値および本事業により達成される寄与率がどの程度かを明確に記載されていないため、本事業の

総費用対効果が十分であるか否かの判断が難しく、今後改善すべきである。また、本事業で得られた成果の公表が創製・成形技術に関して現時点ではほとんどなく、特許出願や学会発表等の件数も極めて少なく、国際競争力および公共性が高いことを判断することは難しく、今後改善すべきである。

- 欧米に比べると研究開発に投じる資金が小規模と考えられ、可能な限り、より積極的な研究開発のための支援が求められる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

各社の保有技術や強み、ユーザーニーズや市場トレンドをふまえ、技術の具体的な適用先とその要求スペックが想定され、明確な目標設定や成果の推計が行われており評価できる。

一方、研究開発項目によっては、機関間連携や各研究開発項目に共通する技術や知見の共有に向けた取組みが見て取れなかったことから、各機関が開発する材料や構造要素に関しては、成形・製造のデモンストレーションだけでなく、材料特性や構造強度特性といった取得すべき基礎特性の知見の共有化を、可能な限り図ってほしい。さらに、加工等で問題となっている現象に関しては、産学官連携等の推進を図ることにより、開発の効率を上げ、日本全体の複合材技術力向上や人材育成につながる取り組みも期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 現状の世界動向を踏まえた上での研究開発目標が設定されていると思う。具体的な目標に対する研究開発の計画と実施体制について、研究開発項目②と③については従来の実績に立脚した上で練られており、その成果が期待できる。研究開発項目①については、その必要性は十分認識される一方で、計画については元々見通しが困難な内容である。しかし、それを再委託の形でユーザー側の具体的な視点を取り入れる体制になっている点は高く評価できる。
- ・ 熱可塑性 CFRP の分野において先行する欧州の技術の把握をした上で、キャッチアップするだけでなく新たな技術開発を目標としていることは評価出来る。
- ・ 各プロジェクトとも想定ユーザーや再委託先と確り連携しながら、概ね当初計画通りのスケジュールで開発を進めている点は評価できる。
- ・ 目標に向かい、各テーマで適切な目標を設定されていると思う。またマネジメントに関しては、国内で競合する事業者を含む研究開発実施体制の中、バランスを取りながら研究・開発を進められていると思う。
- ・ 各社の保有技術や強み、ユーザーニーズや市場トレンドをふまえ、技術の具体的な適用先とその要求スペックを想定し、明確な目標設定や成果の推計が行われている。
- ・ 熱可塑性 CFRP の創製・成形技術に関しては欧州が圧倒的に先導している中で、本事業ではそれらの課題解決に向けた開発目標を定められ、実施者ごとの個別の開発項目に関してはそれぞれが実施可能な範囲で、研究開発計画通りに概ね進行されておられるように見受けられる。とりわけ、一部の実施者の研究開発項目においては、顧客である航空機メーカーの要望や意向を尊重し、その実用化に向けた取り組みがかなり進んでおり、今後は低コスト化・収益性と量産性等が満足されれば有望な市場を獲得されることが期待される。
- ・ 日本を代表する航空機製造技術・材料技術を有する機関からなる体制であり、技術の底上げ・革新を目指す研究開発が進められており、評価できる。進捗管理においても NEDO やプロジェクトリーダーによる十分な対応がとられており、今後の研

究開発の加速を期待したい。

<改善すべき点>

- ・ 製造プロセスの改善は時間のかかる試行錯誤を伴い、プロジェクトの期間内ではメカニズムの解明まで到底達しないことは理解できる。結果として成果になる一方で、今後の多様な応用面を考えると、なぜそのような結果になったのかについての考察（デザインレビュー）が肝要である。多様な因子が複雑に絡み合った結果をそのまま解釈するのではなく、基本原理の抽出とその寄与について、多様な側面の議論が必要となる。それには、より率直な意見交換が可能な技術専門委員会等の活性化・拡大化が一助になると考えられる。
- ・ 知的財産の戦略については不十分と感じられる。ノウハウとして確保すべき技術があるのは理解できるが、国際競争力の確保のためには十分な対策が必要と考えられる。
- ・ 技術融合の観点ではやや個社研究の要素が強い部分もあるため、研究項目間連携や他の日本企業連携により、個社だけでなく日本の航空産業としてより高い競争力が発揮できる形を実現して欲しい。
- ・ 国内で競合するメーカーを含むためか、各実施事業者間での交流が少なく感じられる。日本として熱可塑性 CFRP の航空機への適用における国際競争力を高めるためにも、参加事業者間での交流がより活発にある方が良いように思う。
- ・ 構造部位事業は、航空機製造業の中でも利益率が低いと言われている。本プロジェクトの成果に関しても、売上や獲得シェアの予測分析に加えて、開発技術の利益率分析や利益率向上に向けた取組についても議論いただけるとよい。
- ・ 諸外国の技術動向やエネルギー需給動向、政策動向などの調査は行われ、本事業の研究開発目標や項目を設定され、それらが実現可能な実施者を割り当てられているが、本事業終了後に費用対効果を十分に満足される具体的な成果物を本プロジェクトの実施者が連携して得るという趣旨の提案にはなっていないため、今後改善すべきである。また、それぞれの実施者が個別に設定した研究開発項目や目標を満足させることに留まっており、研究開発マネジメントとして全体を統括した研究開発課題（アウトカム目標につながる出口商品や事業）を具体的に設定し、個々の実施者で得られた成果の統合化や連携強化に重点を置いて進められるよう、今後改善すべきである。
- ・ 各研究開発項目を実施する各機関の技術や実用化に向けた取り組みは評価できる一方で、機関間連携や各研究開発項目に共通する技術・知見の共有に向けた取組みがはっきりと見て取れないため、その活動についての説明も必要である。

<今後に対する提言>

- ・ 一般に、限られたプロジェクト予算で最大の効果を全体として得るには、いくつかの項目の重なり度合いを強くすることが考えられる。1社で思いつく事柄に対して、

異なる業種を含む多数の意見が交叉する環境の方が、その相乗効果による革新的なアイデア創出の可能性の高いことも言われている。企業の守秘義務は尊重する一方で、NEDOの支援で実施されている研究開発項目で得られた課題や問題点は共有化すべきであり、その過程で見出される問題点に本質のある気付きも期待できる。すくなくとも本プロジェクトに参加している大学と企業は、その課題・問題点をプロジェクト全体として共有すべきと考える。

- プロジェクトマネージャーやプロジェクトリーダーの強力なリーダーシップのもと、詳細な技術の把握につとめ、研究開発項目②についても知的財産やノウハウの管理を行う必要がある。ノウハウとしてすべてを囲い込むような技術開発であるならば、NEDOの事業としてはふさわしくないと考えられる。
- 研究項目間等の連携にも可能な範囲で取り組んで頂くと共に、欧米が急速に技術面でキャッチアップしてくる可能性も考えられることから、欧米勢の開発動向も適切にフォローしたうえで、必要に応じて開発内容・スケジュールも可能な範囲で柔軟に変更し、日本の競争力を確保できるような形で開発を推進して頂きたい。
- 競合する事業者間の連携は難しいと思うが、産学の連携は進められるのではないかと思う。特に、加工等で問題となっている現象に関して、学術理論的なサポートを行うことで、開発の効率を上げられるのではないかと思う。学側でも優秀な研究者が多く参加されているので、産学の交流強化を願う。また、事業者間でも世界的な技術動向など一般的な情報交換は可能ではないかと思うので、交流が進むことを望む。
- 各テーマの開発で中堅や若手の研究者・技術者が活躍していると感じた。プロジェクト遂行を通じて、技術に習熟した人材や海外企業と互角に交渉するグローバル人材が育成することを期待している。
- 実務上は、研究成果が出てから、今後精査して戦略的に特許出願を行う、またはノウハウとして留め公表を差し控えるなどの判断を行うというのも理解し得るが、事業計画の策定や提案および申請時の段階で、各研究開発項目の新規性・進歩性や有用性を諸外国の先進的な取り組みと比較し、その技術に対する国際競争力や優位性を十分に明らかにした上で、本事業の初期段階から特許出願を行うべきである。なお、本中間評価分科会資料では、国際競争力の高い優位性や独創性を満足し得る技術や解決策であるか否かの判断を行うための説明や開示が不十分であり、また外部への公表も乏しいため、今後は資料作成にもっと配慮頂くよう強く要望する。
- 各機関が開発する材料や構造要素に関しては、成形・製造のデモンストレーションだけでなく、取得すべき基礎特性（材料特性や構造強度特性）や共通知見は本研究開発の財産であると考えられる。知財は適切に確保すると同時に、関連技術や知見が一企業にとどまることの無いよう、日本全体の複合材技術や人材育成の底上げにつながる取り組みを期待したい。企業間や企業—大学間連携の拡大を提言する（企業で製造した材料・サンプルの評価を大学が実施し、人も育てるなど）。

2. 3 研究開発成果について

いずれの研究開発項目においても中間目標に対し概ね当初計画通りの成果を出せており、一部顕在化した課題に対しても、解決策を確認し、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。

知財権の確保と技術の秘匿については、知財化すべき要素とノウハウとしてクローズする要素を分けて戦略的に検討・実行され、ユーザーレビューを取り入れながら開発が進められており、社会実装という最終目標を目指して具体的・計画的に研究開発が実施されている。

一方、多くの成果がノウハウを含む内容であり、秘匿の事情は理解できるものの、今のところ積極的な成果の情報発信が行われていない感がある。今後、可能な範囲で、論文、国際会議、国際標準化、特許出願、プレスリリース等を通じて、公開できる成果は世界や国民に向けて積極的に発信し、国民の関心の喚起、海外との交流の深化、日本のプレゼンス向上に努めていただきたい。

また、日本の技術力向上や産業の創出を図る基盤力のためにも、目標の達成度を評価するだけでなく、研究過程において得られた失敗や教訓などを共有化する努力や活動に期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 全般的に中間目標を8割程度は達成しており、コロナ禍の環境の中で機材・部品調達の困難さ等を考慮すれば、目標通りに進展していると判断できる。十分に達していない場合でもその理由について考察ができており、今後の研究開発の中で解決されることが予想される。また、エアバスやボーイングでの採用を視野に入れた積極的な取り組みも見られ、最終的な実用化の目途の立っている事項も伺われる。
- ・ いずれの研究開発項目においても達成および達成見込みであり、順調に進んでいる点は高く評価できる。
- ・ 各プロジェクトとも中間段階で概ね当初計画通りの成果を出せており、一部顕在化した課題も解決策を確認しており、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。
- ・ 設定された目標に対して、十分な成果が得られていると思う。また、最終目標に向けた道筋も明確であり、達成可能性は高いと考える。
- ・ 知財化すべき要素とノウハウとしてクローズする要素を分け、知財権の確保と技術の秘匿について戦略的に検討・実行されていると感じた。ユーザーレビューを取り入れながら開発が進められており、社会実装という最終目標を目指して具体的・計画的に実施されている。
- ・ 実施者ごとに設定された研究開発項目に対する中間目標は、全ての実施者ではないが概ね達成されていると思われる。各実施者が取り組んでおられる研究開発項目に対する解決案は独自に練られた知的財産の高い水準であると思われるため、早急に国内外への特許出願や学会・展示会等で公表されれば、本プロジェクトの有用性と価

値が高まると思われる。

- ・ 各研究開発項目において、中間目標を達成しており、十分な成果が得られている。論文や特許の実績も十分あり、評価できる。
- ・ 研究開発項目①：大学／企業連携も図られ、**Virtual Test** ツールの企業利用などへの取り組みも評価できる。このテーマを核として、全体の技術底上げ、波及効果の拡大を期待する。
- ・ 研究開発項目②：どの機関も中間目標の達成度もよく、着実な研究開発の成果をあげている。
- ・ 研究開発項目③：新規技術のコンセプト実証を目指したものであり、技術優位性もあり高く評価できる。実用化を期待したい。

<改善すべき点>

- ・ 知財について、その開発内容に応じて戦略的に対応されていることと察する。さらに、各企業内で調査を進めていただき、今後の技術開発そして実用化と商業化への過程で、開発されている技術が優位にたてるような配慮を期待したい。
- ・ 当初資料には具体的な開発技術の記載が無く、分かりづらいところが多数見られた。達成目標や現状の達成度についても、定量的に分かりやすく示されていない部分があるため事後評価の資料作成時には改善が必要と考えられる。
- ・ 多くの課題が、公開が難しい技術を含む内容であり致し方ないと思うが、成果の普及については少なく感じる。
- ・ 今のところ積極的な情報発信が行われていないと感じた。論文、国際会議、国際標準化、特許出願、プレスリリース等を通じて、公開できる成果は世界や国民に向けて積極的に発信し、国民の関心の喚起、海外との交流の深化、日本のプレゼンス向上に努めていただきたい。
- ・ 現時点での中間評価における成果報告書の範囲内では、熱可塑性 CFRP “特有” の設計解析技術および、熱可塑性 CFRP の特長を大いに生かした成形・接合を含む製造技術に関して、欧州各国の研究プロジェクトに比べて、本事業が特に独創性や優位性があり国際競争力があることを立証できる資料や実績が揃っているとは言い難く、今後改善されるべきである。また、実施者の顧客企業との守秘義務の制約や実施者同士が競合者であるため、特許出願や学会・展示会等への公表はできないと断言されず、成果の実用化および若い研究者や他産業の方々などに広く、分かりやすい技術資料を提供されるよう、今後改善されることを強く要望する。
- ・ 各機関の技術の機微性は理解できるものの、可能な範囲で各研究機関間の知見の共有と連携を進めてほしい。一部ベンチマークとの比較をしている機関・技術はあるものの、ベンチマークとの比較がないものもあり、より丁寧な説明があると望ましい。製造・実証のみならず、各技術に対するメカニズム解明や裏付けデータなどの技術基盤構築にも力を注いでほしい。研究開発項目②の各機関については、「成果の普及」に関する取り組みがほとんどなく、この点については評価不能である。評

価項目にある限りは何かしらの取り組みのアピールがあつていいように思う。

<今後に対する提言>

- 数値目標を達成することも重要だが、それ以上に信頼性のある部材・部品の製作が今後の事業展開の上でも重要な要因になる。信頼性のある部材・部品とは、その性能を検証でき、製造時のばらつきも考慮に入れた工程に関する指導原理が確立することと思う。国費を投入する意義は裕度の持てる研究開発環境の提供であり、根拠ある最終目標の達成を期待したい。
- 書類や発表だけでは評価が難しい点もあるため、すべての項目において現地調査会を実施することが望ましい。
- 成果達成に向けて①と②、①と③間で連携できる点があれば、連携を推進頂き、より良い成果実現に向けて取り組んで頂きたい。
- 本課題において、どのような成果の普及が必要か（企業事業者に成果の普及の評価項目が必要かどうか）を NEDO に検討いただければと思う。
- 海外動向に関する情報収集が、研究開発に関わる個人や個社の活動にとどまり、事業全体の共通知が整理されていないのではないかと。事業を通じて蓄積している海外の情報を是非、我が国の産業競争力強化の議論に活かしていただきたい。
- 本事業は、設計、成形、接合の 3 つに役割を分担されておられるが、実施者が個々に設定された研究開発項目に対して個別に実施されておられ、これら 3 つが統合し 1 つの大きな成果物として見える形になっていない感が否めない。複合材の最大の特徴である材料から製品まで、設計から成形および接合組み立てまで一貫して実施すべきであることから、本プロジェクトの成果も個々の実施者単独の成果に留まらず、全ての実施者が関与した内容になるよう、実施者間が相互に連携し合える研究開発項目を少しでも設定し、アウトカム目標を達成できるよう今後改善されることが望ましい。
- 中間目標や最終目標を定め、その達成度を評価することは必要であるが、その過程において得られた失敗や教訓などを共有化することは日本の技術力向上や産業の創出を図る基盤力となると考えられる。そのため、企業の都合で学会活動などが制約される場合にも、別の手段で知見の共有化を行う努力や活動を評価できるような仕組みもあつていいように思う。長期的な研究開発にはアジャイル性（計画・設計開発・テストの工程を小さい機能単位や短い期間で反復することで効率的な研究開発を進め、リスクも最小化する開発手法の一つ）が必要であり、本事業と将来事業をつなぐ際にも知見の共有化は有用であり、目標の達成だけでなく成果の創出（知見や教訓の共有など）も期待したい。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

航空機メーカーと研究協力もしくは意見交換を継続する中で、ターゲットとする機体等を想定し、要件を定め、実用化に向けたマイルストーンを明確にして開発が進められており、効率的な開発ができていると考えられる。

一方、熱可塑性 CFRP を、航空機産業に寄与する製品に仕上げていくことはもちろんではあるが、その応用性はより広範囲にあると考えられる。航空機以外の輸送機器や機械装置の軽量化など、例えば UAM、UAS 等の新しいモビリティや他業界への適用可能性があるため、これら周辺業界のニーズも把握していただきたい。さらに、研究開発過程で得られた金属にない熱可塑性 CFRP の特性を、種々の広報手段等により伝え、新たな適用範囲を開拓していただきたい。

<肯定的意見>

- ・ コロナ禍が完全に収束していない状況で、波及効果を判断することはなかなか困難なことと思う。その中でも、すでに顧客にアプローチして、その了解を得ている研究開発項目もあり、プロジェクト期間終了後にその波及効果が大きいと期待できる。
- ・ 海外 OEM との連携も含めて実用に供される基準を達成できる見込みであることは評価出来る。

注) OEM(Original Equipment Manufacturing)

- ・ 各プロジェクトとも想定ユーザーと研究協力もしくは意見交換を確り継続する中で、ターゲットとする機体等を想定して要件を定めて開発を進めている点は評価できる。
- ・ 実用化に向けた取り組みは明確であり、すでに実用化に近い技術開発もできつつあると考える。
- ・ 定期的にユーザーの技術レビューを受けながら進められており、実用化に向けたマイルストーンに沿っている。
- ・ 本事業は、コロナ禍や諸外国の紛争など厳しい航空機製造業界の中、積極的に次世代の複合材の創製・成形技術の開発に実施者が個々に設定された研究開発項目およびその目標を到達すべく推進されておられる点は高く評価できる。また、その成果の実用化においても明確に明言されておられ、それらが事業終了後に達成されることが期待される。
- ・ 熱可塑 CFRP の製造技術や関連する接合技術を開発し、その実用化までの取り組みは評価できる。研究開発項目の中には、適用先やその開発道筋が明確なものもあり、効率的な開発ができていると考えられる。

<改善すべき点>

- ・ 実用化の定義をしっかりと理解していただきたい。検証と妥当性の確認が不可欠であるということは、なぜそのようになったのかについての説明ができるということで、課題に応じた問題解明の道筋を今後明らかにしていただきたい。そのことが、

結果的には開発される部材や部品の品質保証につながる。

- ・ 「TAPAS、Clean Sky2 等で活発に進められている研究開発においても、技術課題があり実用化には到っていない」とのコメントもある。欧州特にオランダを中心とした熱可塑性複合材料の技術開発状況の把握、および、真の「実用化」を実現するための具体的な技術課題の把握については、継続して取り組む必要があると考えられる。
- ・ テーマ間連携をより推進することでより良い成果に繋げて欲しい。
- ・ 直近の出口として想定されるユーザー以外に、技術の適用先として UAM、UAS 等の新しいモビリティや他業界の例が挙げられている。得られた結果をより広く産業界に還元するためには、これら周辺業界のニーズ把握も並行して進めることが望ましい。
- ・ 成果の実用化に関わる重要な判断として、熱可塑性 CFRP の設計ツールは、これまで熱硬化性 CFRP の設計ツールで適用されていなかった材料非線形や損傷挙動の違いを反映する設計ツールの開発に留まらず、真に熱可塑性 CFRP の材料特有の多様な製造法、二次加工性、補修性および再利用性などプロセスを重視した設計ツールになるよう、今後改善されるべきである。また、成果の実用化においては、航空機品質での材料選定および成形・接合技術が求められるが、一部の実施テーマでは航空機品質とは認め難い材料で提案手法の可能性を検討されているに留まっている提案段階であり、また製造設備の投資負担などによるコスト高が障壁となり収益性が見込みが難しいなどの課題もあり、今後改善されるべきである。
- ・ 各機関内の関連事業に関する波及効果は理解できるが、広い意味での社会的効果の説明やそのための活動の拡大が必要と考えられる。この事業や実用化に向けた取り組みを行うことで、日本の産業全体（各企業の発展ではなく、新産業創出や人材育成）への成果につながることの強い説明が必要である。

<今後に対する提言>

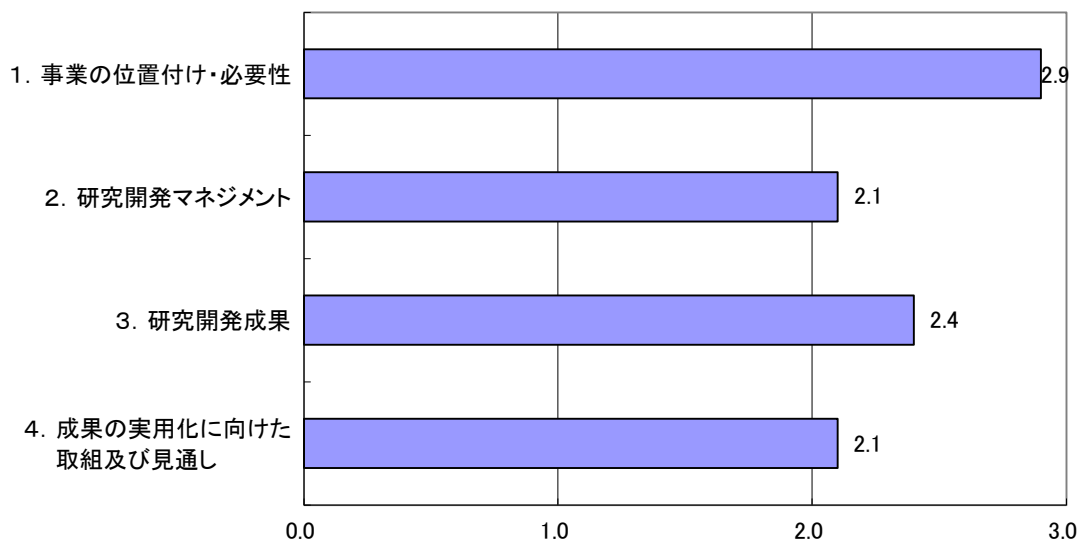
- ・ 航空機産業に寄与する製品に仕上げていくことはもちろんだが、熱可塑性 CFRP の応用性はより広範囲にあると考える。航空機以外の輸送機器や機械装置の軽量化は省エネルギーに貢献し、その結果 CO₂ の削減に大きく貢献します。研究開発過程で知り得たあるいは整理できた金属にない熱可塑性 CFRP の特性を種々の広報手段により伝達し、その適用範囲の開拓を推進してもらいたい。
- ・ 欧米のプロジェクトの把握については、全メンバーが協力して取り組むことが望まれる。
- ・ 細胴機は航空需要のボリュームゾーンであり、競合する欧米勢も搭載に向け開発を推進して中での厳しい競争も考えられることから、引き続き想定ユーザーとも連携するとともに、国内での企業間また産学官連携を推進する中で、より高い技術優位性を獲得し、オールジャパンで実用化を実現して欲しい。
- ・ シミュレーションやバーチャルテストの認証への適用を提案するにあたっ

ては、技術開発に加えてルールメイクに関わる活動（例えば、CbA に対する当局の考え方や国際標準化機関等における議論の状況の把握、ならびに国際標準化活動を行う人材の育成）も進めることが重要になると考えられるので、可能な範囲で今後の事業の活動に盛り込んでいただけるとよい。

注) CbA(Certification by Analysis)

- 本事業は熱可塑性 CFRP の成形や接合技術を主たる研究開発課題として進められておられことから、本事業の実施期間内で開発完了される熱可塑性 CFRP の設計ツールを用いて、それらの実施者の開発を支援されることが望ましい。また、熱可塑性 CFRP は多様な設計および製造技術を必要とされており、これまでの航空機製造事業者が所有する経験や技術に問われず、自動車や家電などの他の業界からの多様な技術を導入するのが高生産性・低コスト化・環境適合性の課題を解決するのに有効である。
- 各企業が実用化を目指すことは必要であるが、その過程において得られた基礎データや教訓などを共有化することも1つの波及効果と考えられる。製造のデモンストレーションを行い実用化できることをアピールことは重要であるが、デモにとどまらず、真に実用化を目指すと同時に、本事業で得られた知見（失敗含む）を共有化することも検討してほしい。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	A	A	B	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.1	B	A	B	B	B	C	A	
3. 研究開発成果について	2.4	A	A	B	B	A	C	A	
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.1	B	B	B	A	B	C	A	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「次世代複合材創製・成形技術開発」

事業原簿【公開】

担当部	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
-----	-------------------------------------------

—目次—

概 要

プロジェクト用語集

1. 事業の位置付け・必要性について	I - 1
1. 事業の背景・目的・位置付け	I - 1
1.1 事業の背景	I - 1
1.2 事業の目的	I - 6
1.3 事業の位置付け	I - 7
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I - 9
2.1 NEDO が関与することの意義	I - 9
2.2 実施の効果（費用対効果）	I - 9
2. 研究開発マネジメントについて	II - 1
1. 事業の目標	II - 1
1.1 事業の目的	II - 1
1.2 アウトプット目標	II - 1
1.3 アウトカム目標	II - 1
1.4 アウトカム目標達成に向けての取り組み	II - 1
2. 事業の計画内容	II - 1
2.1 研究開発の内容	II - 1
2.2 研究開発の実施体制	II - 6
2.3 研究開発の運営管理	II - 7
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	II - 8
3. 情勢変化への対応	II - 9
4. 評価に関する事項	II - 9
3. 研究開発成果について	III - 1
1. 事業全体の成果	III - 1
2. 研究開発項目毎の成果	III - 1
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	IV - 1
1. 本プロジェクトにおける「実用化」の考え方	IV - 1
2. 実用化に向けた戦略	IV - 1
3. 実用化に向けた具体的取り組み	IV - 1
4. 実用化の見通し	IV - 1
5. 波及効果	IV - 1

別添 1 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

別添 2 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

別添 3 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
株式会社ジャムコ

別添 4 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
川崎重工業株式会社

別添 5 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

(添付資料)

- ・特許論文等リスト

概要

		最終更新日	2022年 月 日
プロジェクト名	次世代複合材創製・成形技術開発	プロジェクト番号	P20010
担当推進部/ PM、担当者	材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 松井克憲 (2021年9月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 長島敏夫 (2020年8月～2021年8月) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 大中道俊亮 (2020年4月～2020年7月) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 飯山和堯 (2020年4月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 桑原智彦 (2020年7月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 大貫正道 (2021年9月～現在)		
0. 事業の概要	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、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。これにより、航空機の燃費改善によるエネルギー消費量とCO ₂ 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素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。産学官の密接な連携の下での我が国基盤の構築及び関連産業の成長を実現する。		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>【事業の必要性】</p> <p>航空機産業における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。</p> <p>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。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倍に及び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。</p> <p>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。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、他国より優れた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。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。</p> <p>【本事業のねらい】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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素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。 <p>【政策的位置づけ】</p> <p>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輸送機器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。</p> <p>【NEDOが関与する意義】</p> <p>NEDOは第四期中長期目標におけるミッションとして、「エネルギー・環境問題の解決」、「産業技術力の強化」に貢献することをミッションとしている。</p> <p>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</p>		

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。

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

本事業の目的は、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。これにより、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素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。

研究開発項目①
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。構造解析能力を高めることで、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。

研究開発項目②
航空機用軽量機体部材の高レート成形技術を開発する。航空機用大型部材の革新的高速成形技術・一体成形技術を開発する。

研究開発項目③
熱可塑性 CFRP 部品の高速・高強度溶着組立技術を確立する。熱硬化性 CFRP-熱可塑性 CFRP 異種接合技術を開発する。

実施事項	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy
研究開発項目①	—————▶				
研究開発項目②	—————▶				
研究開発項目③	—————▶				

開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	2020fy	2021fy	2022fy	総額
特別会計 (電源・需給の別)		472	750	749	(1,971)
総予算額		472	750	749	(1,971)
契約種類： ○をつける 委託 (○) 助成 (○) 負担率 ()	(委託)	110	126	123	(359)
	(助成) : 助成率 1/2 2/3 (ｼﾞｱﾓｺ)	362	624	626	(1,612)

開発体制	経産省担当原課	製造産業局 航空機武器宇宙産業課
	プロジェクトリーダー	国立大学法人東北大学教授 東北大学総長特別補佐 (産学連携担当) : 岡部 朋永
	委託先 (*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載) 助成先	研究開発項目① 委託先：東北大学 (研究項目1) 東北大学—再委託 川崎重工業、SUBARU、JAXA、上智大学、電気通信大学 —共同実施 三菱重工業、IHI (研究項目2) 東北大学—再委託 川崎重工業、東レ、上智大学 研究開発項目② 助成先：新明和工業 研究開発項目② 助成先：ジャムコ 研究開発項目② 助成先：川崎重工業—委託 津田駒工業 研究開発項目③

		助成先：東レー共同研究 東北大学、金沢工業大学、産総研			
情勢変化への対応	研究開発項目毎に行われた技術委員会やNEDO主催の技術推進委員会を通して、研究開発の修正等情勢変化に対する対応を行った。特に、コロナ禍の影響や半導体に起因する研究開発の遅延の回避を図った。				
評価に関する事項	事前評価	2019年9月実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部			
	中間評価	2022年6月実施予定 担当部 材料・ナノテクノロジー部			
	事後評価	-			
3. 研究開発成果について	◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達				
	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)				
	項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
	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	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。	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が多目的最適化及びデータマイニングを行なった。 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。 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。 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。	○	【課題】 1. 熱可塑性CFRPを用いた主翼構造設計ツールの構築。翼形状等の最適化及び熱硬化性CFRPとの比較。 2. フラッター解析ツールの主翼構造設計への統合。 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の評価。 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。 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
開発テーマ② 熱可塑性CFRPを対象としたパッチャルテスト技術開発	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・	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。 2. 弾塑性解析機能	○	【課題】 1. 面外衝撃特性、CAI強度、Hot/wet環境下でのOHT、OHCデータの取得。 2. 六面体要素のXFEMへ弾塑性解析機能を実装	

		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。	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。 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。		し、OHT、OHCの検証解析の実施。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の開発。 3. 接合要素の強度試験データベースの構築。 【解決方針】引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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)					
	項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
	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	新明和の概念設計を基に、500 x 500 mmサイズの海外OEM納入用デモンストラータパネルの詳細設計を行う。	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、デモンストラータパネルの詳細設計を完了した。	○	【課題】製品付加価値向上のための重量削減。 【解決方針】引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
		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。	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)	【課題】短時間サイクルにおけるパネル品質の改善。 【解決方針】引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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」(株式会社ジャムコ)					
	項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
	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	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。	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)	【課題】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。 【解決方針】引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
		②検査方法など品質保証のための目途づ	暫定的に検査基準を設けて、品質の確認	○	【課題】効率良く、安定

		けが終わっている。	を行った。		して測定できる手法の確立 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
		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)	【課題】 積層工程における技術の目途付け 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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」(川崎重工業株式会社)					
項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針	
研究開発項目A 自動積層技術、装置の開発	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。	・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。	△ (2023年2月達成見込み)	【課題】 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。 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施	
研究開発項目B 成形技術の開発	① 複雑形状対応として、板厚変化(テーパー比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)	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 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	○	-	
	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	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。 ④ クーポンを用いた強度試験では、目標強度を達成。	△ (2023年2月達成見込み)	【課題】 ③ 目標となるボイド率3%を達成するために、成形品質の向上。 ④ 航空機構造を用いて、接合強度が目標を満たすことの確認。 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施。	
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)					

項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
実施項目A-1 熱硬化性CFRPの熱溶着での高強度接合設計	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(GIC、GIIC)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	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GIC、GIICを達成(ただし、ばらつき大)	△ (2022年6月達成見込み)	【課題】 安定したGIC、GIICを発現する接合部の設計 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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	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	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月達成見込み)	【課題】 プリフォームの作製 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
実施項目A-3 熱硬化性CFRPの熱溶着による高速接合設計	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	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%)	○	【課題】 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 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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	□500mm相当の要素形状での実証	□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、基本概念の成立性を確認	○	【課題】 熱溶着組立デモンストレーションの完成度向上 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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)	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	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	○	【課題】 接合部の信頼性検証方法の方針策定 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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)	マルチマテリアル系での接合基部のデータベース構築	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月達成見込み)	【課題】 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 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施
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)	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	レーザ-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月達成見込み)	【課題】 部材形状での欠陥検出精度の検証 【解決方針】 引き続き研究開発計画に沿った事業の実施

	投稿論文	8 件 (うち査読付き 8 件)
	特 許	出願済 4 件(うち国際出願 1 件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	36 件 (学会発表・講演 28 件、新聞・雑誌等への掲載 5 件、プレス発表 1 件、受賞 2 件)
4. 実用化に向けた取組及び見通しについて	<p>1. 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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>2. 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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。熱可塑性 CFRP フロアパネルを海外 OEM 細胴機へ適用していく。 (株式会社ジャムコ) ・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。 (川崎重工業株式会社) ・本研究の成果を持って大型 CFRP 構造部材の量産・供給技術を確認し、2030 年代に開発が予想される欧米機体 OEM の将来細胴機に対して提案・販売を行うとともに、以降に開発される広胴機向けとしても適用の拡大を図る。 ・本事業によって得られた成果は、材料メーカー、装置メーカー等の関連企業にも広く知見をもたらすため、航空機の機体メーカーのみならず航空機産業全体、さらには鉄道車両や自動車、建築物等、国内産業へ幅広い波及が期待される。 <p>3. 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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・次世代航空機産業における我が国の地位強化のみならず、CFRP 機体構造とその生産システム全体の変革をリードすることによる新しい航空機産業競争力の獲得にも繋がるものである。加えて、航空機産業のみならず、次世代モビリティなど幅広い産業へと波及が期待できる。 	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2020 年 2 月 作成
	変更履歴	2021 年 2 月 改訂 PM 交代に伴う変更 2021 年 9 月 改訂 PM 交代に伴う変更

プロジェクト用語集

研究開発項目①「複合材時代の理想機体を実現する機体設計技術の開発」

【東北大学】

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
ACS-CFRTP_AI	Aircraft Computational Science Center CFRTP Aircraft Integrated Design System	東北大学航空機計算科学センター熱可塑性 CFRP 機体統合設計システム
CAI	Compression after impact	面外衝撃を付与した試験片の圧縮特性
CAE	Computer-aided engineering	コンピュータによって支援された製品の設計・製造等に関する技術
CFRTP	Carbon fiber reinforced thermoplastics	熱可塑性樹脂を炭素繊維で強化した複合材料
CFRTP_AD	CFRTP Aircraft Design Simulator	熱可塑性 CFRP 機体設計シミュレーター
CFRTP_VT	CFRTP Virtual Testing System	熱可塑性 CFRP バーチャルテストシステム
DCB 試験	Double cantilever beam test	両片持ちはり試験
ENF 試験	End notched flexure test	端面切り欠き曲げ試験
Hot/wet 環境	Hot/wet environment	飽水試験片を高温環境に晒した状態
LES	Large-eddy simulation	乱流渦を出来る限り格子で解像し，捉えられない高波数成分を数値的に散逸させる計算手法
OHC	Open-hole compression	円孔を有する試験片の圧縮特性
OHT	Open-hole tension	円孔を有する試験片の引張特性
QSI	Quasi-static indentation	準静的押し込み特性

SOM	Self-organized map	教師なしのニューラルネットワークアルゴリズムで、高次元データを 2 次元平面上へ非線形写像するデータ解析方法
POD	Proper Orthogonal Decomposition	大規模データを固有分解し，固有モードを抽出することで，大規模データから主成分を取り出す手法．固有直交分解・主成分分析と呼ばれる．
WMLES	Wall-modeled LES	LES のうち，壁付近の乱流渦を解像せず，何らかの壁モデルを仮定して解析する手法
XFEM	Extended finite element model	メッシュフリー法の一つ．有限要素法の変位関数に，き裂などの不連続部を表す新たな変位関数を追加することで亀裂などを表現できる．
一方向連成解析	One-way coupled analysis	空力荷重を構造変形解析に反映させた解析．構造変形は空力解析に取り入れない．
静空弾解析	Static Aeroelasticity	空力荷重と構造変形が釣り合った状態の解析
ストリンガー	Stringer	縦通材とも呼ばれ，桁と平行に外板の裏面を支える主翼構造の一部
遷音速ディップ	Transonic dip	遷音速域の飛行において，翼がフラッタを生じる速度が急激に低下する現象
層流化技術	Laminarization technology	乱流への遷移を抑え，層流状態を維持するための形状工夫等の技術
双方向連成解析	Two-way coupled analysis	空力解析と構造解析を相互的に行い，両者が釣り合った状態を解析すること
翼ボックス構造	Wing-box structure	前後桁・リブ・上下面パネルで構成された主翼構造
熱可塑性 CFRP	Carbon fiber reinforced thermoplastics	熱可塑性樹脂を炭素繊維で強化した複合材料
非定常空力解析	Unsteady flow analysis	本プロジェクトにおいては，乱流を解析する際に時間等の平均場を仮定せず，乱流渦の非定常性をある程度直接的に数値解析すること
フラッター	Flutter	流体力と構造力が相互に作用することで構造変形が動的に生じる現象

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】

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic	炭素繊維強化プラスチック。樹脂を母材とし、炭素繊維を強化材として組み合わせた複合材料のことを示す。
FEM	Finite Element Method	複雑な形状・性質を持つ物体を格子状に分割し、各小領域で微分方程式の近似解を数値的に得る方法。
TRL	Technical Readiness Level	技術成熟度レベル。航空宇宙業界のステークホルダ間の円滑なコミュニケーション促進に多く用いられ、体系的な分析に基づいて、新技術の開発レベルを評価するために使用する基準のことを示す。
オートクレーブ成形		オートクレーブ（圧力容器）を用いて、材料を加熱・加圧・真空引きをしながら硬化させる成形法。高品質な成形品を得られることから、航空機複合材部品の製造に多く用いられる。
広胴機 （ワイドボディ機）		内部の通路が二つの旅客機のこと。ボーイング 787、エアバス 350 などが該当する。
細胴機 （ナローボディ機）		内部の通路が一つの旅客機のこと。ボーイング 737 やエアバス 321 などが該当する。
デモンストレーター パネル		フロアパネル部品の一部を模擬し、TRL3（技術コンセプトの実証）達成を目的に試作するパネル部品。
熱可塑性 CFRP		熱可塑性樹脂を用いた CFRP。熱可塑性樹脂とは、加熱すると熔融し、冷却すると固化し、その後に加熱すると再度熔融する性質（可塑性）を持つ樹脂を示す。
熱硬化性 CFRP		熱硬化性樹脂を用いた CFRP。熱硬化性樹脂とは、加熱により化学反応を起こして硬化し、その後に加熱しても元に戻らなくなる性質を持つ樹脂を示す。

ハイヒール荷重		フロアパネルの強度要求項目の一つ。上面外板にΦ12.7mmの局所的な圧縮荷重を静的に負荷する。
ハニカムサンドイッチ構造		ハニカムコアを芯材として表面板で挟み込んだ構造。航空機複合材部品においては、アラミド繊維強化ハニカムコアとCFRP表面板をエポキシ接着剤で一体化させ使用されることが多い。
溶着クーポン試験		航空機開発にて多く用いられる手法である Building Block Approach に則り、まずは溶着接合技術の調査検証及びデータ取得を目的に実施した試験。

【株式会社ジャムコ】

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
ADP	ADP molding	Advanced pultrusion の略で、(株)ジャムコで開発した複合材の連続成形製法
CFRP	Carbon fiber reinforced plastic	熱硬化性や熱可塑性の樹脂を基材に炭素繊維で強化したプラスチック
OEM	Original Equipment Manufacturer	エアバスやボーイングなどの機体メーカー、ロールスロイス、GE などのエンジンメーカー
超音波探傷	Ultrasonic inspection	超音波のパルス信号による振動を表面や内部に伝播させることにより、材料内部を検査する非破壊検査
トリム	Trim	端から一定長さをカットして端部を整えること
ディスペンサー	Dispenser	材料を供給するための装置
ボイド	Void	成形品の内部に生じた空隙状の欠陥
プリフォーム	Pre-form	成形前に形状を整えるための中間工程
プーラー	Puller	ワークを牽引する装置

【川崎重工業株式会社】

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
AFP	Automated fiber	産業用ロボットなどを用いて自動で繊維

	placement	を配置する複合材料製造方法
B777	Boeing 777	米 Boeing 社が開発した大型広胴双発ジェット旅客機。主要構造は金属製。
B787	Boeing 787	米 Boeing 社が開発した中型広胴双発ジェット旅客機。CFRP を主要構造に大規模に適用。
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic	炭素繊維強化プラスチック
FSJ	Friction Spot Joining	摩擦攪拌現象を利用した点接合法
OEM	Original Equipment Manufacturer	航空業界において、Boeing、Airbus（機体）や、GE、Rolls Royce（エンジン）など、設計・開発・製造の取りまとめを行う企業
OHC 試験	Open Hole Compression Test	孔が開いた部品の圧縮強度データを取得する試験
OHT 試験	Open Hole Tension Test	孔が開いた部品の引張強度データを取得する試験
PEEK	Poly Ether Ether Ketone	ポリエーテルエーテルケトン。結晶性の熱可塑性樹脂
PEKK	Poly Ether Ketone Ketone	ポリエーテルケトンケトン。結晶性の熱可塑性樹脂
TRL	Technology Readiness Level	NASA によって提案されている技術の成熟度を測る指標 本事業では以下の概念となる
圧縮破壊	Compression failure	単品あるいは組立部品に圧縮荷重が作用して壊れること
一次構造	Primary structure	飛行荷重、与圧荷重など、航空機に働く荷重の伝達を主に受け持つ構造部材
一体連続成形	Continuous Co-Consolidation Forming	連続的に加熱・加圧を繰り返すことで部材同士をコンソリデーションする成形法
運用強度	Strength under operating conditions	航空機の運用時に作用する荷重に部品あるいは組立品が耐荷する強さの程度
オートクレーブ	Autoclave	高温高圧で化学反応などを行うための閉容器
オートクレーブ成形	Autoclave Cure	オートクレーブを用いて材料を硬化成形

		すること
仮想ワーク	Virtual work	仮にあるものと想定した対象物
カタログデータ	Catalog Data	材料メーカーが取得し公表している物性データ
金型	Mold	金属で作られた型
キセノンフラッシュランプ	Xenon Flash Lamp	キセノンガス中での放電による発光を利用したランプ
供試体	Specimen	性能試験のために、作成される試料
局所座屈	Local Buckling	部品全体ではなく、一部分で起きる座屈
クーポン試験	Coupon Test	成形・加工品、接合部分の基本的な特性を調べるために行う、小さな試験片を使った試験
クリール部	Creel Part	積層装置の材料保管庫
広胴機	Wide Body Aircraft	客室に通路が2本ある旅客機
コンソリデーション	Consolidation	結晶性ポリマー材料が固化するまで、高温/高圧を付与して圧密すること。
コンパクション	Compaction	押圧することにより、層間に閉じ込められた空気を除去し、層同士を圧着させること
細胴機	Narrow Body Aircraft	客室に通路が1本ある旅客機
三次元計測	3D Measurement	CMM (Coordinate Measuring Machine、三次元測定機) などを用い、立体を3次元的に計測すること
自然冷却	Natural Cooling	自然対流や熱伝導による冷却
ジョグル	Joggle	板金部品・複合材部品などにおいて、取り合い部品の板厚変化に対応するための、部品を段差加工したもの、あるいは、その段差そのもの
スーパーエンブラ	Super Engineering Plastics	エンブラ (汎用プラスチックの強度/耐熱性を克服した高機能なプラスチック群) から耐熱性、難燃性を向上したプラスチック
スキン	Skin	胴体構造、主翼桁間構造などにおいて、機体表面を形成する薄板の部品
ストリンガー	Stringer	胴体構造、主翼桁間構造などにおいて、長手方向 (e. g. 胴体の場合前後方向) に走る補強部品

スレーブ	Slave	複数の機器や装置などが連携して動作する際の主(マスター)に従属する側
積層ヘッド	Layup Head	自動積層装置の材料が敷設される先端部分
繊維の歪み	Fiber Distortion	材料繊維の長手方向軸のずれ
繊維配向	Fiber Direction	材料繊維の長手方向軸の配向または整列
ダイレクトコンソリデーション	Direct Consolidation	コンソリデーションに必要な熱及び圧力を付与しながら積層を実施することで、積層と同時にコンソリデーションを実施する成形法
タッキング	Tacking	仮付け
中間基材	Intermediate Substrate	原材料から加工された製品や化合物のもとになる材料
デ・コンソリデーション	De-Consolidation	コンソリデーションした部材が、再加熱により形状保持できなくなる状態。
テーパー比	Taper Ratio	板厚変化などにおける変化の緩急を比率を使って表したもの。板厚変化部の長さに対する板厚変化量の割合、あるいはその比率。
トウ	Tow	プリプレグを繊維方向にテープ状に切断したスリットテーププリプレグ。一般に1/8インチ~1/2インチ幅。
トウガイド	Tow Guide	送り出されるトウ材料の案内部分
トウカット	Tow Cut	トウ材料の切断
胴体荷重	Load on fuselage structure	航空機構造のうち乗客あるいは貨物を収納する胴体構造に作用する力
トウフィード	Tow Feed	トウ材料の送り出し
熱硬化性 CFRP	Carbon Fiber Reinforced thermoplastic Plastic	炭素繊維を強化材とし、熱可塑性樹脂をマトリックスとする複合材料
熱可塑性 CFRP	Carbon Fiber Reinforced thermoset Plastic	炭素繊維を強化材とし、熱硬化性樹脂をマトリックスとする複合材料
ノミナル板厚	Nominal thickness	部品設計時に用いる、公差を持たない基準となる板厚
剥離	Delamination	成形した部材内部の層間で発生する剥離
白化	Surface	成形した部材表層の加熱不足・圧力不足

	Crystallinity	より生じる白色の樹脂
ファスナ結合	Fastener joint	部品同士を Hi-lok®、ボルト・ナットなどを用いて結合すること。リベット結合のように、かしめない。
複数協調制御	Multiple Cooperative Control	複数の制御対象を協調的に制御すること
プリプレグ	Prepreg	炭素繊維にエポキシ樹脂（熱硬化樹脂）や PEEK 樹脂（熱可塑樹脂）を含浸させ加熱または乾燥して半硬化状態にした強化プラスチック成型材料。
プレス成形	Press Forming	プレス装置を用いて材料を成形すること
ベース座標	Base Coordinate	ロボットのベース（駆動部/走行部分）中心を原点とする直交座標
ボイド率	Void Content	複合材内空隙の体積分率
ポジショナ	Positioner	ワークを保持しながら回転動作を行う機構で、回転方向の位置決め機能を有する。
マスター	Master	複数の機器や装置などが連携して動作する際の主となる側
未コンソリ	Un-Consolidated	コンソリデーションされていない状態、または不完全な状態。
溶着技術	Welding Technology	コンソリデーションされた部材の界面/表面を加熱し、部材同士を圧密することで一体化する技術
ラップ・ギャップ	Lap・Gap	積層されたトウと隣り合うトウとの重なり（ラップ）・隙間（ギャップ）のこと
リベット結合	Rivet joint	部品同士をリベットを使って結合すること。部品にあいた孔に差し込んだリベットをかしめて変形させることにより、結合する。
リンクル	Wrinkles	設計板厚に対して、面外方向に生じた各層の偏差。面外方向のしわとして観察される。
レーザー	Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)	誘導放射により増幅された、指向性と収束性に優れた電磁波

レーザートラッカー	Laser tracker	レーザー干渉計による反射鏡までの距離測定と反射鏡への角度測定から三次元位置を算出する装置
連続プレス成形	Continuous Compression Molding	連続的に加熱・加圧を繰り返すことで部材をコンソリデーションする成形法
湾曲部材	Curved Part	長尺部品のうち、長手方向に湾曲しているもの

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】

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
Airbus A320	Airbus A320	欧州のエアバス社が製造している単通路の双発ジェット旅客機。アルミ合金製。
Airbus A350	Airbus A350	欧州のエアバス社が製造している複通路の双発ジェット旅客機。CFRP 使用率 53%。
Boeing 737	Boeing 737	米国のボーイング社が製造している単通路の双発ジェット旅客機。アルミ合金製。
Boeing 787	Boeing 787	米国のボーイング社が製造している複通路の双発ジェット旅客機。CFRP 使用率 50%。
CAI	Compression strength After Impact	衝撃後圧縮強度。試験片にインパクトによる衝撃を与えた後、圧縮試験を実施する。CFRP の場合、異物の衝突や工具落下等の欠陥の発見が困難なため、この強度要求がある。
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics	炭素繊維複合材料、炭素繊維強化プラスチックの略。
FEM	Finite Element Method	有限要素法。微分方程式を、近似的に解くための数値解析の方法。
GIC	Mode I Interlaminar fracture toughness	モード I 層間破壊じん性。き裂開口変位がき裂面に対して垂直なもの（開口形）。

GIIC	Mode II Interlaminar fracture toughness	モードII層間破壊じん性。き裂開口変位がき裂面に平行で、き裂前縁に垂直なもの（縦せん断形）。
NHC	Non-hole compression	無孔板圧縮。
NHT	Non-hole tension	無孔板引張。
OHC	Open-hole compression	有孔板圧縮。
OHT	Open-hole tension	有孔板引張。
アンカリング装置	Continuous manufacturing equipment for preform	プリフォームの連続作製の装置。
一体成形	Co-cure	スキン材と補強材のように複数の構成部品を、予め素材（プリプレグ等）で形を整えておき、これらの部品を組み合わせることで一回の成形工程で一体の部品として成形する技術。
X線CT	X-ray Computed Tomography	X線を利用して物体を走査し、コンピュータを用いて処理することで、物体の内部構造を画像として構成する技術。
エネルギーダイレクター	Energy director	超音波溶着時に溶着界面に挿入される樹脂の突起物やフィルム等のこと。エネルギーダイレクター部に集中的な伸縮運動が起こり、樹脂熔融温度まで極めて短時間で発熱し、効率良く溶着を行うことが可能になる。
オートクレーブ	Autoclave	CFRPの成形装置の1つ。積み重ねたプリプレグに熱と圧力を負荷して硬化する（固める）ことができる。圧力媒体にガスを用いることで、オートクレーブ内では均一なガス圧を負荷することができるため、複雑な形状の部品にも均一な圧力を負荷することができる。
クリップ	Clip	スキンとフレームを接続する部品。別名シアタイ。

コボンド	Co-bond	予め硬化した複合材と複合材の素材（プリプレグ等）を、接着剤を介して硬化すると同時に接合する技術。
C スキャン	C-scan	超音波探傷において、ある深さ位置における振幅値を平面上にプロットする手法。
シングルラップシア強度	Single Lap Shear strength	単純重ね合せ接着継手の接着面に対して平行なせん断荷重を負荷することにより評価される接合強度。通常、接着剤による接合部の引張せん断強さ（見掛けのせん断強さ）を評価する際に用いられる。
スキン	Skin	外板。
ストリンガー	Stringer	航空機胴体を補強する細長い部品で、「縦通材」とも呼ばれる。
層間破壊じん性	Interlaminar fracture toughness	単位面積の層間はく離き裂を生じる際に必要なエネルギーの限界値。
タクト時間	Takt time	製造における、生産工程の均等なタイミングを図るための工程作業時間。
単通路機	Single-aisle Aircraft	旅客機のうち内部の通路が1本しかないもの。
超音波溶着	Ultrasonic welding	15～50 キロヘルツ程度の超音波振動を圧力とともに部材に加え生じる摩擦熱で溶着する方法。
抵抗溶着	Resistance welding	接合する熱可塑樹脂材の間に抵抗発熱体を設け、通電させることで発生するジュール熱で樹脂を熔融し、熔融時に加圧することで材料同士を溶着する方法。
デント	Dent	衝撃により生じた試験片表面のへこみ。
熱可塑性 CFRP	Thermoplastic CFRP	炭素繊維を強化材とし、マトリックス樹脂に熱可塑性樹脂を用いた繊維強化プラスチック。CFRTPとも呼ばれる。
熱可塑性樹脂	Thermoplastic resin	加熱によって軟化して可塑性を示し、冷却によって固化する性質をもつ合成樹脂の総称。
熱硬化性 CFRP	Thermosetting CFRP	炭素繊維を強化材とし、マトリックス樹脂に熱硬化性樹脂を用いた繊維強化プラスチック。

熱板溶着	Hot plate welding	加熱した熱板で樹脂を溶融し、冷えて固まる前に押し付けて接溶着する方法。
ファスナー	Fastener	航空機主構造部材間の機械的な結合に用いられるリベットやボルトとナット等の締結部品の総称。
複通路機	Twin-aisle Aircraft	旅客機のうち内部の通路が 2 本あるもの。
プリフォーム	Preform	一般的には、強化繊維を立体的な形状にした CFRP の成形用基材のことだが、ここでは熱溶着可能な熱硬化性 CFRP を製造するために必要な、熱可塑／熱硬化複合プリプレグのことを指す。
プリプレグ	Prepreg	CFRP を製造するための素材。強化繊維を一方向に引き揃え、または織物にし、一定の割合でマトリックス樹脂を含浸させた材料。
フレーム	Frame	補強円框（えんきょう）。
プレス成形	Press molding/Compression molding	プレス機に雄型と雌型の型を取り付け、2 つの型で挟み込んで加圧・加熱する成形方法。
プロセスウィンドウ	Process window	製品を製造するための温度、圧力、時間等の適用範囲。
ベンチマーク	Benchmark	品質基準のレベルを評価する際に使用される特定の基準または一連の基準。
誘導溶着	Induction welding	誘導溶着は誘導コイルにより溶着面に渦電流を発生させ、その電流が熱となり樹脂を溶融し、その溶融時に加圧することで溶着する方法。
リージョナルジェット	Regional Jet	旅客がそれ程多くない路線や大空港と地方空港を結ぶ路線に運航されるジェット機。一般に、100 席未満の小型ジェット機を指す。
リードタイム	Lead time	工程に着手してから全ての工程が完成するまでの所要期間
レーザー超音波	Laser ultrasonics	パルスレーザーを検査対象物の表面に照射することによって発生する超音波。
結合力モデル	Cohesive force model	弾性き裂の内面に結合力を考慮することにより、き裂先端の塑性域あるいは損傷

		域などの非線形現象の影響を線形破壊力学的に取扱えるモデル。
非破壊検査	Non Destructive Inspection	部品の健全性を破壊することなく検査する手法。代表的なものには、超音波検査や放射線検査等がある。

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

1.1 事業の背景

航空機産業における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、旅客需要で年率約5%増加、市場規模は約3.4万機(5~6兆ドル程度)となる見通しである。(図1)

その中で最も機体需要が多いとされる150席級ナローボディ機(A320, B737)が増大することなどが予測される。ジェット旅客機の運航機材構成予測(図2)。

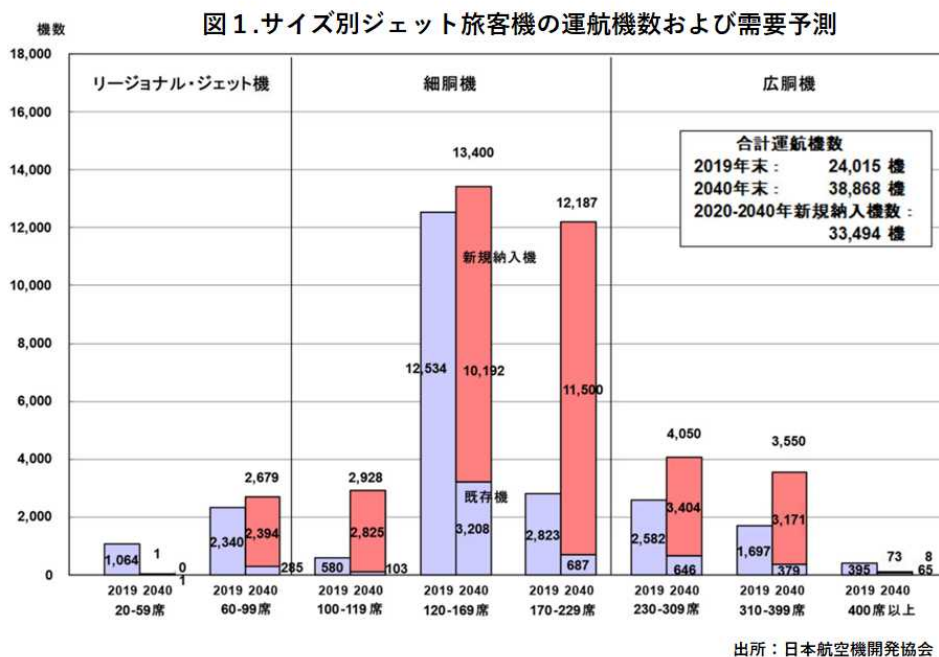
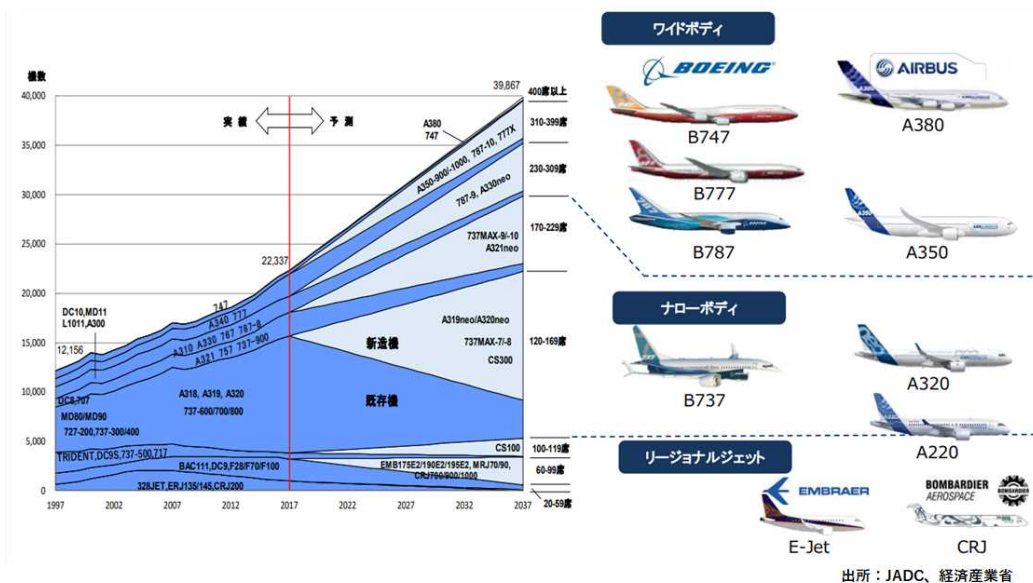


図2. ジェット旅客機の運航機材構成予測



公開版

ボーイング及びエアバスともに、ドル箱であるB737MAXとA320neoに注力しているが、B757（生産終了）クラスのキャパシティと航続距離を持つ旅客機の需要は少ないが確実に存在することから、ボーイングは、PARIS AIR SHOW 2017 において、このクラスの機種の開発（757後継機）、2019年にローンチ、2025年にEIS、複合材（Composite）を広範囲（Extensive）に使用して行うことを発表した、しかし、2020年1月には、ボーイング737MAXの運行停止問題の影響を受け、計画を白紙化し、再検討することが発表された。

エアバスはA321neoの航続距離を延長したA321XLRをPARIS AIR SHOW 2019にローンチしたと発表した。こちらは2024年の引き渡しを予定する。

図3. エアバス及びボーイングのOEM状況

	Airbus	Boeing
短胴機	A321XLR ・ A321LRより15%航続距離が伸びた機体 2021年12月最終組立て完了 2024年引き渡し開始予定 A220増産 ・ 元ボンバルディア機、増産体制強化が課題	737MAX飛行再開 ・ 中国の航空当局が近く、ほぼ3年ぶりに運航を認める見通し。中国での運航再開が認められればほぼ3年ぶりに市場に復帰する事になる 757後継機開発 ・ 2020年1月、ボーイング737MAXの運行停止問題の影響を受け、計画を白紙化し、再検討することが発表された
広胴機	A350 ・ A300・A330/A340の後継機としてエアバス社が発売した新世代中～大型ワイドボディ旅客機。 月産6機へ生産レートを引き上げる発表を行う。 A380 ・ 世界初の総2階建て4発エンジン、世界最大の旅客機 2021年に生産終了。	747-8 ・ 747シリーズの最終モデルである。-400の後継機として787に似た主翼そして同じエンジンを装備し、わずかに胴体を延長した747の最新モデル。2022年での生産終了を発表。 777X開発 ・ コロナの影響やFAAから追加の試験飛行を要求され開発は遅れている。初の引き渡しは2023年後半を予定 787品質対応 ・ 胴体にわずかな隙間が確認されるなど製造品質に関わる問題により航空会社への納入を停止している。

ボーイング及びエアバス製旅客機及び搭載エンジンの日本のプログラムパートナーシェアを以下に示す（図4,5）。

図4. 旅客機のプログラムパートナーシェア

メーカー	機種名	座席数	初飛行	日本シェア	備考
ボーイング	B767	200	1981	15%	複合材構成比 4%（舵面）
	B777	300-350	1994	21%	複合材構成比 11%（尾翼）
	B787-8	250-300	2009	35%	複合材構成比 50%（胴体、主翼）
	B737MAX	150	2016	2%	
	B777X	350	*2019	21%	*予定
エアバス	A380	500	2005	2%	複合材構成比 23%
	A350	300-350	2013		複合材構成比 50%
	A320neo	200	2014		

公開版

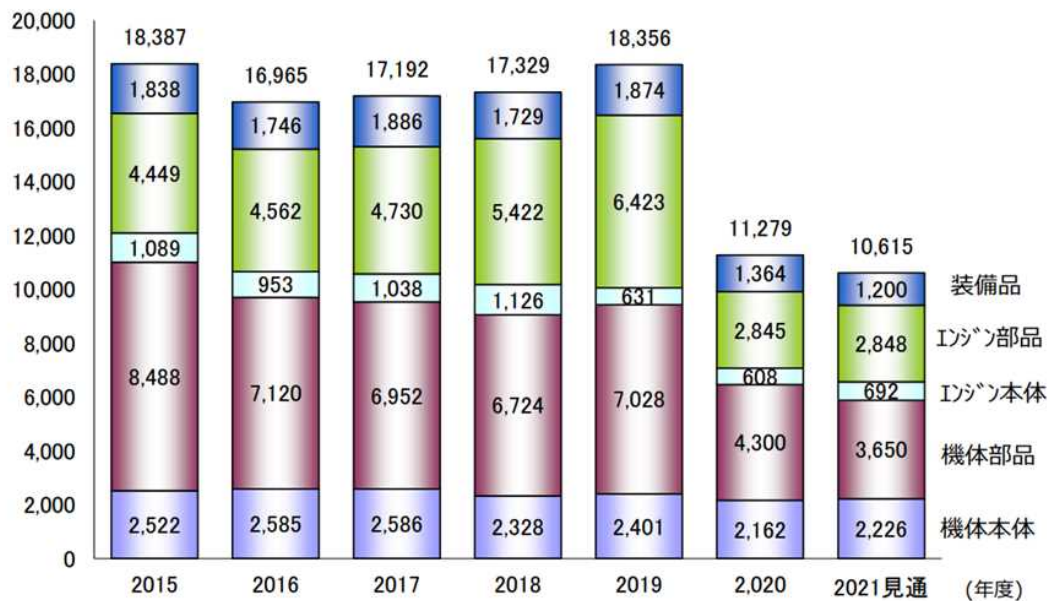
図5. 搭載エンジンのプログラムパートナーシェア

メーカー	エンジン名	搭載機	日本シェア
IAE	V2500	A320	23%
GE	GEnx	B787	15%
	GE9X	B777X	10.5%
CFM インターナショナル	LEAP-1A	A320neo	-
	LEAP-1B	B737MAX	
P&W	PW6000	A318	8%
	PW1100G-JM	A320neo	23%
	PW1200G	MRJ	15%
RR	Trent 1000	B787	15.5%

ボーイングの機体においては、B767、B777、B787と日本のシェアは上昇している。搭載エンジンも、V2500がベストセラーエンジンとなり日本の技術が認められ、その後、シェアを伸ばしてきている。これに伴い、国内航空機産業生産額も順調に推移していたが、新型コロナウイルス感染拡大に端を発する世界的な航空需要低下の影響は航空機産業会も例外ではないが、長期的には成長産業であることに変わりはないと予測されている（図6）。

(億円)

図6. 国内航空機産業生産額推移



出所：一般財団法人 日本航空宇宙工業会

1950年代の初期のジェット機に比べて、現在のジェット機は80%も軽くなっているが、依然として、機体軽量化へのニーズは大きい。燃費向上の最も直接的な方法は高性能なエンジンの開発であるが、機体そのものに改良を加える努力もなされている。機体軽量化には、2つの大きなアプローチが存在する。1つは材料選択であり、もう1つは最適設計によるものである。

前者に関しては、B787あるいはA350では炭素繊維複合材の積極利用により機体の軽量化が図られ、炭素繊維複合材の重量比が50%を越えている。しかしながら、

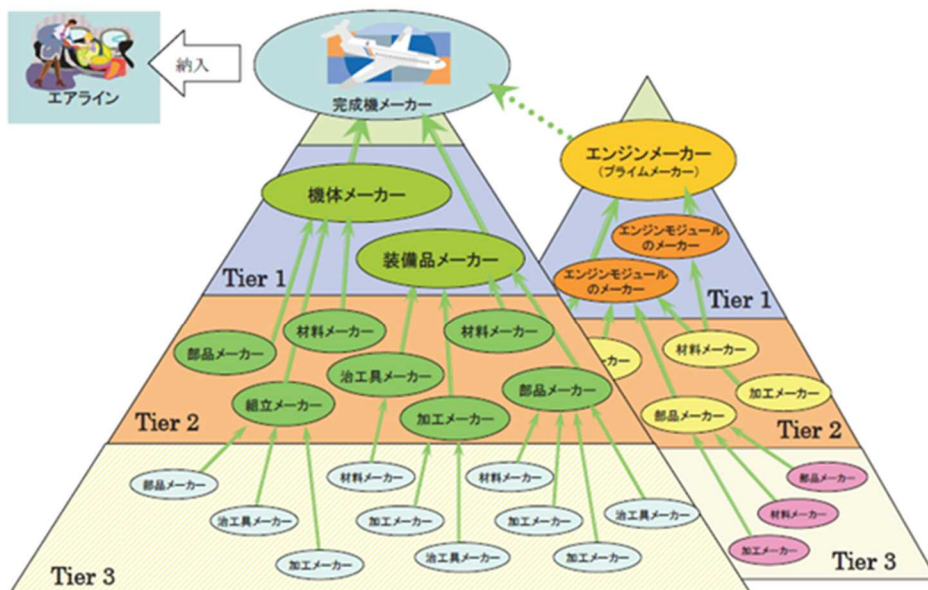
公開版

構成素材である炭素繊維の原価が高く、コスト面でのデメリットが存在する。

後者に関しては、国産リージョナルジェットであるSpaceJet（三菱航空機）における中橋、大林らによる計算機空気力学を積極的に利用した多目的最適化研究に先導された革新的な空力性能を有する主翼がある。航空機開発の設計では複数の分野を横断するため、後戻りの作業が多く、これが開発時のボトルネックとなっている現状がある。また、各設計ツールが個別に存在するため、空力性能、安全余裕、航続距離、燃費といった多様な目的関数の相関を直接的に議論できていない。特に、概念設計、構造設計、材料選択といった内容はどのメーカーにおいても部や課が分かれているため、個別の議論が組み立てられ全体を俯瞰した設計になりにくい傾向がある。より効率的かつ高性能な機体を開発するためには、空力性能から材料選択、コストに至るまでを包括的に議論できる設計ツールの開発が必要不可欠であり、これにより、ユーザーであるエアラインのニーズにフレキシブルに対応できるテーラーメイドな設計が可能となる。

ボーイングが次期航空機に炭素繊維複合材を広範囲に使用することは、次世代航空機（737/757後継機と予想）においても、炭素繊維複合材の広範囲の使用が予想される。次期及び次世代航空機においても、日本分担割合の増加は必須であり、日本の強みである炭素繊維複合材の高生産性・低コスト生産技術を開発することが必要となる。航空機産業の特徴は、幅広い分野の技術を組み合わせた複雑なシステムを有していることである。さらに、航空機に用いられる部品の点数は、自動車（2～3万点）の約100倍の300万点から成り立っており、大手重工メーカーの一次下請けが約1200社、従業員約2万人に上るなど産業構造の裾野が広く、中小企業への技術的波及効果が非常に大きい(図7)。

図7. 航空機産業の製品供給の流れ



出所：日本公庫総研レポート No. 2010-3 日本政策金融公庫総合研究所

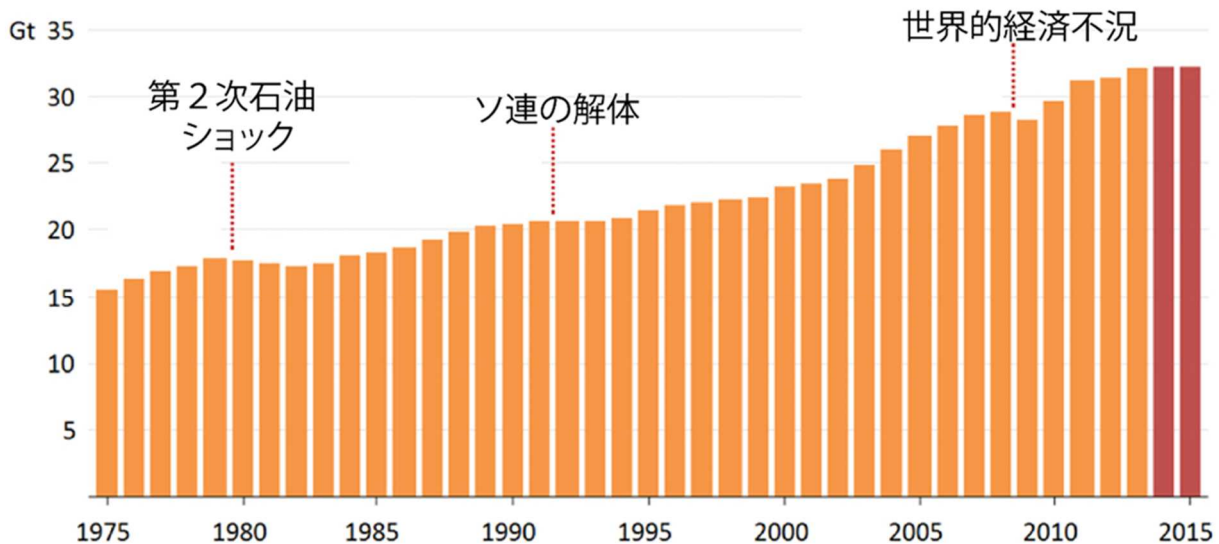
公開版

2015年に初飛行したSpaceJetの一時開発は停止されたが、これは、我が国の航空機関連産業のインテグレート機能の誕生であり、Tier2以下の国内の中堅・中小企業群及びその周辺産業が航空機関連パーツの供給能力を得た場合、日本全体に大きな経済波及効果をもたらすことになる。

新興国においては、OEMの現地生産子会社やそのサプライチェーンを通じた航空機製造の産業基盤が立ち上がりつつある。我が国の航空機産業は、品質、コスト、安定供給等の側面から現状では優位であると考えられるが、今後さらに競争が厳しくなることが考えられる。航空機は、高い安全性や性能の要求から先端技術の粋が結集されており、今後の我が国航空機産業の発展にとって、従来日本の強みのある素材・材料分野だけでなく、生産技術、情報技術といった他の産業における強い技術を航空機分野に適用することが重要な課題となる。また、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炭素繊維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。

世界の二酸化炭素排出量の推移を示す（図8）。2013年329億トン、2014年321億トン、2015年321億トン、2016年は暫定で334億トン、ここ数年ほぼ横ばいの推移を占めているが、エネルギー消費量削減やCO₂排出量削減は、国際的な重要課題である。

図8. 世界の二酸化炭素排出量推移

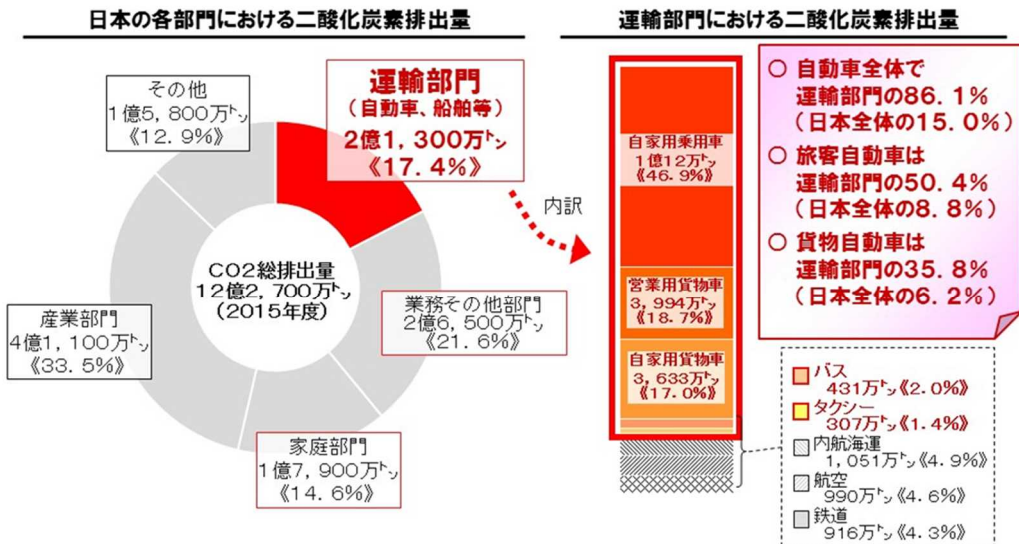


出所：一般社団法人日本原子力産業協会

我が国の2015年度のCO₂排出総量は、約12.3億トンであり、このうち運輸部門の排出量は約17.4%の2.1億トン、航空機は運輸部門の約4.6%で990万トンとなる（図9）。この比率から世界の航空機から排出されるCO₂を算出すると、世界のCO₂排出総量（2016年度）は334億トンであることから、約2.7億トンとなる。航空機産業は、ボーイングやエアバスに代表される寡占産業であり、本事業で開発した

成果は、日本のみならず世界のCO₂排出量削減に寄与することになる。

図9. 輸送部門における二酸化炭素排出量



※ 電気事業者の発電の伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量はそれぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分
 ※ 端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。
 ※ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2015年度)確報値」より国土交通省環境政策課作成

出所：国土交通省

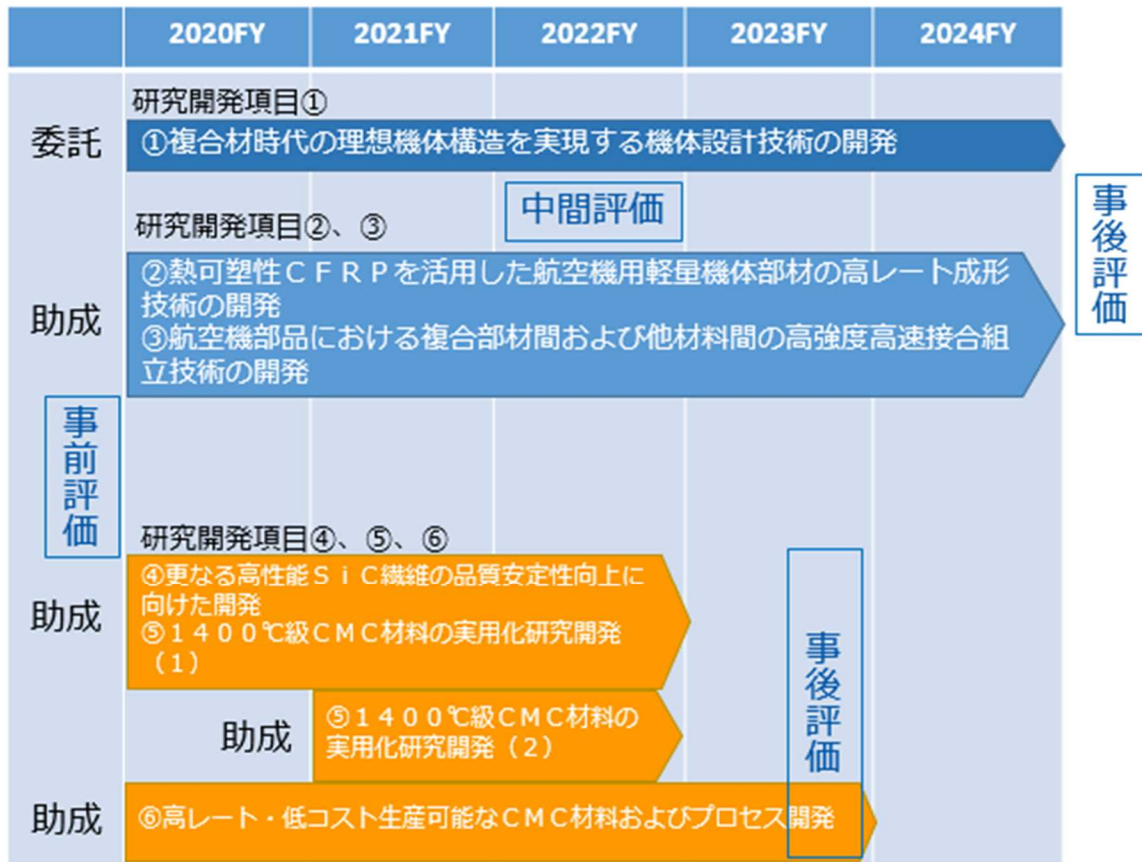
1.2 事業の目的

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。これにより、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素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。

本事業は2020年度よりスタートした事業である。本事業のスケジュール概要を以下に示す(図10)。今回の中間評価は、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」及び、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」が対象となる。

公開版

図10. スケジュール概要



1.3 事業の位置付け

1.3.1 政策的重要性

航空機産業は、国際的な産業競争が激化する状況にある。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、2019年から2040年の20年間の市場規模は、累計約3万4000機（5兆5000億ドル程度）となる見通しである。「航空産業ビジョン」では、国内航空機産業は、2030年には売上高3兆円を達成すると謳われている。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、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。また、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、先進的な部素材開発及び成形組立技術開発等が急務となっている。

国際的な産業競争が激化する状況下、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。

公開版

1.3.2 我が国の状況

我が国の航空機産業は、モジュール単位での国際共同開発への参画拡大（例：B777X・・・機体の21%、B787…機体の35%、エンジン（Trent1000、GenX）の15%、PW1100G-JMの23%）を通じて、2017年度生産額も約1.7兆円まで拡大したが、依然主要国より一桁小さい規模である。我が国の強みは、精度の高さと品質管理、納期遵守、複合材等の素材関連技術（例：東レがB787の炭素繊維を独占供給）等であり、高品質を求められる航空機産業（機体・エンジン・装備品）において米・欧とも、日本との更なる協力を模索している。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・高レートな成形組立技術は重要となってくる。

他方、我が国は、世界と戦える優れた技術を有しているものの、単なる「部品供給・モジュール分担」にとどまっている限りは飛躍的な成長は困難となっている。新興国の追い上げがコスト競争の圧力となっているとともに、強みである複合材分野でも海外の巻き返しに対し、更なる技術革新で優位性を維持・拡大することが必要となっており、今後は、先進的な技術を有することで設計を含めた共同開発に携わることで、欧米の完成機メーカーの戦略的パートナーとなっていくことが不可欠である。

1.3.2 世界の取り組み状況

膨大な開発コストかつ投資回収期間が超長期に及ぶことによる投資・生産上のリスクを最小化するため、米・欧主導の国際共同開発がビジネスモデルの趨勢となっている。このため、コアの技術は押さえつつ、モジュール単位で外注する国際分業の中、内外の優れた技術や生産基盤を取り込む競争が激化している。特に、今後の機体、エンジン、装備品開発では、信頼性・安全性を確保した上での燃費改善や環境適合性の向上が技術課題の焦点となっており、主要国は、複合材等の最先端の技術に関し、産学官の連携を含めた戦略的な研究開発を加速させつつある。

他方、新興国の市場参入並びに低コストキャリア（LCC）の需要増加により、コスト競争力を格段に重視せざるを得ない市場環境になっており、欧米の一次下請企業では、国際的なサプライチェーンを展開し、技術的に一定水準以下の部分については、新興国のコスト競争力を活用しつつ、自らはモジュール単位でのより包括的なシステム統合と中核技術に集中する傾向にある。

公開版

2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDOが関与することの意義

EDOは第四期中長期目標におけるミッションとして、「エネルギー・環境問題の解決」、「産業技術力の強化」に貢献することをミッションとしている。

本事業の狙いは、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。

また、中小企業への技術的波及効果が大きくかつ高付加価値産業である航空機産業は、我が国の経済成長や雇用創出の観点から、産業政策としての支援が効果的と考えられる。さらに、航空機産業は、技術の先進性や極限状態における高い信頼性が求められるため、技術的課題の難易度が高く巨額な研究開発費が必要である。素材開発から材料、部材と航空機に採用されるまでには、産業の特性として長期間を要し、かつ、投資回収期間が非常に長いため、ビジネス上の大きなリスクが存在する。これらのことから民間企業だけの開発ではなく、NEDOプロジェクトとしての実施が妥当である。

NEDOプロジェクトにおいて、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。

2.2 実施の効果（費用対効果）

航空機関連技術の高度化は、我が国の産業基盤全体の高度化につながるとともに、航空機産業から他の輸送機器などへの技術波及効果も大きく、国の投資による費用対効果が大きい。

(1) 事業費用の総額

60億円（2020年～2024年予定）。（研究開発項目①～③は、34.5億円）

(2) CO₂削減効果

2014年度でのCO₂排出削減量1500万トン。（研究開発項目①～⑥）

公開版

2. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1 事業の目的

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。これにより、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素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。

1.2 アウトプット目標

次世代航空機に搭載され、大幅なエネルギー消費量とCO₂排出量の削減に資する先進的な構造材料及び成形組立技術を確立する。

1.3 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改善が図られることにより、2040年において、1500万tのCO₂削減が期待される。

1.4 アウトカム目標達成に向けての取り組み

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討するとともに、技術推進委員会等において、研究開発の進捗管理や目標の見直しを行う等、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.1 研究開発の予算

今回の中間評価は、NEDOが2020年度に企業、大学等の研究機関から公募によって委託先及び助成先を選定し、研究体制を構築して開始した以下の研究開発項目が対象となる。

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」

研究開発項目③「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

公開版

成形技術の開発」

対象となる研究開発予算を図 11 に示す。

図 11. 事業経過及び予算（単位：百万円）

研究開発項目	事業者	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	39	42	41	(122)
	ジャムコ	49	27	59	(135)
	川崎重工業	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	90	359	326	(775)
合計		472	750	749	(1971)

2.1.2 研究開発の必要性

2.1.2.1 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」

複合材を用いた航空機の設計では、昨今の計算機性能の向上に伴い、CAE (Computer Aided Engineering) に大きな期待がかけられている。空力・設計・材料・生産までをCAEを通じて体系化することにより、不要な人件費も実験も削れ、費用対効果の高い筋肉質な枠組みが可能となる。我が国では、異なる分野間において別々に検討し、設計を収斂させるらせん型の設計方式が採用されおり、分野間での情報伝達不備を生じやすく、開発期間の遅延等による開発コスト増加を引き起こしやすい現状がある。CAEを援用することで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。また、航空機構造認証プロセスでは、ビルディングブロック方式が採用されており、材料試験から始まり構造試験に至るまで膨大な実験が必要となる。複合材等の新規素材を採用した時には、一からすべての認証を実施する必要があり、多大なコストを要するが、CAEを援用することで実験数削減、期間短縮等が可能となり、構造認証にかかるコスト削減が可能になるので、シミュレーション技術開発が必要である。

2.1.2.2 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」

公開版

1) 熱可塑性CFRP大型部材の高速成形技術の確立

複合材料部材の適用を更に拡大させるには、プリプレグの積層にかかる手間を削減し、製造効率を改善することが必要であり、自動積層装置の導入が必須の要件である。安定した品質の大型複合部材を少なくともアルミニウム部材並みのスピードで成形するための基盤技術を欧米に先駆けて確立する必要がある。

熱可塑性CFRP中間基材の積層後に部材に熱を加えて溶融成型する工程は、小型の部材の場合はプレス装置を用いることが一般的であるが、航空機の外板等はプレス成型には大きすぎるため、欧米での検討では熱硬化性CFRPの場合と同様にオートクレーブが用いられている。しかしこれでは次世代短通路機で要望される生産レートを達成することはできない。従って、技術開発にあたっては「プレス成型できない特大サイズの航空機部品を如何に高速で成形加工するか」が課題となる。前述の易成形性の熱可塑性CFRP中間基材を用いることもさることながら、大型の熱可塑性CFRP中間基材を連続的に成形する技術の確立が必要である。

2) 複雑形状の部品の一体成形技術の確立

大型の部品の製造と並んで、従来多数の部品の組み合わせにより製造していた複雑形状部品を一挙に製造する技術も部品の製造工程を大きく短縮すると期待される。さらに、熱可塑性CFRPの溶融成型できる特性を活用し、金属などの異種材料と一挙に複合成形できれば、より構造設計の自由度が高まり、従来の延長線上にない軽量・高強度の複合部品が作製できると考えられる。

2.1.2.3 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」

1) 熱可塑性CFRP部品の高速・高強度溶着組立技術

一旦硬化した熱硬化性CFRP部品は再度軟化しないため、熱硬化性CFRP部品は組立工程において従来のアルミニウム部品と同様に穿孔・締結による接合が行われてきた。しかしながら、アルミニウム部材と異なり、CFRPは非常に硬く穿孔が難しいだけでなく、穿孔の際に中間基材の層間が剥離する危険があり、穿孔のスピードが上げられない等の問題を有している。そもそも複合材料は異方性のある材料であり、穿孔・締結により穿孔部に局所的な荷重をかけることは材料にとって好ましい使い方ではない。従って熱可塑性CFRP部材の実用化を契機として、生産性が低く材料にとっても好ましくない穿孔・締結による組立工程を刷新することが望まれる。

2) 熱硬化性CRFP-熱可塑性CFRP異種接合技術

次期細胴機においては月産数十機～百機といった高レートかつ低コストの生産が要求される。その中で、いかにコストを最適化し複合材の特性を最大限活かした機体を設計するか、という観点においては、熱可塑性CFRPのみによる構造設計のみならず、熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPのハイブリッドな構造設計の可能性も十分に考えられる。熱硬化性CFRPは我が国が強みを有する材料

公開版

であり、熱可塑性CFRPの開発に加え、異種複合材による接合技術まで開発することは、将来機への適用可能性を更に広げ、機体材料における我が国の優位性を高めることに繋がる。そのためには熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPとの有効な接合技術を他国に先駆けて開発する必要がある。

2.1.3 研究開発の具体的内容

2.1.3.1 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」

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。構造解析能力を高めることで、材料・設計データ量を減らし、実試験量を減らす検討を行うことはもとより、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）】

- ・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）】

- ・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。

2.1.3.2 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」

1) 熱可塑性CFRP大型部材の高速成形技術の確立

複合材料部材の適用を更に拡大させるには、プリプレグの積層にかかる手間を削減し、製造効率を改善することが必要であり、自動積層装置の導入が必須の要件である。安定した品質の大型複合部材を少なくともアルミニウム部材並みのスピードで成形するための基盤技術を欧米に先駆けて確立する必要がある。

熱可塑性CFRP中間基材の積層後に部材に熱を加えて熔融成型する工程は、小型の部材の場合はプレス装置を用いることが一般的であるが、航空機の外板等はプレス成型には大きすぎるため、欧米での検討では熱硬化性CFRPの場合と同様にオートクレーブが用いられている。しかしこれでは次世代短通路機で要望される生産レートを達成することはできない。従って、技術開発にあたっては「プレス成型できない特大サイズの航空機部品を如何に高速で成形加工するか」が課題となる。前述の易成形性の熱可塑性CFRP中間基材を用いることもさることながら、大型の熱可塑性CFRP中間基材を連続的に成形する技術の確立が必要である。

公開版

2) 複雑形状の部品の一体成形技術の確立

大型の部品の製造と並んで、従来多数の部品の組み合わせにより製造していた複雑形状部品を一挙に製造する技術も部品の製造工程を大きく短縮すると期待される。さらに、熱可塑性CFRPの熔融成型できる特性を活用し、金属などの異種材料と一挙に複合成形できれば、より構造設計の自由度が高まり、従来の延長線上にない軽量・高強度の複合部品が作製できると考えられる。

【中間目標（2022年度）】

- ・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）】

- ・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。

2.1.3.3 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」

1) 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の開発

熱可塑性CFRPの溶着技術については、既存のシーズ技術として超音波溶着法、抵抗溶着法、誘導溶着法、レーザー溶着法等の技術が検討されており、NEDO事業である「革新的新構造材料等研究開発」でも溶着技術が自動車向けに研究開発されている。しかし、自動車向けに開発されている技術は汎用樹脂あるいは汎用エンジニアリングプラスチックが対象であり、かつ自動車用途の強度を満足させるため、点溶着などの最適溶着手法が検討されており、より高温での溶着が要求される。一方、航空機での使用に耐えるような強度、耐熱等の環境下では、面溶着などより強固の溶着手法が必要とされる。大型部品ならびに複雑形状部品を迅速、確実に加熱し、確実に溶着する技術が要求される複合部材と同様に機体の組立においても高強度高速の溶着技術の確立を目指す。組立工程では部品のサイズがいっそう大きくなることから、接合面の位置決めや部品間の形状誤差の補正等の技術の確立も目指す。

2) 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）の開発

公開版

熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPとの接合に関しては、熱可塑性CFRPが溶融するという特性を有効に活用して、熱可塑性CFRPと熱硬化性CFRPをシームレスに接合する技術の開発が有効と考えられる。現行NEDO事業でも熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPの接着については検討されているが、一次構造材料の接合に使用できるレベルの強度を実現すべく現行の手法に限らず研究開発を実施する。

【中間目標（2022年度）】

- ・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）】

- ・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30MPa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。

2.2 研究開発の実施体制（図12）

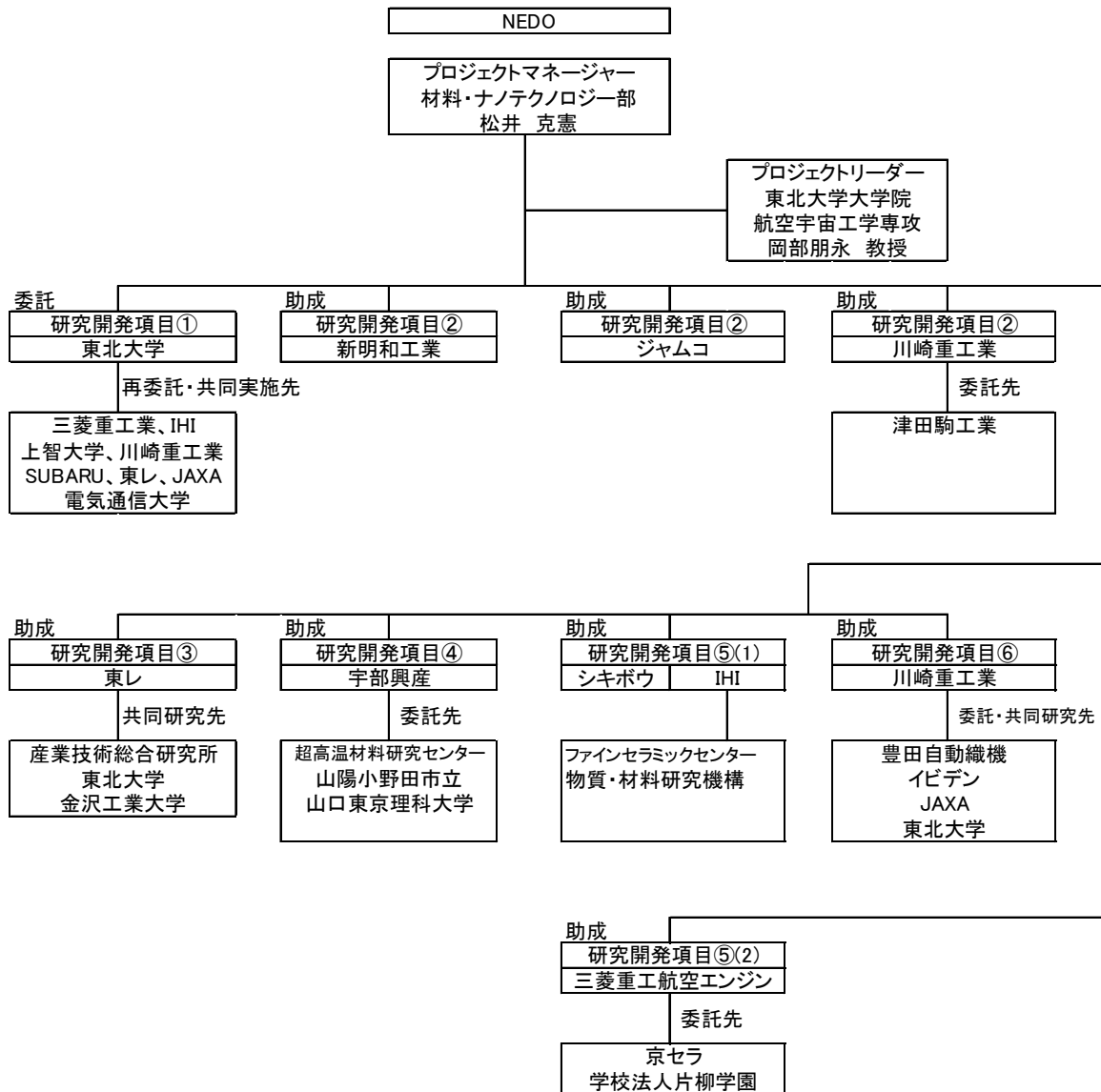
NEDOは、プロジェクトマネージャーとして、NEDO材料・ナノテクノロジー部松井克憲を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

本研究開発は、2020年度に企業、大学等の研究機関からNEDOが公募によって委託先及び助成先を選定し、研究体制を構築して開始したものである。

各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者（プロジェクトリーダー：PL）として東北大学大学院航空宇宙工学専攻岡部朋永教授を選定し、各実施者は、各々プロジェクトリーダーの下で研究開発を実施した。また、技術動向調査の結果及び各研究テーマの進捗を元とした事業化（出口）を見据えた開発戦略（全体の最終目標達成に向けたテーマごとの研究開発ロードマップを含む）を構築し、効率的な研究の開発・研究成果の実用化を目指した。

公開版

図 12. 「次世代複合材創製・成形技術開発」実施体制



2.3 研究開発の運営管理

2.3.1 研究開発の進捗把握・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省、プロジェクトリーダー及び各実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、必要に応じて、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトの進捗の確認や各テーマで実施された委員会への参加等により進捗の確認及び管理を行った。また、コロナ禍の状況に応じて、リモートなどハイブリッド開催で進捗報告会等を実施した。

2.3.2 NEDO が組織した委員会

2020 年 11 月及び、2021 年 11 月に、技術推進委員会を、李家賢一教授（東京

公開版

大学)を含む6名の委員、プロジェクトリーダーで実施した。

また、2021年3月及び、2022年3月に、各年度の成果及び次年度の研究内容の報告会をプロジェクトリーダーで実施した。

2.3.3 委託先／助成先が組織した委員会

研究開発項目①（東北大学）

研究の進捗状況を横通しするため、3回～4回／年の技術委員会を実施した。

研究開発項目②（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）

技術委員会を設立し、1回／年の技術委員会を行い、研究課題ごとの進捗状況を管理した。

研究開発項目③（東レ株式会社）

技術委員会を設立し、1回～2回／年の技術委員会を行い、研究課題ごとの進捗状況を管理した。

2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

2.4.1 技術推進委員会

技術推進委員会で外部有識者の意見をマネジメントに反映し、実用化に向けた研究開発を促進した。各研究開発項目への特記事項を以下に示す。

【研究開発項目②（2020年度）】

1年間の交付決定であった新明和工業株式会社について、委員会において、研究内容が出口戦略を有する効果的な開発であることから、継続して研究を実施することが了承された。

【研究開発項目②（2021年度）】

2022年度の川崎重工業株式会社の研究内容の変更に関して、委員会において説明が不十分であったため、特別委員会を別途開催して了承された。

【研究開発項目③（2021年度）】

東レ株式会社にて、半導体の影響で2022年度に導入予定の一部装置の導入が困難であったため、対応策の協議のための特別委員会を別途開催して了承された。

2.4.2 知的財産権等に関する戦略（知財戦略、知財委員会）

NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針に沿って、委託先及び再委託先（共同実施含む）間の知財の取り扱いに関する合意事項が含まれる文書

（知財合意書）を作成し、また、委託先及び再委託先（共同実施含む）からなる

「知財委員会」を整備し、知財の取り扱いや方針等を決定する体制を整備した。

これより、事業実施後の実用化に向けた出口戦略を構築・実現する戦略的な体制を構築した。

公開版

3. 情勢変化への対応

コロナの影響や、半導体の影響での物の納期遅れなどに関して、適宜、後倒し等を実施し、研究に影響ないようにマネジメントを実施した。

4. 評価に関する事項

NEDO は、(1) 事業の位置付け・必要性、(2) 研究開発マネジメント、(3) 研究開発成果、(4) 成果の実用化に向けた取組及び見通しの 4 つの評価項目について、外部有識者による中間評価及び事後評価を実施する。

中間評価は 2022 年度に実施し、最終年度終了後に事後評価を実施する。なお、中間評価等の結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

公開版

3. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

2022年6月現在、中間目標の達成に至っていない項目はあるものの、2022年度末に達成の見込みとなっており、概ね良好である。また、最終目標の達成可能性についても現時点で大きな支障は確認されていない。

2. 研究開発項目毎の成果

各研究開発項目の成果の詳細は、別添1～5に示す。

公開版

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

1. 本プロジェクトにおける「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。

2. 成果の実用化に向けた戦略

各研究開発項目の実用化に向けた戦略は、別添 1～5 に示す。

3. 成果の実用化に向けた具体的取り組み

各研究開発項目の実用化に向けた取り組みは、別添 1～5 に示す。

4. 成果の実用化の見通し

各研究開発項目の実用化の見通しは、別添 1～5 に示す。

別添 1

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

・研究開発成果について

1. 研究開発の目的・概要

本研究開発では、複合材による全機機体設計を実現する CAE 技術、及び熱可塑性 CFRP の適用可能性を評価する CAE 技術を研究開発することで、複合材時代の理想機体構造を実現する機体設計技術の確立を図る。そのため2つの研究項目を設け、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、複合材を用いた理想機体を実現するために必要な信頼性・コスト等の課題を解決する要素技術を開発する。これらの要素技術に基づき、熱可塑性 CFRP の特質を活かし、熱硬化性 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基盤となる構造設計技術を開発し、熱可塑性 CFRP を用いた機体設計を可能とする CAE 基盤となる統合設計システム(東北大学航空機計算科学センター熱可塑性 CFRP 機体統合設計システム (ACS-CFRTP_AI: Aircraft Computational Science Center CFRTP Aircraft Integrated Design System)) を構築する。本システムは以下の2つのシステム(熱可塑性 CFRP 機体設計シミュレーター (CFRTP_AD: CFRTP Aircraft Design Simulator) 及び熱可塑性 CFRP バーチャルテストシステム (CFRTP_VT: CFRTP Virtual Testing System) から構成される。

2. 研究開発の成果

【実施項目1：熱可塑性 CFRP を用いた機体設計シミュレーターの開発】

本研究項目では、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シミュレーターを開発する「主要機体構造設計」、同シミュレーターの基盤となるシミュレーション(構造解析・フラッター解析)技術を構築する「共通技術開発」、先進的な機体構造設計技術の構築に向けた「先進技術開発」の3つのサブグループに分けて実施している。

- ・主要機体構造設計グループ(東北大学、電気通信大学、川崎重工業株式会社、株式会社 SUBARU、株式会社 IHI)

空力荷重と構造変形の平衡状態における構造サイジングを可能とする、双方向連成解析による静空弾主翼設計ツールを開発した(東北大学)。これにより、既存の一方方向連成解析に基づく場合よりも翼の変形量が小さくなり、上下面パネルの板厚も小さく設計されることが分かった。これにより、特に上面側の設計基準が繊維破壊から局所座屈によるものへと変化した。これらを基に、実施項目2の熱可塑性 CFRP のデータを取り込み可能となるよう破壊基準を改良し熱可塑性 CFRP 機体設計ツールの基礎モジュールを完成させた。さらに、主翼構造の精緻化に向けて、ストリンガーのモデル化を行った(東北大学、(株)SUBARUの連携作業、図2)。また、2023年度以降に実施する全機機体設計解析に向け、川崎重工業(株)が行った概念設計に基づく全機 CAD モデルを作成した(東北大学が担当、図1)。さらに、エンジンを取り付けた際の主翼空力解析をシステム化し、主翼とエンジンの形状変更や、それらの取付位置変更に対応した。同時に、解析精度を検証し、前年度に比べ実験値に近づくことが示された(担当: 電気通信大学、(株)IHI)。

- ・共通技術開発(東北大学、上智大学)

共通技術として、熱可塑性 CFRP を対象とした薄肉構造解析ソフトウェアの開発において、はり要素における幾何学的非線形解析と全機設計のためのイナーシャリリース解析機能を実装した(担当: 上智大学、図3)、フルポテンシャル解析に基づく遷音速フラッター解析ツールをボックス構造の翼モデルで試行し、遷音速ディップが捉えられることを確認した(担当: 東北大学)。さらに、主翼静空弾設計の最適化結果に対するデータマイニングを行い、固有直交分解を用いてパレート解の形状パラメー

タと圧力分布の関係を解明した（担当：東北大学，図4）

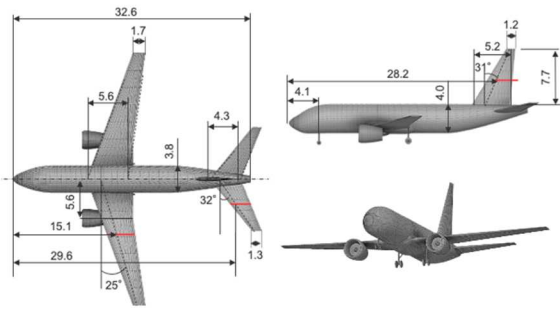


図1：全機 CAD モデルの作成

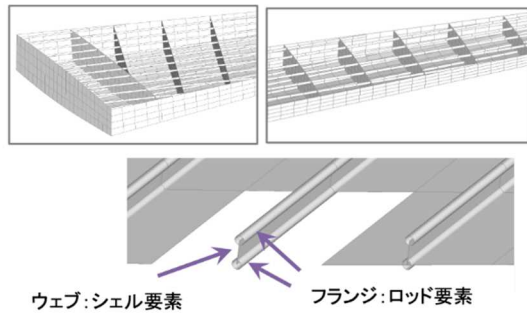


図2：主翼ストリンガのモデル化

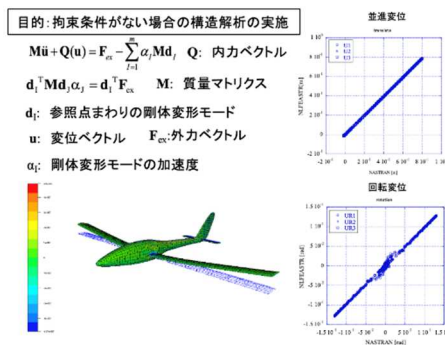


図3：イナーシャリリーフ解析機能

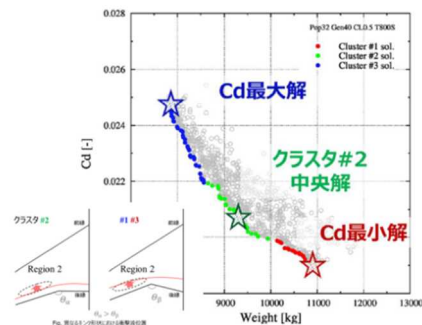


図4：主翼最適化とデータマイニング

- ・先進技術開発（東北大学、宇宙航空研究開発機構、三菱重工業株式会社、川崎重工業株式会社）

層流化技術については、一般の三次元境界層における横流れ不安定性および二次不安定性の理論モデルを局所平行流近似とスケール相似則を用いて提案した。そして、高波数寄りの中程度に不安定な横流れ不安定性は、飽和振幅が低く、二次不安定性が起こりにくい傾向があり、層流化に働くことを示した（図5）。また、東北大学低乱風洞において計4回の予備風洞試験を実施し、層流化デバイスの設計用データを取得すると共に、層流化デバイスの性能評価を行うために必要な計測技術を確立した（図6）。非定常流解析技術では、航空機複雑形状における高速飛行時の非定常高精度空力解析技術の開発を目的とし、LES 非平衡壁面モデルの構築に関して、前年度構築した衝撃波/乱流境界層干渉剥離流れの高忠実なデータベースを用い、剥離非平衡効果の解析を実施した（図7）。また構築した汎用性の高い常微分方程式ベースの非平衡壁面モデルを用いた衝撃波-境界層干渉流れ解析に着手した。航空機実機複雑形状解析では、NASA Common Research Model（翼胴水尾形態）高速飛行条件の壁面モデル LES を実施し、従来手法に比べて揚力係数および抗力係数が風試結果と一致することを確認した。今後ピッチングモーメント係数の差異原因について検討を行う。

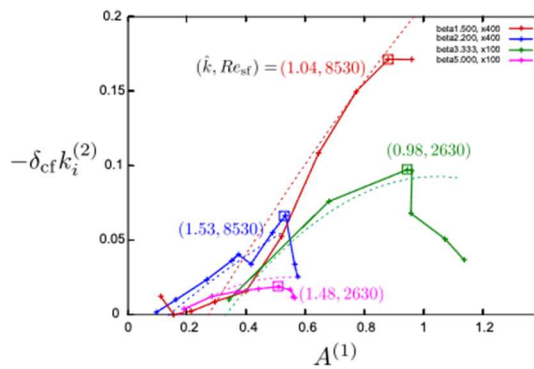


図5：一次横流れモードの振幅(横軸)と二次不安定性の最大成長率(縦軸)の関係

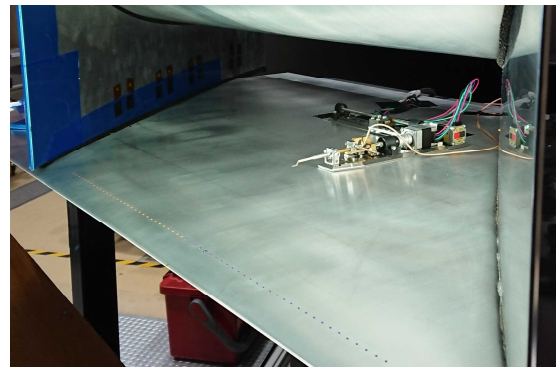


図6：予備風洞試験実施状況

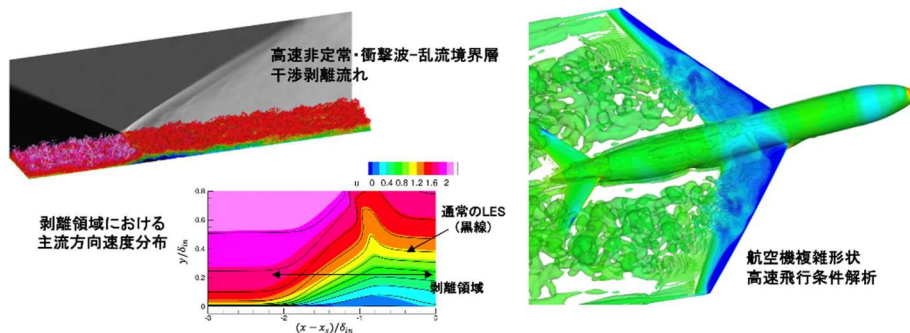


図7：高速飛行時の非定常流体解析技術の開発

【実施項目2：熱可塑性CFRPを対象としたバーチャルテスト技術開発】

バーチャルテストの対象とする熱可塑性CFRPの材料種にToray Advanced Composites社製のTC1225(T700GC/LM-PAEK)を選定し、プレス成形とオートクレーブ成形で作製した無孔積層板(一方向材、擬似等方材、±45度材)および円孔を有する擬似等方積層板の弾性率・強度、および層間破壊靱性値、線膨張係数、面外衝撃損傷に関するデータベースを構築した。当該熱可塑性CFRPは同繊維を用いた熱硬化性CFRPと同程度の弾性率を有しており、航空機用熱硬化性CFRPと同程度の引張・圧縮強度であった。また、航空機用熱硬化性CFRPに比べて高いせん断強度、モードI・モードII破壊靱性値を有することがわかった。さらに、耐衝撃性も高いことを示唆する結果が得られており、面外衝撃試験後の層間はく離領域が航空機用熱硬化性CFRPに比べて小さいことをX線CT観察により確認した。層間引張、層間せん断特性評価のための曲げ試験およびL字試験片のエッジ部およびコーナー部に衝撃付与した後にクリッピング試験を実施し、強度試験結果のデータベースの構築を行った。クリッピング試験では、衝撃付与により強度低下を確認し、コーナー損傷の試験片で低下の程度が大きいことがわかった。また、曲げ試験では、層間はく離を確認できた。熱可塑性CFRPの成形に対応した400℃仕様のオートクレーブを東北大学に導入した。今後の実験評価に供する試験片を従来の東レ社が調達するルートに加えて東北大学での成形により準備できる体制を整えた。

弾塑性解析機能を実装した五面体要素のXFEMに上記実験データを入力して有孔引張・圧縮のバーチャルテストを行った(図8)。いずれの解析においても剛性、破断強度ともに実験結果を良く表現できていることが確認できた。マトリックス割れのモデル化精度向上のための六面体要素を用いたXFEMコード(NLXQ3D)を開発し、プリポストシステムを備えた損傷進展解析ツールに実装し、熱硬化性CFRPの物性値を用いてOHT解析の試行を行

った(図9)。破壊強度は実験値の10%以内の精度で予測することができることを確認した。また、曲率を有する構造の母材割れを表現するための新規シェル要素モデルの開発および開発済みの連続体シェル要素を組み込んだツールにて衝撃付与およびCAI解析による検証を行った。衝撃付与およびCAI解析は、熱硬化性CFRPの物性値を用いて検証を行っており、衝撃付与時の損傷分布は実験と同様の結果が得られた。CAI解析では荷重を過大評価しているもののおおよそ実験結果を表現できるモデルになっていることを確認した。

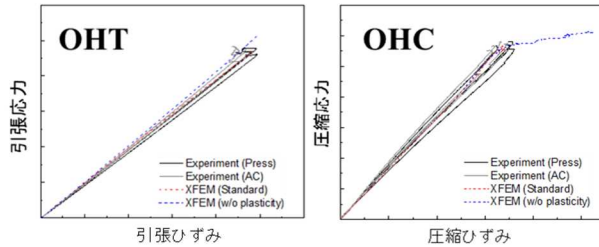


図8：OHT、OHCの試験・解析結果



図9：開発コード(NLXQ3D)のツール試行

・成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

1. 成果の実用化に向けた戦略

- 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。
- 熱可塑性 CFRP の具体的な適用部位や適用による機体軽量化などの効果を検証し、当該複合材料を適用することのメリットを明確にする。
- 民需機／防需機を問わず、低コストかつ短期間で顧客への魅力的な提案を創出するため、当該材料や構造様式の評価、成立性検討、トレードスタディ等において全体的/部分的に機体設計ツールやバーチャルテストツールを活用する。
- 本プロジェクトで構築される熱可塑性 CFRP 機体設計ツールを基盤とし、実用設計で要求される詳細な機体構造も考慮可能とすることで、空力荷重・構造変形の双方を考慮した静空弾構造サイジングツールとして基本設計の初期段階で活用する。これにより、既存機の設計データが存在しない熱可塑性 CFRP を用いた場合にも、その特性を十分に活かすことで短期間に国際競争力の高い機体設計を提案することへ繋げる。

2. 成果の実用化に向けた具体的取り組み

- 既に参画企業との連携により、主翼ストリングを構造要素化した詳細構造モデルを構築し、そのような詳細なモデルに対しても機体設計ツールによる構造設計が可能である見通しが得られ、今後、企業側で実用的な構造サイジング結果が得られるか確認を行う。
- また、熱可塑性 CFRP の特性を活用する為に重要な胴体座屈許容設計モジュールも、参画企業側での検証・大学側へのフィードバックが進んでおり、実機設計への適用を目指し現在開発が進められている。
- 機体設計に必要なクーポンレベル、部分構造・構造要素レベルのバーチャルテストシステムの精度保証のために、室温環境だけでなく、Hot/wet 環境下での試験や成形時の降温速度を変えた際の熱可塑性樹脂の結晶化度の影響、疲労や環境劣化等の耐久性などの様々な強度データベースを蓄積していく。

3. 成果の実用化の見通し

- 各実施項目で得られた全ての成果物（ソフトウェアおよびデータベース）は、東北大学流体科学研究所航空機計算科学センターのスーパーコンピューターに保存して、利用できる体制を整備する。企業等の学外利用者は共同研究契約を締結することで当該スーパーコンピューターを利用可能である。研究開発終了後は、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。
- 航空機計算科学センター熱可塑性 CFRP 機体統合システムの開発検討を通じて熱可塑性 CFRP 部材のバーチャルテストおよび主要機体構造のバーチャル設計システムを構築し、当該材料を世界に先駆けて標準化することで新しい市場を開拓することに期待できる。

別添 2

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

・研究開発成果について

1. 研究開発の目的・概要

本研究開発では、2030年代に運用開始が想定される海外 OEM の次世代細胴機用フロアパネルへの採用を目指し、熱可塑性 CFRP 波板サンドイッチ構造部品の設計及び高生産性を有する成形接合技術の確立を目指す。

既存の細胴機フロアパネルは、熱硬化性 CFRP とハニカムコアを用いたハニカムサンドイッチ構造が一般的である。その製造方法はオープンやオートクレーブ硬化が一般的であり、成形サイクルタイムは6～9時間と非常に長い。さらに、人に頼った手作業による成形加工が多く、低コスト化に多くの課題が残る。次世代フロアパネルでは、さらなる高生産性及び低コスト性を海外 OEM が要求しており、これは既存の材料・構造様式・製造方法では実現困難な水準である。そのため、新しい材料、構造様式、並びに新しい製造プロセスによる実現を目指す必要がある。

そこで本研究開発では、従来の熱硬化性 CFRP から高レート製造が可能な熱可塑性 CFRP を採用し、従来のハニカムサンドイッチ構造と同等の強度を持ち、かつ自動生産にも適した構造様式として、ハニカムコアの代わりに波板コアを上下面スキンで挟み込む波板サンドイッチ構造を考案し、本材料及び構造を高レート・低コストで製造可能な技術の確立を目指し、研究開発を進める。

2. 研究開発の成果

- ① 概念設計として海外 OEM の既存単通路機で使用されている熱硬化ハニカムサンドイッチパネルと同サイズ、同等強度を満足する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）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。
- ② 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。（図 1 参照）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エアバス社の求める基準を満足していることを確認した。
- ③ 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。（図 1 参照）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。

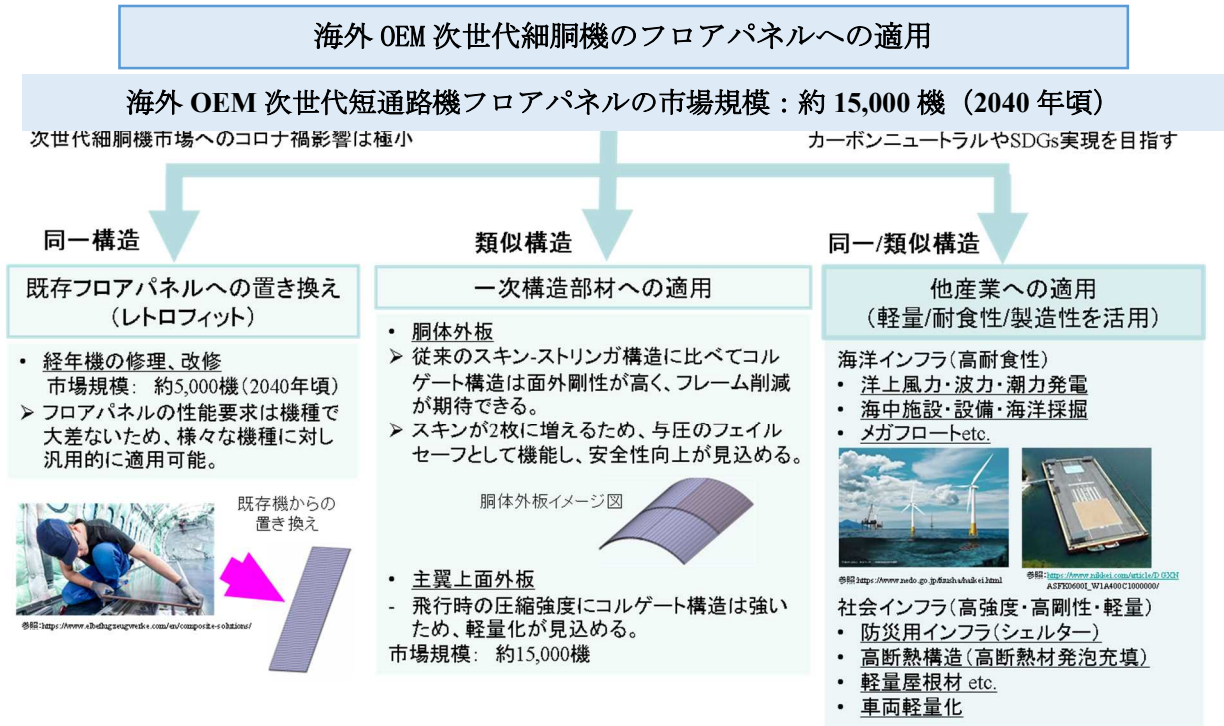


図 1 500mm サイズ供試体（左）と 200mm サイズ供試体（右）

・成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

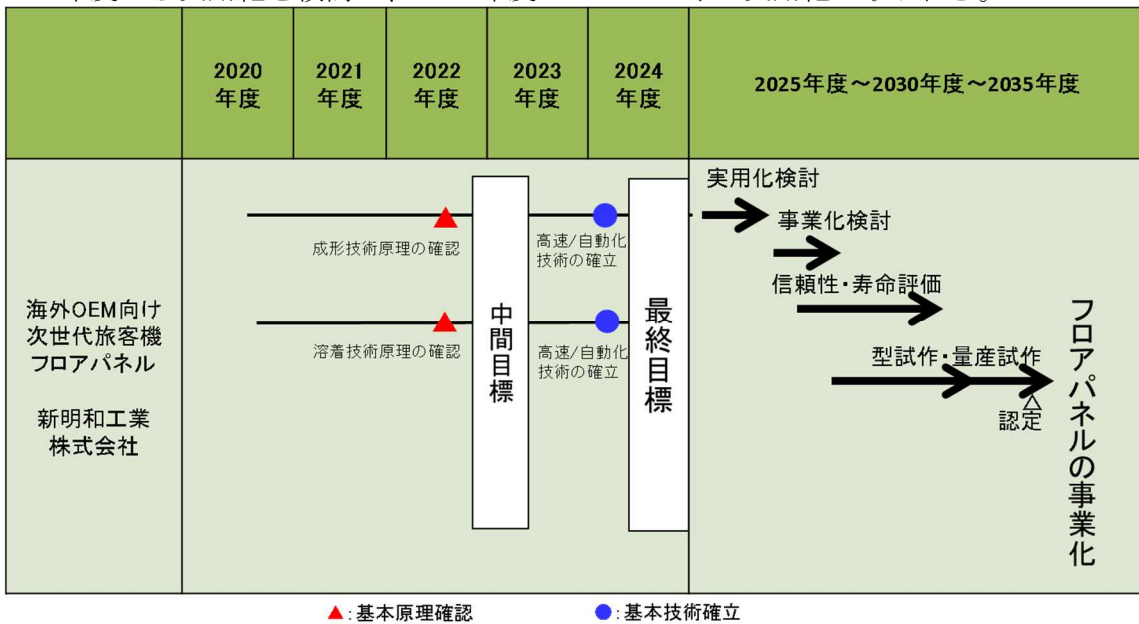
1. 成果の実用化に向けた戦略

熱可塑性 CFRP による胴体開発プロジェクト Fuselage of Tomorrow (FoT) に参画し、弊社は波板サンドイッチ構造のフロアパネル部品を開発し、海外 OEM 次世代単通路機フロアパネルへの適用を目指す。なお、同一構造の既存フロアパネルへの置き換え、類似構造の一次構造部材への適用、軽量・耐食性・製造性を活用し他産業への適用を実施。



2. 成果の実用化に向けた具体的取り組み

2022 年度までに成形・溶着技術の検証、2024 年度までに高速・自動化技術の確立。2025 年度から実用化を検討し、2035 年度のフロアパネル実用化に取り組む。



3. 成果の実用化の見通し

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

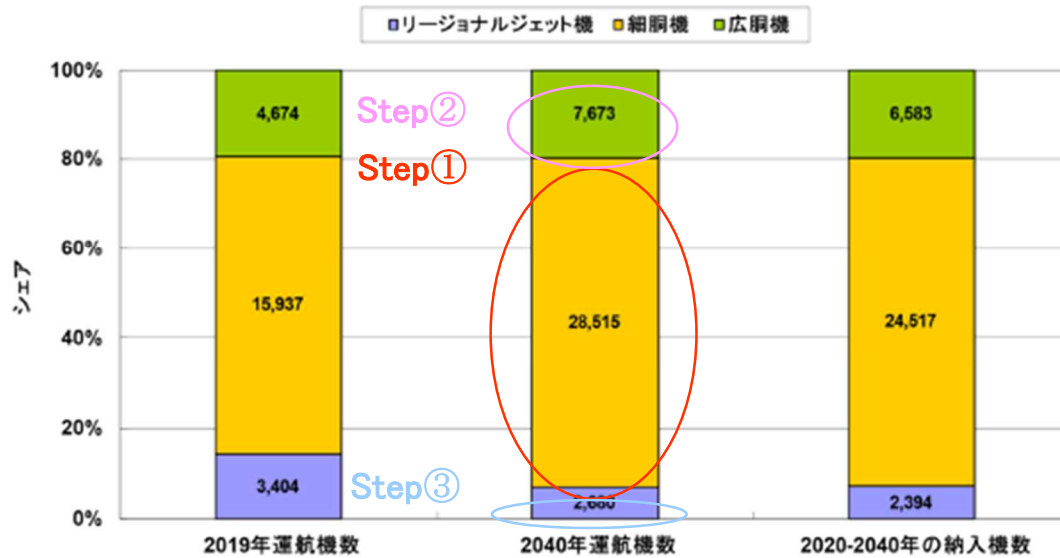
化に向けて以下のステップで取り組む。

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 フロアパネルを海外 OEM のリージョナルジェットへ適用

クラス別運航機数および納入機数



別添 3

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

株式会社ジャムコ

・研究開発成果について

1. 研究開発の目的・概要

今後の民間旅客機市場の約80%を占めると言われている100～229席の細胴機の需要増加や、環境負荷低減のための機体構造のより一層の軽量化等の背景がある中で、本研究の目的は、次世代単通路機などの新造機開発に向けて、軽量で低コストの機体構造部材を高レートで生産するために、従来のプレス製法や熱硬化性CFRP製法等では達成が困難な、低コスト、高品質、及び高レートで製造するための熱可塑性CFRP成形技術を開発する。

2. 研究開発の成果

当社がAirbus向けの機体構造ビジネスで培ったADP製法などの当社独自の複合材成形技術を、熱可塑性CFRPに応用、発展させるための研究開発を行った。

具体的には、対象となる部材の製品サイズや形状毎に、求められる要素技術を選定し、成形試験装置の設計開発、試作、評価等を実証を通じて、製造プロセスや検査手法の妥当性を確認し、製品化に向けた見通しが得られた。又、2023年度に向け量産化のための技術的目途付けも今後行っていく予定である。

- 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

1. 成果の実用化に向けた戦略

次世代単通路機などの民間航空機向けに、本研究で開発した熱可塑性 CFRP 部材の製造技術の成熟度向上を図ると共に、既存の航空機機器事業や内装品事業で培った機体 OEM との関係性や認証プロセスの経験等を活かし適用を目指す。

2. 成果の実用化に向けた具体的取り組み

NEDO プロジェクトの継続や社内研究の実施等により、TRL6 の完了を目指す。又、機体 OEM 等との関係性を活用し、製造プロセス認証のための活動を推進すると共に、次世代機開発や新技術導入に向けた営業提案活動を強化し、実用化を図る。

3. 成果の実用化の見通し

脱炭素化社会の実現に向けて、Co2 排出量削減のための軽量の民間航空機の需要は今後益々高まると予想され、低コスト化が求められる単通路機向けにも軽量の CFRP 部品の適用が進むと考えられ、更に、高度な一体成形と、高サイクル成形で生産性の高い熱可塑性 CFRP 素材への期待、関心が機体 OEM 側で高まっている。航空機に求められる品質で、且つ低コスト、高レート生産が可能な熱可塑性 CFRP 部材製造が可能となれば実用化の実現可能性は高いと考える。

別添 4

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

川崎重工業株式会社

1. 研究開発の目的・概要

航空機産業は、近年一層の軽量化による燃費向上、CO2 排出量削減が求められている状況にある。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熱硬化性 CFRP が積極的に導入されており、先進的な素材による構造部品開発及び成形組立技術開発等が急務となっている。

COVID-19 発生以前の見通しでは、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、2018 年から 2037 年の 20 年間で、累計約 3 万 4000 機（5 兆 5000 億ドル程度）の市場規模となる見通しであった。COVID-19 の発生により一時的に旅客需要の低迷となるが、COVID-19 の終息後には将来的に同程度の市場規模となる見通しである。この中でボリュームゾーンである細胴機では、厳しいコスト要求と高レートでの量産に対応するため既存機体では金属構造が主流であり、複合材適用による軽量化が期待されている。

「航空産業ビジョン」では、国内航空機産業は 2030 年には売上高 3 兆円を達成すると謳われている。さらに、厳しい競争の中で進めてきた航空機産業の高度な先進技術開発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。国際的な産業競争が激化する状況下、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り、広胴機で実用化している機体構造の複合材製造の細胴機への拡大適用が期待されている。

そのため、現状の熱硬化性 CFRP を用いた構造では達成できていない、低コストかつ高レートに対応する可能性を持つ熱可塑性 CFRP を用いた構造部材の開発の必要性が増している。

本事業では、航空機に必要なコスト等の課題を解決するための要素技術開発のうち、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、熱可塑性 CFRP を用いた部材の大型かつ高レートに対応可能な新しい成形技術の確立を目指す。

1.1 位置付け・目標値

我が国の航空機産業は、国際共同開発への参画拡大（例：B777・・・機体の 21%、B787…機体の 35%）を通じて、2017 年度生産額も約 1.7 兆円まで拡大したが、依然主要国より一桁小さい規模である。我が国の強みは、精度の高さと品質管理、納期遵守、複合材等の素材関連技術（例：東レが B787 の炭素繊維を独占供給）等であり、高品質を求められる航空機産業（機体・エンジン・装備品）において、米・欧とも日本との更なる関係構築・強化の機会を模索している。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においては、環境適用性（燃費）に優れた複合材を主要構造部に用いつつ、効率的な生産を可能とする技術開発が求められている。

複合材のうち、熱硬化性 CFRP を用いた既存の胴体構造の設計・製造技術は B787 に代表される機体にて当社でも実用化されており、複合材を用いることで従来の金属胴体構造に比べ整備性・安全性の面で有利となっているが、さらに熱可塑性 CFRP が航空機の一次構造に適用可能となれば、熱硬化性 CFRP に比べ将来機の製造に要求される生産性/量産性、省エネルギー/製造コストの面でも有利な見込みがある。

現状としては熱可塑性 CFRP の適用を前提とした技術は自動車では実用化されているが、高品質で安定した製造が要求される航空機の一次構造に対しては実用レベルに達しておらず、また自動車向けの熱可塑性 CFRP（低耐熱性/非連続繊維使用/繊維配向制御なし）では

航空機に必要な強度・品質は得られていない。また、航空機構造で想定される複雑形状（板厚変化）部材に対して、熱可塑性 CFRP の高速積層・成形を可能とする技術・装置は存在せず、自動車等一般産業向け熱可塑性 CFRP 溶着技術においても、航空機構造に必要なファスナ結合並みの結合強度・品質は得られていない。さらに、溶着工程の大部分は手作業であり、複数の部材を一体成形するための技術も確立されていないため、高レート組立に対応していない。

技術動向として、欧州等では熱可塑性 CFRP を自動積層する技術の研究が産・官・学を挙げて 10 年程前から続けられている。但し、熱可塑性 CFRP 特有の技術としては、成形品の品質を確保する技術的難易度の高さ及び生産性（積層・成形速度）の低さがネックとなり、航空宇宙分野では現段階においては内装品や小型装備品の支持構造への適用に留まり、大型部材、長尺部材の量産部品への適用には至っていない。また、これまで開発されてきた航空機用熱可塑性 CFRP 溶着技術では、必要な強度・品質は得られていない。

そのため、2019 年度から当社では「NEDO 先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導研究プログラム/複合材マルチマテリアルによる高レート/低コストに対応した航空機構造の接合・最適成形技術の研究」（以下、「NEDO 先導研究」と称する）を実施し、一定サイズの熱可塑性 CFRP の成形や航空機品質を満たした接合の技術開発、また、熱硬化性 CFRP に対して熱可塑性 CFRP のコスト面での優位性について可能性を見出している。「NEDO 先導研究」の確認結果を踏まえ、熱可塑性 CFRP の航空機の一次構造適用に向けて、今後はより大型化かつ高レート対応できる技術を開発していく必要がある。

これらの状況を踏まえ、本事業では熱可塑性 CFRP による航空機一次構造に適用可能な高品質の部品製造を実現し、量産レベルを想定した生産性に優れる製造技術に目処をつけることを目標とする。

具体的には、研究開発項目 A『自動積層技術、装置の開発』においては自動積層機を用いて連続繊維スーパーエンブラ（PEEK、PEKK 等）を必要な繊維配向で高速・高精度に曲面形状（板厚変化あり）へ積層する技術・装置を開発する。研究開発項目 B『成形技術の開発』においては、より大型形状の成形を可能とし、かつ脱オートクレーブによる高レート生産を可能とするため、コンソリデーション（加熱→プレス→冷却）時の冷却速度を制御する技術・装置の開発及びコンソリデーションを分割して連続で行う技術を開発する。また、熱可塑性 CFRP の特性を活用し高レートに対応するために、成形時に複数の構造部材を一体成形するための技術を開発する。

本事業の研究開発目標を以下に示す。

研究開発項目：A 自動積層技術、装置の開発

本研究で習得する技術の主な適用先として、航空機市場の多くを占める細胴機の胴体構造への積層を想定している。細胴機製造では高レートでの量産に対応することが求められていることから、月産 60 機相当の高レート製造に対応できる自動積層能力（積層時の積層ヘッド移動速度：最大 40m/min 以上、2 台以上のロボットによる積層）を目標とした。

自動積層技術、装置の開発の研究開発目標を表 1 に示す。

表 1 自動積層技術、装置の開発の研究開発目標

【中間目標 (2022 年度終了時)】	ロボットを用いた積層装置による、曲面及びテーパー比 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。
【本事業最終目標 (2024 年度終了時)】	熱可塑性 CFRP 材料の高速自動積層により、従来の熱硬化性 CFRP と比較した生産性向上を実現するため、熱硬化性 CFRP と同等以上の自動積層能力（積層時の積層ヘッド移動速度：最大 40m/min 以上、2 台以上のロボットによる積層）を目標とした技術を開発する。

研究開発項目：B 成形技術の開発

想定する機体サイズや構造部材配置等から、実機構造製造のために、大型成型技術の目途付けとして周方向長さ 1,000mm 以上、長さ 1,500mm 以上のスキン成形技術習得が必要と判断した。月産 60 機相当の高レート生産に対応するため、一体連続成形技術を開発し組立時間の短縮を狙う。また、実機適用のため航空機品質を満たす成形技術を得る必要があり、強度のばらつき +/-20%以内を達成することで安定的な成形技術の目途を得ることを目標とした。さらに、実機構造では複数のスキンで胴体は構成されており、スキン同士の周方向接合技術は実機適用で重要であるため目途を得ることを目標とした。

成形技術の開発の研究開発目標を表 2 に示す。

表 2 成形技術の開発の研究開発目標

【中間目標 (2022 年度終了時)】	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。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 複雑形状対応として、板厚変化（テーパー比 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 1500mm 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） 3. 2 により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。
【本事業最終目標 (2024 年度終了時)】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 周方向長さ 1000mm 以上、長さ 1500mm 以上のスキンとストリンガーの一体成形を複数回に分けて行う連続プレスおよび周方向長さ 1000mm 以上の湾曲部材の成形に対し、月産 60 機相当の高レート生産に対応可能な技術を開発する。 ・ 一体成形及び連続プレス技術により成形された構造が

	<p>航空機品質であることを評価するために、一体成形されたスキン、ストリンガーと湾曲部材を組立てた航空機一次構造体において、以下を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スキン/ストリンガーの一体成形面とスキン成形面の強度のばらつきが、測定点の平均値に対し$\pm 20\%$以内を達成。 ・ 航空機胴体構造にするために必要となる、スキン/ストリンガーのパネル同士を接合する周方向接合の目途付けを行う。
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.2 全体計画

本事業の実施項目および実施スケジュールを以下に示す。

研究開発項目：A 自動積層技術、装置の開発

自動積層技術、装置の開発の実施項目および実施スケジュールを表3に示す。

表3 自動積層技術、装置の開発の実施スケジュール

研究開発項目：A 積層技術、装置の開発	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
<p>【高速タッキング技術の開発】</p> <p>① 航空機用熱可塑性CFRPロボット自動積層の仕様検討・策定</p> <p>② 試験によるタッキング要素技術の開発</p> <p>③ 板厚変化（テーパ比20:1程度）を持つ平面への対応検討</p> <p>④ タッキングシステムのロボットへの搭載による検証</p> <p>⑤ 板厚変化（テーパ比20:1程度）を持つ曲面への対応検討</p> <p>⑥ ロボット（積層ヘッド）数の拡大の検討</p>		<p>▼板厚変化（テーパ比20:1程度）を持つ平面への積層技術開発達成</p>	<p>▼一定板厚の曲面への積層技術開発達成</p>	<p>▼板厚変化（テーパ比20:1程度）を持つ曲面に対応した自動積層技術開発の目途【中間目標】</p>	<p>最終目標</p>
<p>【ロボットAFPの複数協調制御技術の開発】</p> <p>⑦ 複数ロボットの配置、構成の検討</p> <p>⑧ 複数協調制御の要素技術の開発</p> <p>⑨ 複数協調制御のロボットAFPへの適用</p>		<p>▼複数協調ロボットAFPの仕様設定</p> <p>▼仕様の妥当性の検証及び見直し</p>	<p>▼仕様の妥当性の検証及び見直し</p> <p>▼複数協調制御要素技術</p>	<p>▼熱硬化性CFRPと同等以上の自動積層能力（積層時の積層ヘッド移動速度：最大40m/min以上、2台以上のロボットによる積層）の積層技術【最終目標】</p>	

研究開発項目：B成形技術の開発

成形技術の開発の実施項目および実施スケジュールを表4に示す。

表4 成形技術の開発の実施スケジュール

研究開発項目：B 成形技術の開発	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
① 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 ・スキン成形技術の仕様検討・策定 ・スキンの設計・試作（300mm x 300mm）		▼300mm幅で板厚変化を持つ スキン成形技術開発の達成【中間目標】			
② 周方向長さ1000mm以上、長さ1500mm以上のスキンの連続成形技術開発 ・連続成形方法の調査・検討 ・連続成形技術の仕様検討・策定 ・連続成形用上下金型検討・作成 ・板厚変化（テーパ比20:1程度）かつ連続成形＋一体成形スキンの試作・評価（周方向長さ1000mm以上、長さ1500mm以上） ・板厚変化（テーパ比20:1程度）かつ連続成形＋一体成形スキンの品質改善（周方向長さ1000mm以上、長さ1500mm以上）			▼周方向長さ1000mm以上、長さ1500mm以上のスキンの 一体連続成形技術開発の達成【中間目標】 ▼一体成形された部材に対し、ポイド3%以下を達成【中間目標】		▼月産60機相当の高レート生産に対応可能な技術開発【最終目標】
③ 搬送装置導入による、スキン及び湾曲部材の工程自動化 ・工程自動化の仕様検討・策定 ・搬送装置による成形長尺化の検討		▼搬送装置設備の導入 ▼スキン及び湾曲部材の工程自動化技術および長尺化の目標			
④ 成形済みの熱可塑性CFRPで製造されたストリンガースキンを同時にコンソリデーションする一体成形技術開発 ・一体成形の仕様検討・策定 ・一体成形部材の試作・評価		▼300mm幅スキンの一体成形技術の目標		▼一体成形及び連続プレス技術により成形された構造が航空機品質であることを評価【最終目標】	
⑤ 周方向長さ1000mm以上の複雑形状を持つ湾曲部材の成形技術 ・湾曲部材成形技術の仕様検討・策定 ・連続成形用上下金型検討・作成 ・湾曲部材の試作・評価（周方向長さ300mm） ・複雑形状を持つ湾曲部材の試作・評価（周方向長さ1,000mm） ・複雑形状を持つ湾曲部材の品質改善（周方向長さ1,000mm） ・湾曲部材とスキン・ストリンガとの組立における寸法精度等の品質確認・評価 ・高レート生産に向けた、成形技術課題の洗い出し・対策検討		▼一定板厚形状品（300mm）の成形技術の目標 ▼周方向長さ1,000mm以上の複雑形状を持つ、湾曲部材の成形技術の目標	▼湾曲部材に対し、ポイド3%以下を達成	▼スキン/ストリンガースキン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【中間目標】	▼月産60機相当の高レート生産に対応可能な技術開発【最終目標】
⑥ スキン/ストリンガースキンのパネル同士を接合する周方向接合技術開発 ・周方向接合技術の仕様検討・策定 ・周方向接合用金型検討・作成 ・周方向接合の試作・評価（周方向長さ700mm）			▼周方向接合技術のコンセプト策定	▼課題洗い出しと対策設定 ▼スキン/ストリンガースキンのパネル同士を接合する周方向接合の目標【最終目標】	

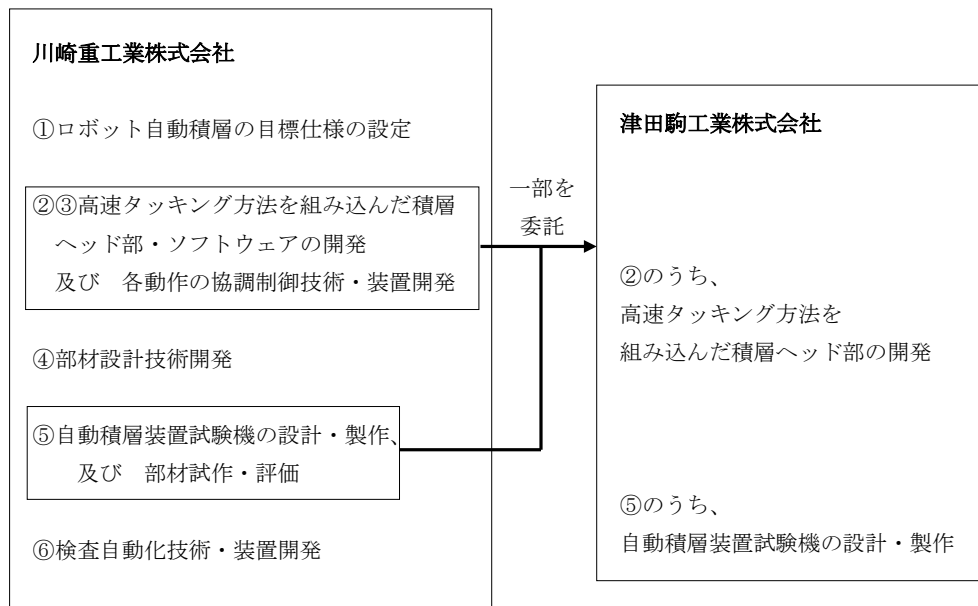
1.3 実施体制

本事業は、NEDOの助成により、航空機及びロボットの開発・製造の実績を有する川崎重工業株式会社と、複合材積層装置開発の実績を有する津田駒工業株式会社が連携して実施した。本事業の実施体制を図1に示す。

実施項目 A) 積層技術、装置の開発

【助成先】

【委託先】



実施項目 B) 成形技術の開発

【助成先】

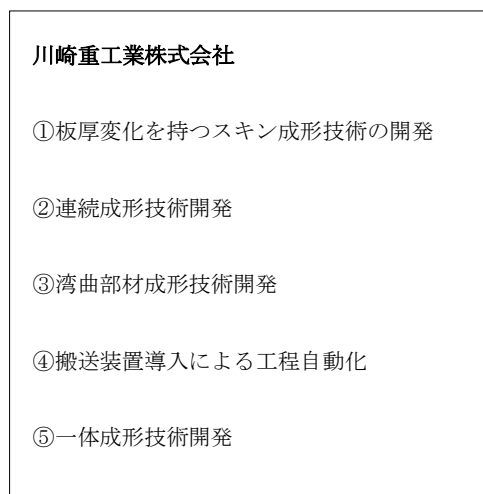


図 1 本事業の体制

1.4 運営管理

本事業の計画、実施内容の妥当性や成果の評価・検証をするために、外部委員を含めた技術評価委員を組織し、年1回委員会の開催を実施した。委員会では、研究の進捗および研究計画に対し、技術的な助言、評価および承認を仰ぎ、本事業の開発内容に関する高度な知見を有する有識者の協力を得ることとした。

1.5 研究開発の成果

中間目標の達成度

本事業の中間目標の達成状況を以下に示す。

研究開発項目：A 自動積層技術、装置の開発

自動積層技術、装置の開発の中間目標の達成状況を表 5 に示す。

表 5 自動積層技術、装置の開発の中間目標の達成度

中間目標	達成度
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。	達成の見込み

研究開発項目：B 成形技術の開発

成形技術の開発の中間目標の達成状況を表 6 に示す。

表 6 成形技術の中間目標の達成度

中間目標	達成度
複雑形状対応として、板厚変化（テーパー比 20:1 程度）を持つスキンの成形技術開発の達成。	達成
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）	達成
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	達成の見込み
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	達成の見込み

1.6 最終目標の達成可能性

本事業の最終目標の達成可能性を以下に示す。

研究開発項目：A 自動積層技術、装置の開発

自動積層技術、装置の開発の最終目標の達成可能性を表 7 に示す。

表 7 自動積層技術、装置の開発の最終目標の達成可能性

最終目標	現状	達成見通し
熱可塑性 CFRP 材料の高速自動積層により、従来の熱硬化性 CFRP と比較した生産性向上を実現するため、熱硬化性 CFRP と同等以上の自動積層能力（積層時の積層ヘッド移動速度：最大 40m/min 以上、2 台以上のロボットによる積層）を目標とした技術を開発する。	ロボットを用いた積層装置による、一定板厚曲面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。	2022 年度末までに複数協調制御の要素技術に目途をつける見通しであり、2 台以上のロボットによる積層を実施するための積層装置の仕様策定及び設計、製造を行うことで、2024 年度末までに最終目標を達成する見通しである。

研究開発項目：B 成形技術の開発

成形技術の開発の最終目標の達成可能性を表 8 に示す。

表 8 成形技術の開発の最終目標の達成可能性

最終目標	現状	達成見通し
周方向長さ 1000mm 以上、長さ 1500mm 以上のスキンとストリンガーの一体成形を複数回に分けて行う連続プレスおよび周方向長さ 1000mm 以上の湾曲部材の成形に対し、月産 60 機相当の高レート生産に対応可能な技術を開発する。	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。	2023 年度に成形条件の見直し・検討を行い、2024 年度には高レート生産に対応な成形技術開発を達成できる見通しである。
一体成形及び連続プレス技術により成形された構造が航空機品質であることを評価するために、一体成形されたスキン、ストリンガーと湾曲部材を組立てた航空機一次構造体において、以下を確認する。スキン/ストリンガーの一体成形面とスキン成形面の強度のばらつきが、測定点の平均値に対し $\pm 20\%$ 以内を達成する。	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。	2022 年度にボイド率 3%以内の成形を達成し、2023 年度に成形条件の見直し・検討を行い、強度のばらつきが測定点の平均値に対し $\pm 20\%$ 以内を達成できる見通しである。
航空機胴体構造にするために必要となる、スキン/ストリンガーのパネル同士を接合する。 周方向接合の目途付けを行う。	パネル同士の周方向接合に関するコンセプトを検討中である。	2022 年度にてコンセプト策定、2023 年度にて課題の洗い出しと対応策設定を行い、2024 年度に周方向接合技術の目途を達成できる見通しである。

1.7 知的財産権等の確保に向けた取組

研究開発の成功と成果の事業化による国益実施のために国内および外国出願を実施した。特許出願に際し、出願前に届出書を提出し弁理士を含む知財委員会において内容を審議した。特許出願件数を表 9 に示す。

表 9 特許出願件数

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	2 (0)	1 (1)	3 (1)

・成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

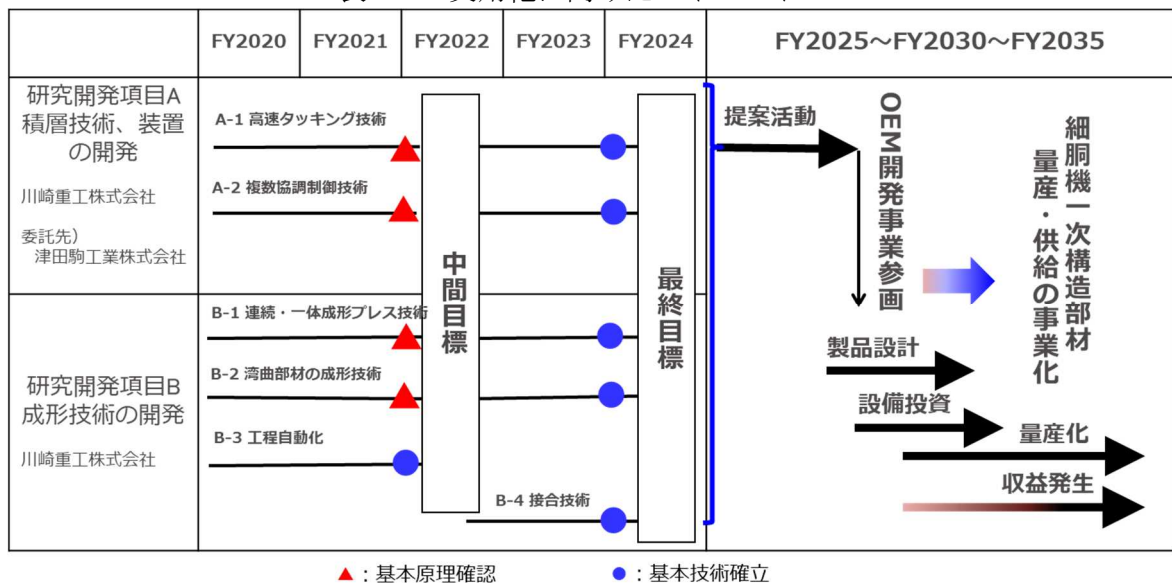
1. 成果の実用化に向けた戦略

本研究成果の適用対象と考えている欧米 OEM の細胴機においては、高レート量産に対応したうえで、厳しいコスト要求に答える必要がある。既存機体では金属構造が主流であり、本研究により複合材適用による軽量化を狙う。コストにおいても製品の競争力を確保できるよう低コスト化を狙う。

2. 成果の実用化に向けた具体的取り組み

成果の実用化に向けた具体的取り組みを表 2-1 に示す。

表 2-1 実用化に向けたマイルストーン

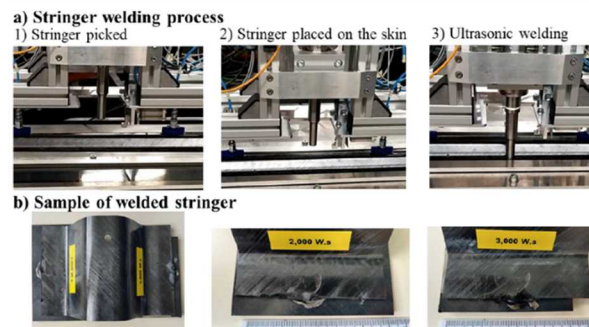


3. 成果の実用化の見通し

他国の研究開発動向として、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ものの、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)



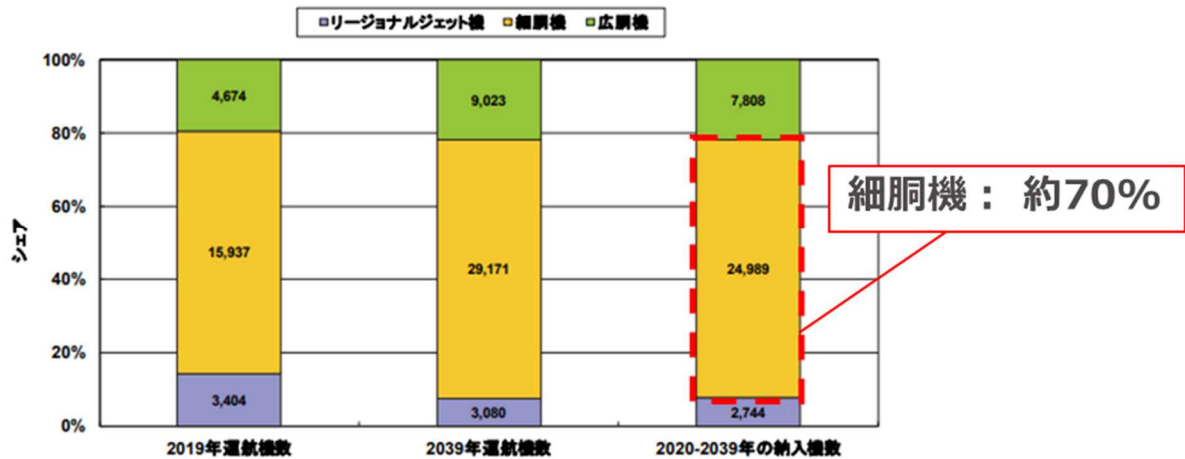
An demonstration of jig-less end-effector stringer-to-skin ultrasonic welding process.

図 3-1 他国の研究開発動向

本研究の成果をもって大型 CFRP 構造部材の量産・供給技術を確立する。これにより、熱可塑性 CFRP による大型かつ高レートへの対応を可能にし、その結果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素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。具体的には、2030 年代に開発が予想される欧米機体 OEM の将来細胴機に対して提案・販売を行うとともに、以降に開発される広胴機向けとしても適用の拡大を図る。

また、本事業によって得られた成果は、材料メーカー、装置メーカー等の関連企業にも広く知見をもたらすため、航空機の機体メーカーのみならず航空機産業全体、さらには鉄道車両や自動車、建築物等、国内産業へ幅広い波及が期待される。

クラス別運航機数および納入機数



出典：JADC 市場予測(2020-2039)

図 3-2 クラス別運航機数および納入機数

別添 5

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

・研究開発成果について

1. 研究開発の目的・概要

現在の世界の民間航空機産業は Boeing 737MAX の運行停止、COVID-19 による輸送需要の激減により、Boeing、Airbus とも危機的情勢にあり、航空機需要の再拡大は 2025 年以降と予想されているものの、一方で、長期的視野に立つと世界経済成長に伴う航空機需要は図 1 の通り、今後 20 年間で約 35,000 機の新規納入が予測されており、将来の航空機産業を支える新たな技術を開発し、仕込むには今が好機と云える。

ここで、次世代航空機のトレンドを紐解くと、現在アルミ合金が主骨格である単通路機が新規納入機数の 60%以上を占めており、その新造機数を単純換算すると月産 140 機の生産が必要となるが、今日でも生産機数の点では、炭素繊維複合材料(以下、CFRP)機体の実績である月産 24 機 (Boeing 787 + Airbus A350) は、アルミ合金機体の月産 112 機 (Boeing 737 + Airbus A320) に大きく見劣りする。

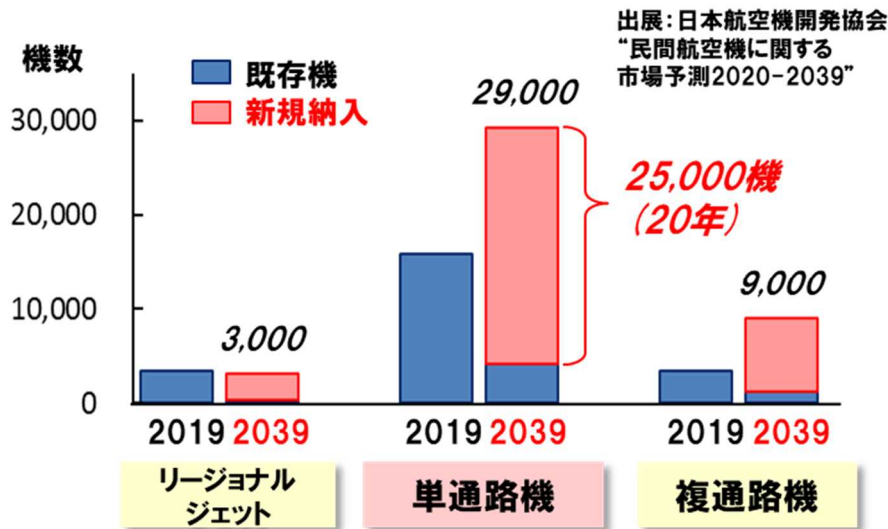


図 1 サイズ別のジェット旅客機の運航機数及び 2039 年の需要予測

航空機業界では将来の大型需要を取り込むべく低コスト・高レート生産への技術開発が活発化しており、CFRP 機体の生産性が根本的に改善されなければ、アルミ合金化が加速して、次期航空機のボリュームゾーンで CFRP 機体は優位性を示すことができないまま、結果として我が国の航空機産業の衰退につながる恐れがある。

欧州では Airbus が主導する大型国家プロジェクトを後ろ盾に、航空機構造に適用する熱可塑性 CFRP の開発と、“熱可塑”の特質である熱溶着接合を利用した高レート生産の技術開発を強化している。現在の航空機をとりまく危機的状況は、従来 CFRP 市場の勢力図を塗り替える絶好の機会であり、低コスト・高レート生産に決定的インパクトを与える要素技術を手中に収めることで、航空機産業での優越的地位を確保することができる。

本事業の目的は、アルミ合金機体と同等以上の高レート生産を実現可能とする要素技術を開発することである。航空機産業構造の転換期において、他国に先駆けて革新的な CFRP 機体の高レート生産につながる基本技術を実証することで、CFRP 機体の飛

躍的拡大を支える産業基盤を再構築し、もって我が国の航空産業における確固たる地位と圧倒的な国際競争力を確立する。

熱硬化性 CFRP 部材の製造工程において、低コスト・高レートのボトルネックは組立工程であり、Boeing 787 の機体製造コストの約半分がこの工程に費やされていることは、当該業界では周知の事実である。しかしながら、将来の航空機大型需要が期待される現状においても、高レート生産に決定的インパクトを与える要素技術が提供されていない。

現状では、Boeing 787 では一機体あたり合計で約 10 万本のチタン合金製ファスナーが用いられ、機体構造を構成する熱硬化性 CFRP 部品の組立には、穿孔（ファスナー用の孔開け）・ファスナー締結が不可欠であり、それらの煩雑な作業に長時間を費やしているという実態があり、高レート生産達成の最大の障害とされている。また、穿孔の前工程で、接着剤での仮接合や二次成型（コポンド）の接合が必要となるケースもあり、これらの工程では寸法調整や表面処理などの付帯作業を要することから、組立工程のさらなる長大化を招いている。

一方で、欧州で長年開発を進めている熱可塑性 CFRP の部品組立では、熱可塑性樹脂の特質である可逆的な溶融／固化を利用して、熱溶着による接合が可能である。熱溶着接合は、加熱と冷却のワンパスでの接合が可能であり、接合にかかるタクト時間も飛躍的に短縮できるため、穿孔・ファスナー締結に代わる接合工法として期待されている。

本事業の目標は、機体用材料として十分な実績を有する熱硬化性 CFRP の部品を、熱溶着により接合する技術を新たな要素技術として確立し、熱硬化性 CFRP の穿孔・ファスナー締結による組立工程を限りなく削減し、アルミ合金機体と同等以上の高レート生産を実現可能とすることである。

本事業では、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を開発する。本技術開発により達成する工程の概略図を図 2 に示す。

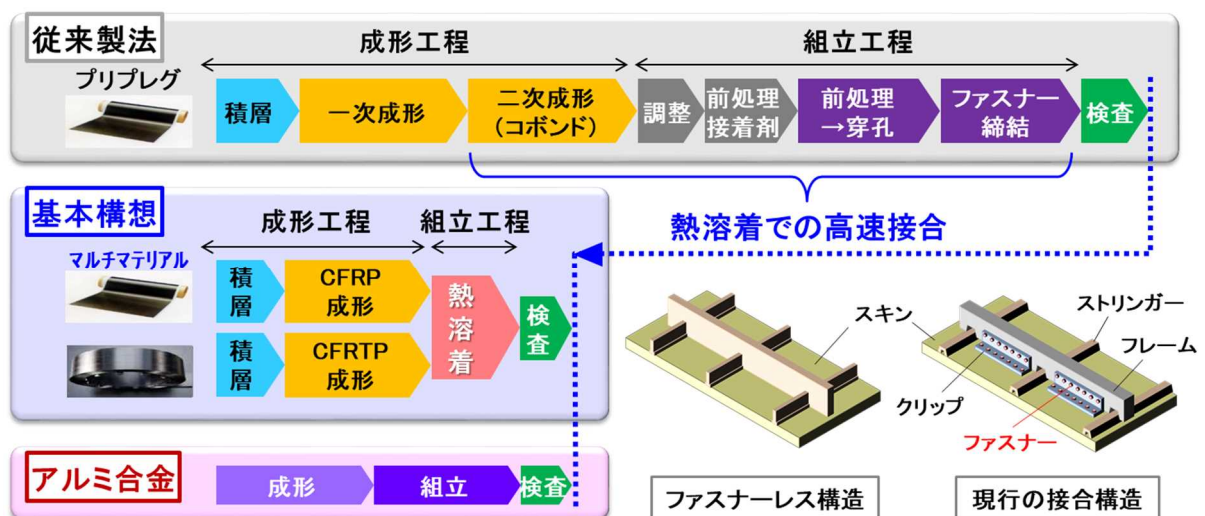


図 2 本事業によるマルチマテリアル系構造と組立工程

まず、従来材での穿孔・ファスナー締結および接着剤による組立工程を全面的に廃止し、熱溶着による組立工程に刷新する。工程の全体最適化を図るため、二次接合も部分的に熱溶着による組立工程に統合する。組立工程での最大の障害を解消することで、アルミ合金機体の組立工程と同等以上の高レート生産性を実現可能とする。

また、熱硬化性 CFRP の熱溶着による接合を実現することで、先行的に開発が進行する熱可塑性 CFRP との熱硬化性 CFRP の熱溶着によるファスナーレス構造も視野に捉えることができる。つまり、熱硬化性 CFRP の部品と熱可塑性 CFRP の部品を相補的に機能の最適設計を施し、異種 CFRP の長所を取り入れたマルチ材料系構造を開発し、シームレス一体構造体として一層の構造の最適化を図るとともに、開口部のない構造として軽量性と機能・特性を最大化する。

ここで、新規マルチ材料系構造を機体に適用するためには、具体的な部材仕様に応じた信頼性が必要となる。そのため、接合構造の機体への適合性を、メカニクス理論、特性データベース、数値シミュレーションから総合的に評価することによって、航空機用構造体としての成立性を検証する。将来的に、機体メーカーと共同で実施することが想定される実証試験と整合させることで、新たな認定規格を取得する環境を整える。

次に、本事業の目標を補完するために、機体構造の生産工程の全体像を俯瞰して、生産リードタイムのボトルネックと想定される工程には先んじて周辺技術を整備しておく。マルチ材料系構造を高速で熱溶着接合するシステムが完成すれば、機体の生産性が格段に向上するが、それに伴った部品数と接合部材の検査数が求められることになる。従って、成形工程では高速成形技術、検査工程では高速非破壊検査技術を検証し、高レート生産プロセスの確立を図る。

前述のとおり、本事業では、熱硬化性 CFRP 部材を高速で熱溶着する高強度接合技術を基盤として、世界でも類を見ない航空機構造部材の革新的な高レート生産プロセスを設計する。我が国は、熱可塑性 CFRP の技術開発では欧州に遅れをとっているものの、熱硬化性 CFRP の熱溶着工法を要素技術として手中に収めることにより、世界に先駆けて圧倒的な高レート生産を実現するプロセスで存在感を示し、次世代航空機のボリュームゾーンで事業拡大を優位に進めることができる。最終的に、本事業を通じてアルミ機体と同等以上の高レート生産可能な CFRP 製の機体を実現することで、航空機産業の拠点としての我が国の立場を更に強化することができる。

2. 研究開発の成果

2. 1. 実施項目毎の目標と達成状況

実施項目 A-1：熱硬化性 CFRP の熱溶着での高強度接合設計（東レ）			
【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			
成果	達成度	今後の課題	解決方針
・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	・安定した破壊じん性値（ G_{IC} 、 G_{IIC} ）を発現する接合部の設計	・研究開発計画に沿った事業の実施

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（東レ）			
【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
・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	・研究開発計画に沿った事業の実施

実施項目 A-3：熱硬化性 CFRP の熱溶着による高速接合設計（東レ）			
【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			
成果	達成度	今後の課題	解決方針
・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（溶着時間 1 分以下／厚みの寸法誤差 0.5%）	○	・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	・研究開発計画に沿った事業の実施

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（東レ）			
【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
・□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	・研究開発計画に沿った事業の実施

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			
成果	達成度	今後の課題	解決方針
・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した。	○	・接合部の信頼性検証方法の方針策定	・研究開発計画に沿った事業の実施

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			
成果	達成度	今後の課題	解決方針
・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した。	△ 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	・研究開発計画に沿った事業の実施

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
・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得た。	△ 2022年12月 達成見込	・部材形状での欠陥検出精度の検証	・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

2. 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（東レ）

< 検討内容 >

航空機向け熱硬化性 CFRP の熱溶着を実現する材料を開発すべく、東北大および金沢工大での評価／フィードバックをもとに、材料設計および熱溶着による接合条件の抽出を行った。

< 研究成果 >

- ・接合特性の安定発現が今後の課題ではあるものの、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} を達成した（表 1、図 3）。

表 1 熱溶着可能な航空機向け熱硬化性 CFRP の開発状況

※シングルラップシブ	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

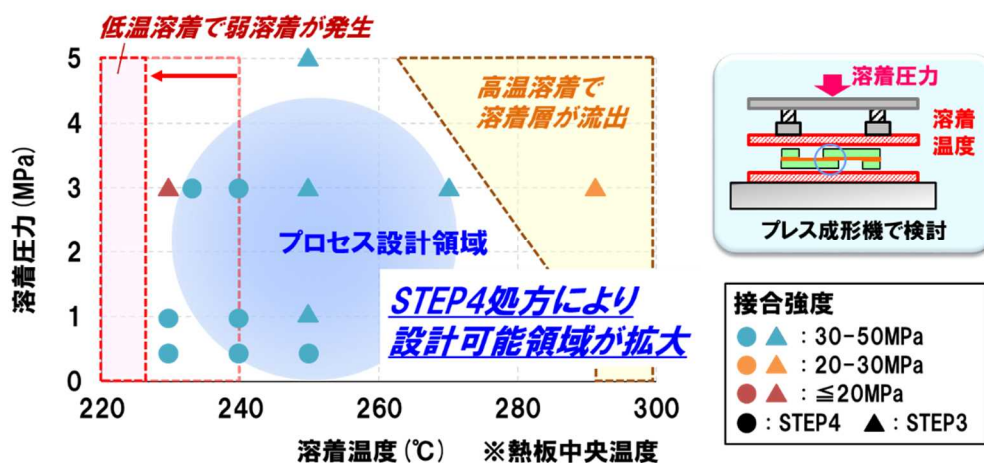


図 3 熱板溶着における接合条件の影響

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（東レ）

< 検討内容 >

解析ツールを用いて、高レート生産性の実証モデルとなるデモンストレーターのプロトタイプ（表 2）を設計し、各要素部材を熱溶着可能な熱硬化性 CFRP で試作するとともに製造条件に関する基本データを収集した。

<研究成果>

- ・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した (図 4)。
- ・デモンストレーターのプロトタイプ#1 を設計、熱可塑クリップによるマルチマテリアルモデルを決定した (表 2、図 5)。

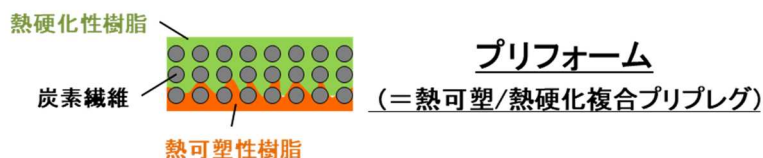


図 4 プリフォーム概要

表 2 デモンストレーターへのアプローチ

	プロトタイプ#1	プロトタイプ#2	プロトタイプ#3~	デモンストレーター
狙い	形状・構造の成立性検証	熱溶着コンセプトの成立性検証	マルチマテリアルの成立性検証	高レートプロセスの成立性検証
部材	熱硬化性CFRP (既存技術)	熱溶着可能な熱硬化性CFRP (試作材)	熱溶着可能な熱硬化性CFRP (試作材)	熱溶着可能な熱硬化性CFRP (開発材)
	—	—	熱可塑性CFRP (既存技術)	熱可塑性CFRP (開発材)
形状	航空機構造の要素形状モデル	航空機構造の要素形状モデル	航空機構造への適用開発モデル	航空機構造への適用開発モデル
組立	接着剤 (既存技術)	熱溶着 (2次元)	熱溶着 (3次元)	熱溶着 (3次元)

デモンストレータープロトタイプ

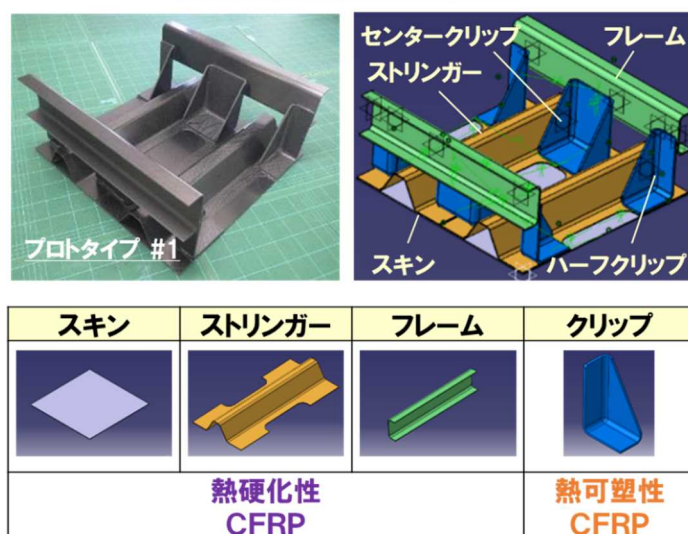


図 5 プロトタイプ#1 とデモンストレーターのマルチマテリアル化の方針

実施項目 A-3：熱硬化性 CFRP の熱溶着による高速接合設計（東レ）

<検討内容>

加熱冷却システムの異なる各種溶着装置（表 3）を設置して、平板形状の材料を用いてプロセスウィンドウを把握し、高速高強度接合に向けた課題を抽出した。

<研究成果>

- ・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した（図 6）。
（接合時間 1 分以下／厚みの寸法誤差 0.5%）


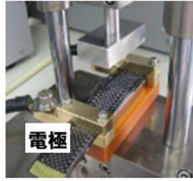
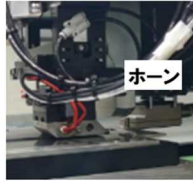
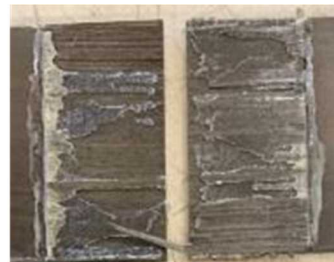
種類	誘導溶着機	抵抗溶着機	超音波溶着
装置外観			
溶着原理	誘導加熱	通電加熱	摩擦加熱
特徴	非接触溶着が可能	大面積溶着が可能	スポット溶着に好適
課題	局部溶融の精度・安定性	導電体が接合面に残存	部材同士の固定方法

表 3 導入した各種溶着機の概要

材料	1.6mm厚のSTEP3熱硬化CFRP エネルギーダイレクターあり
接合強度 寸法精度	36MPa (シングルラップシヤ) 厚み精度:0.5%



破断面写真

図 6 超音波スポット溶着試験片のシングルラップシヤ試験後の破断面写真

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（東レ）

<検討内容>

既存の熱硬化性 CFRP で製作した航空機要素形状のモデル部材をエポキシ系接着剤を用いて組み立て、形状・構造の成立性を検証した（プロトタイプ#1）。さらに同形状のモデル部材を熱溶着可能な熱硬化性 CFRP（産業用）で製作し、熱溶着コンセプトの成立性を検証した（プロトタイプ#2）。

<研究成果>

- ・□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した（図 7）。

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

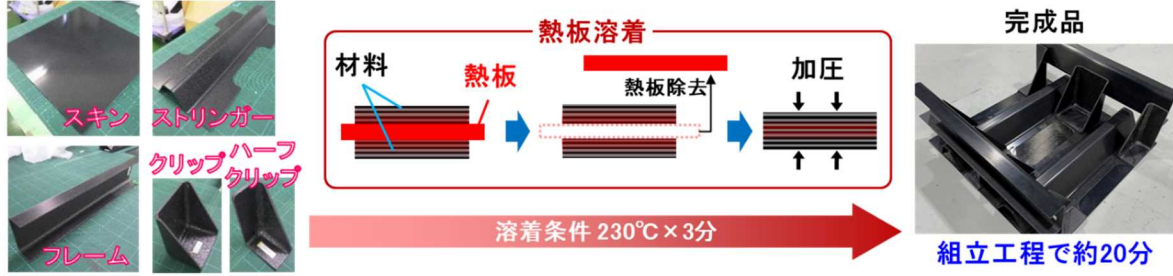


図7 熱板溶着によるプロトタイプ#2の熱溶着組立

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）

<検討内容>

熱溶着接合前後の接合基部の力学特性および接合部の信頼性を実験/シミュレーションの両面から検証し、材料設計にフィードバックした。

<研究成果>

- ・力学特性評価および強度/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した(図8、9)。
- ・面外衝撃試験を実施し、溶着部(熱可塑性樹脂層間および熱可塑性-接合基部層間)に剥離が生じないことを確認した(図10)。

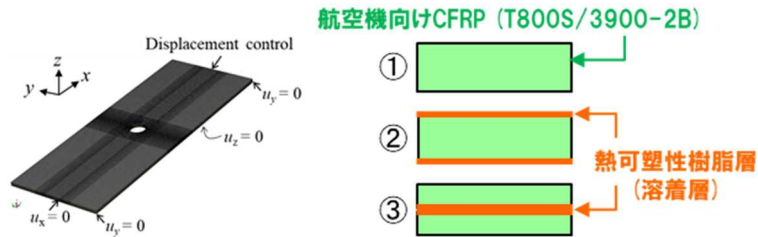


図8 解析モデル(左)および評価試験片①~③の概要(右)

実験条件

参考試験規格 SACMA SRM 5R (OHT), 3R (OHC)

- ①コントロール材: [45°/0°/-45°/90°]_{2s} 16ply
- ②熱溶着接合前: 溶着層/[45°/0°/-45°/90°]_{2s} 16ply/溶着層
- ③熱溶着接合後: [45°/0°/-45°/90°]_s 8ply/溶着層/[45°/0°/-45°/90°]_s 8ply

解析条件

FEM: LS-DYNA, 8 節点 6 面体要素

溶着層: 等方性弾性体、接合基部層: 直交異方性弾性体

対象面は z=0 の境界条件で表現

層間剥離, 0° 層スプリッティングを結合力モデルで表現

試験片②および③の熱可塑性樹脂/CFRP 層間は CFRP 層間と同じ G_{Ic}/G_{IIc} を適用

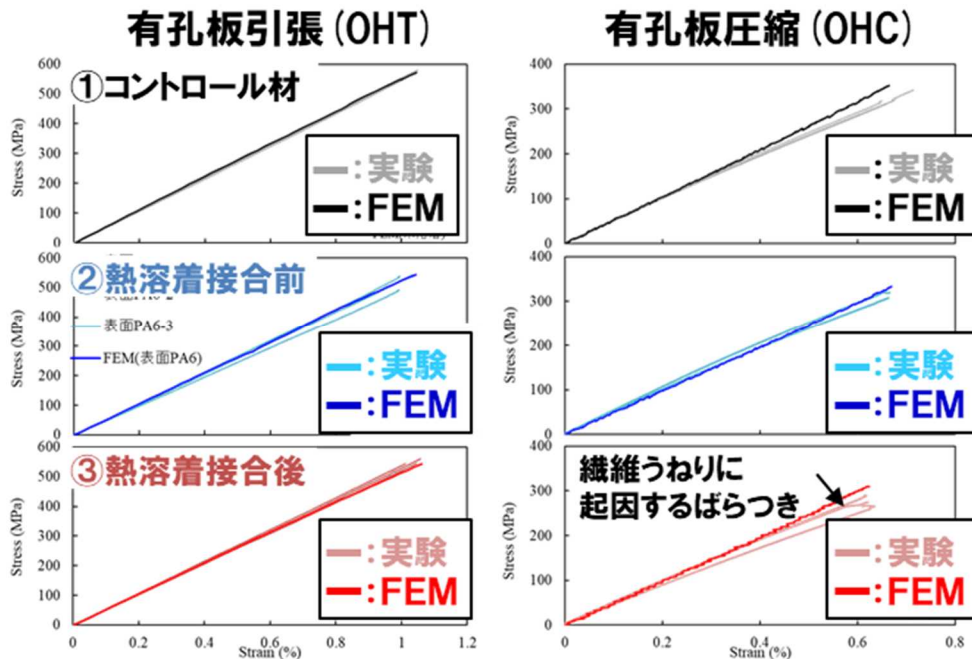


図9 評価試験片①～③におけるOHT、OHCの応力-ひずみ線図

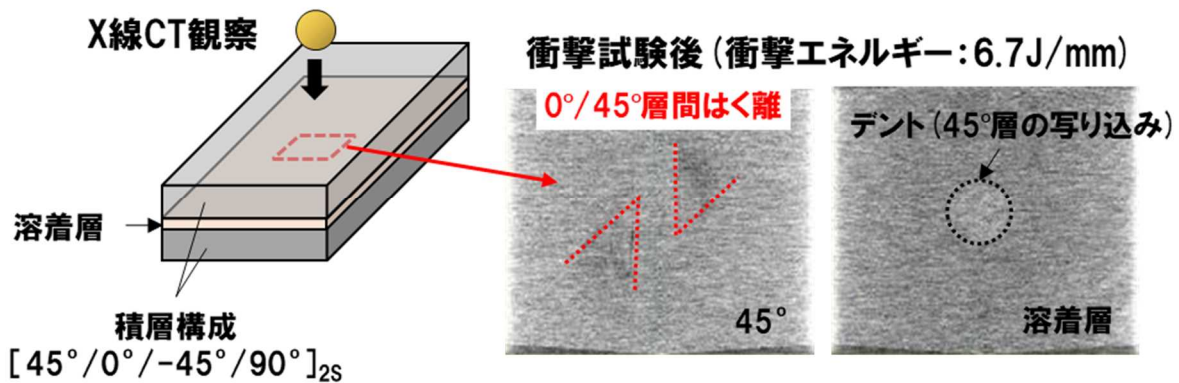


図10 面外衝撃試験後試験片のX線CT観察写真

実施項目 B-2：マルチ材料系の物性データベース構築（金沢工大）

<検討内容>

溶着層の導入による接合基部の力学特性変化について、オートクレーブ成形およびプレス成形したコントロール材を比較対象とした系統的なデータベースを構築し、材料設計にフィードバックした。また、接合部の接合特性について、系統的なデータベースを構築し、材料設計および熱溶着プロセス設計にフィードバックした。

<研究成果>

- ・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した。

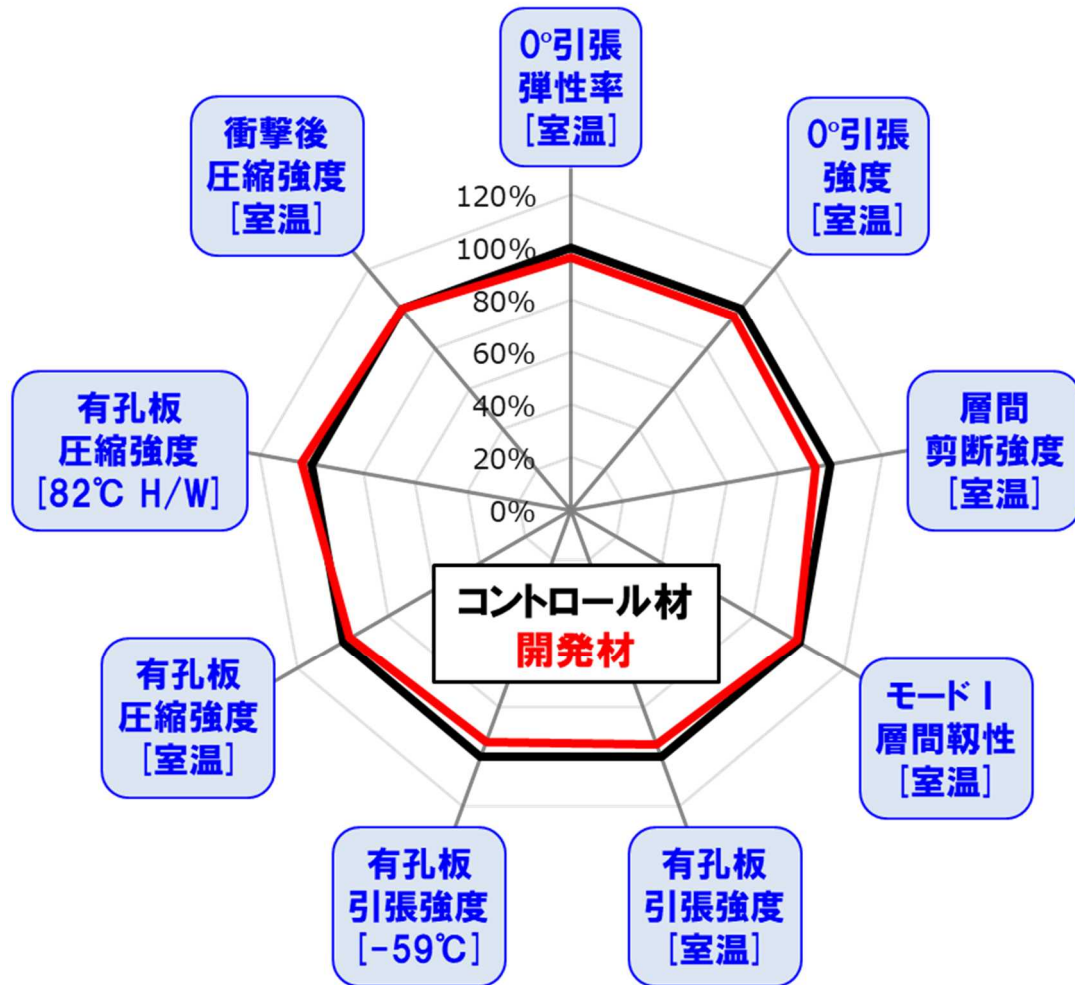


図 11 熱溶着可能な熱硬化性 CFRP (開発材) の力学特性評価結果

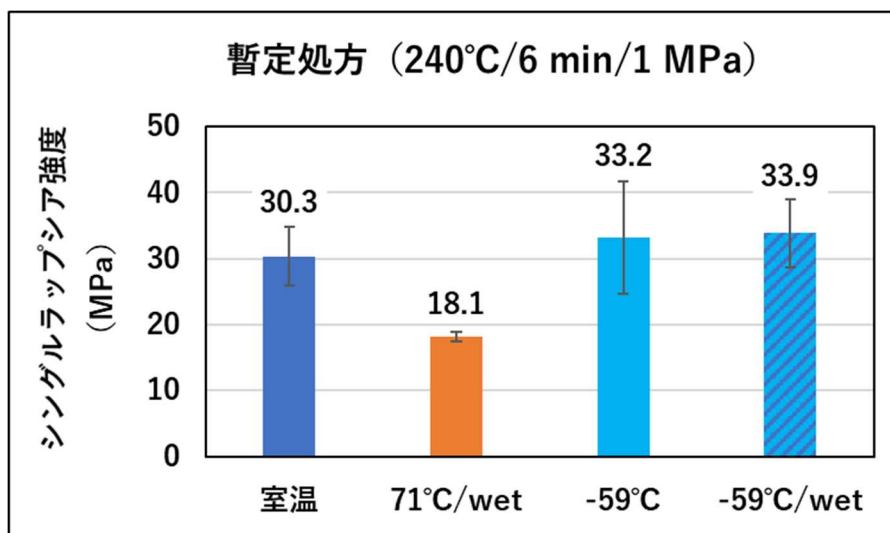


図 12 熱溶着後の暫定処方試験片のシングルラップシア強度

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)

<検討内容>

レーザー超音波映像に独自開発の画像解析を行うことにより、平板接合部の欠陥検出能

の向上を図った。また、格子投影法を用いた非接触 3 次元計測システムの試作と CFRP 接合パネルの反り分布計測を実施した。

<研究成果>

- ・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得た。

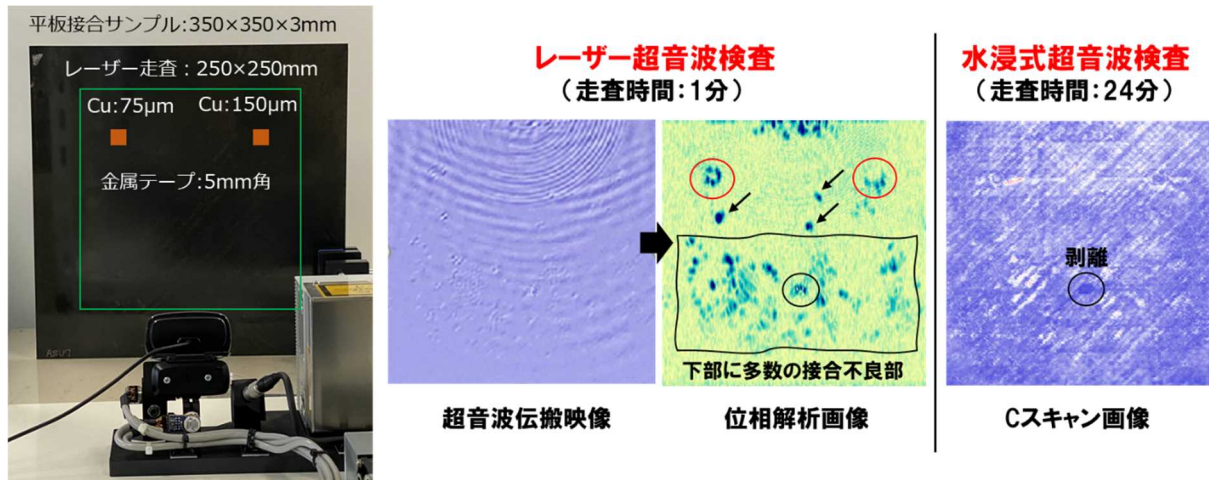
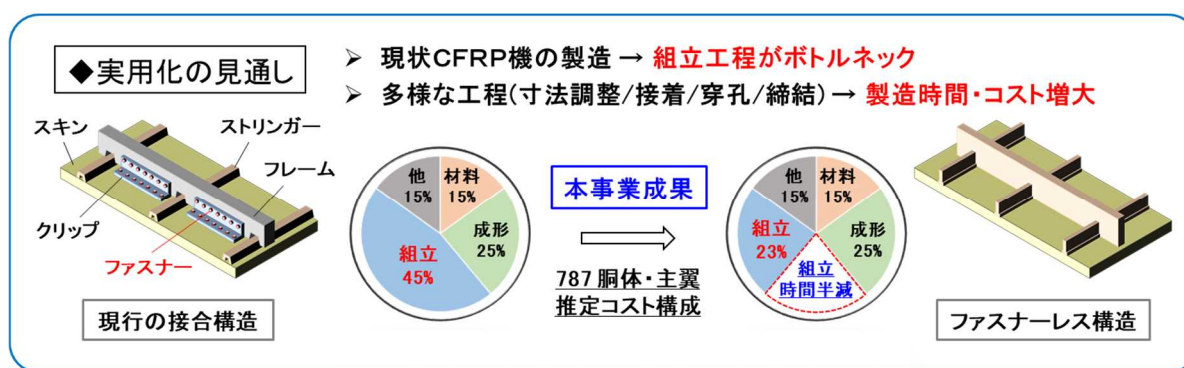


図 13 レーザー超音波検査システム (左) およびその超音波伝搬画像 (中央左) と位相解析画像 (中央右)、水浸式超音波検査の C スキャン画像 (右)

・成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

1. 成果の実用化に向けた戦略

本事業の成果は、単に航空機構造の高レート生産技術という個別の技術的進歩に留まらず、これにより、航空機産業における我が国の地位を強化するものである。加えて、その成果は航空機機体構造の設計と製造システム全体を変革させる可能性があり、これを我が国が世界に先んじて実証・実装することにより、航空機産業における我が国の地位を単なる材料や部材のサプライヤーの地位から脱却させ、強化する効果も期待される。



日本航空機開発協会の調査結果によれば、2017年の世界の航空宇宙部門の売上高（Boeing等の完成機メーカーおよびサプライヤー含む）は、ランキング100位までの合計で6,024億ドルであるが、国内メーカーの売上高の合計は約150億ドルにとどまる。一方、CFRP機体であるBoeing 787における国内部材メーカーの担当割合は35%と高く、しかもその主構造CFRP向けプリプレグは東レが全量を供給する。すなわち、機体のCFRP化は我が国の航空機産業の成長を支えており、仮に現状高レート生産性で優位なアルミ合金構造が次世代機に採用されると我が国の航空機産業は一気に競争力を失い、二次下請けの部品メーカー、設備メーカーへの影響は甚大となる。

逆に、本事業の成果により新規のマルチマテリアル系構造機体を成立させる技術を世界に先行して構築・保有することができれば、我が国の航空機産業はCFRP材料と部材の供給者の立場から、部材メーカーと協力して設計を含む機体構造・生産システムを握る立場へと大きく成長、飛躍する機会を得る。

また、将来の高レート生産機種へのCFRP化は航空機産業全体のサステナビリティにも資する。全日空の公開資料によれば、従来アルミ合金機体に対しCFRP機体は軽量化によって運行時のCO₂排出量を20%低減する。次世代の高レート製造機種へのCO₂総排出量は地球環境に大きな影響を及ぼすと予想され、機体のCFRP化を推進することは環境の観点から非常に大きい意義を有する。

さらに、本事業で創出された超軽量CFRPマルチマテリアル系構造とその高レート生産技術は、航空機の機体構造だけでなく、UAMやUAV（ドローンを含む）などいわゆる次世代モビリティ飛行体構造、自動車構造などにも応用展開が可能であり、こうした産業における我が国の主導的な地位強化にも繋がる。

2. 成果の実用化に向けた具体的取り組み

本事業成果の航空機用途での実用化には、長期の認定プロセスと高額な費用が必要となる。また、想定される本事業の成果は、マルチマテリアル系の材料・部材構造・製造プロセスと広範囲にわたり、実用化のためには航空機メーカーの協力を得ながら開発を推進する必要がある。

東レは、これまでもBoeing機種への材料サプライヤーであるだけでなく、該社と機体用CFRP材料の開発、認定過程などで密接かつ直接連携してきた歴史を有し、特に、2014年以降は部材の設計・材料・成形加工などより多岐にわたる分野において共同開発を実施している。そ

の枠組みを活用して、実用化に直結する研究開発方針や目標を設定することで、実用化に向けて航空機メーカーがスムーズに受入可能な要素技術パッケージ（材料・ドキュメント）を提案することが可能になる。

本事業の成果を我が国発の技術として確立しつつ、航空機のメインプレイヤーである Boeing のボリュームゾーンの機種に CFRP を展開することは、独自の機体開発プログラムをほとんど有しない我が国が世界の航空機産業のキーテクノロジーを握る最短の技術実装アプローチの策である。

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



B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

3. 成果の実用化の見通し

航空機メーカーである Boeing は本事業推進によってもたらされる成果の意義を、当該機種の競争力の強化と環境保護の観点で高く評価している。Boeing 研究開発組織のうち、熱硬化性 CFRP の開発拠点であるシアトルの組織だけでなく、熱可塑性 CFRP の開発拠点であるセントルイスの組織、さらには技術経営トップ層においてまで、本事業成果の価値が認識されており、本事業成果は同社の機体に迅速に実装される可能性が高い。

以上のように、本事業成功によって期待される効果は、次世代航空機産業における我が国の地位強化のみならず、CFRP 機体構造とその生産システム全体の変革をリードすることによる新しい航空機産業競争力の獲得にも繋がるものである。加えて、航空機産業のみならず、次世代モビリティなど幅広い産業へと波及が期待できる。

(添付資料)

・特許論文等リスト

1. 東北大学

表 論文、外部発表等の件数 (内訳) 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
2020FY	4	-	12	-	-	-	-	-	-
2021FY	4	-	15	5	1	-	-	2	-
合計	8	0	27	5	1	0	0	2	0

※実施者が主体的に開催するイベント (フォーラム、シンポジウム等)

表 特許の件数 (内訳) 【2022年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
2020FY	0	0	0
2021FY	1	1	0
合計	1	1	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	東北大学, JAXA, 三菱重工業 株式会社	特願 2021-511412	国内	2021.9.28	出願	隆起構造および翼	廣田 真他
2	東北大学, JAXA, 三菱重工業 株式会社	17/599,092	外国 (米国)	2021.9.28	出願	Raised structure and wing	廣田 真他

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Shugo Date, Yoshiaki Abe, Takeki Yamamoto, Tomonaga Okabe	Tohoku Univ.	Fluid-structural design analysis for composite aircraft wings with various fiber properties	Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 16, No. 1, JFST0009	有	2021/1
2	Hiroki Tameike, Aiko Yakeno, Shigeru Obayashi	IFS, Tohoku Univ.	Influence of small wavy roughness on flat plate boundary layer natural transition	Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 16, No. 1, JFST0008	有	2021/1
3	Y. Ide(*), M. Hirota(**), N. Tokugawa(*)	* JAXA ** IFS, Tohoku Univ.	Stability assessment on sinusoidal roughness elements for crossflow- transition control”, will be published in Physics of Fluids	Physics of Fluids, Vol. 33, 034112	有	2021/3
4	王晨宇 長嶋利夫	上智大学 上智大学	準三次元 XFEM を用いた CFRP 積層板の準静的押し 込み試験解析	日本機械学会論文集, 論文 ID: 20-00432	有	2021/2
5	Aiko Yakeno	Tohoku Univ.	Drag reduction and transient growth of a streak in a spanwise wall-oscillatory turbulent channel flow	Physics of Fluids Vol. 33 (6), pp. 065122	有	2021/6
6	Aiko Yakeno, Shigeru Obayashi	Tohoku Univ.	Propagation of stationary and traveling waves in a leading-edge boundary layer of a swept wing	Physics of Fluids Vol. 33 (9), pp. 094111	有	2021/9
7	Nagashima,T., Wang C.	Sophia Univ.	XFEM analyses using two-dimensional quadrilateral elements enriched with only the	International Journal of Computational Methods	有	2021/11

			Heaviside step function			
8	Keiichi Shirasu, Junpei Tsuyuki, Ryo Higuchi, Sota Onodera and Tomonaga Okabe	Tohoku Univ.	Experimental and numerical study on open-hole tension /compression properties of carbon- fiber-reinforced thermoplastic laminates	Journal of Composite Materials	有	2022

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	安田 英将 河合 宗司	川崎重工業 (株) 東北大学	Cflow による高レイノルズ数 流れの壁面モデル LES	流体力学講演会/ 航空宇宙数値シミュ レーション技術シンポ ジウム2020オンライン	2020/9
2	千葉一永 石川晴基 大庭芳則 大林茂	電気通信大 学 電気通信大 学 株式会社IHI 東北大学	Integrated analysis of an operating jet engine with an airframe -A first attempt	17 th International Conference on Flow Dynamics	2020/10
3	Shingo Hamada, Aiko Yakeno, Bagus Nugroho* Shigeru Obayashi	Tohoku Univ. *Melbourne Univ.	Ultra-fine surface roughness effect on boundary layer transition	Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD)	2020/10
4	Makoto Hirota Yuki Ide Yuji Hattori	Tohoku Univ. JAXA Tohoku Univ.	Modeling of Nonlinear Crossflow Instability in Three-dimensional Boundary Layer	Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD)	2020/10
5	Shingo Hamada, Aiko Yakeno, Shigeru Obayashi, Bagus Nugroho*	Tohoku Univ. *Melbourne Univ.	Small wavy roughness effect on T-S wave and three- dimensional transition	73rd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics	2020/11

			by Direct Numerical Simulation		
6	焼野 藍子	東北大学	壁乱流の秩序構造発生のダイナミクスと予測制御	【招待講演】大阪大学 MMDS モデリング部門ワークショップ「工学と数学の接点を求めて」	2020/11
7	廣田 真 井手 優紀 服部 裕司	東北大学 JAXA 東北大学	横流れ不安定性の DNS に基づいた三次元境界層遷移モデルの構築	第 34 回数値流体力学シンポジウム	2020/12
8	Wang, C., Nagashima, T.	Sophia Univ.	Damage Propagation Analyses of CFRP laminate subjected to out-of-plane load by FEM using Cohesive Zone Model	COMPSAFE (Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems) 2020	2020/12
9	Wang, C., Nagashima, T.	Sophia Univ.	Damage Propagation Analyses of CFRP Laminate subjected to out-of-plane load by XFEM	Eccomas Congress 2020 and 14th WCCM	2021/1
10	Shugo Date, Yoshiaki Abe, Takeki Yamamoto, Tomonaga Okabe	Tohoku Univ.	Effects of fiber and resin properties on composite wing design using multiscale framework	14th World Congress in Computational Mechanics (WCCM) ECCOMAS Congress 2020	2021/1
11	伊達周吾 阿部圭晃 山本剛大 岡部朋永	東北大学 東北大学 東北大学 東北大学	静空弾解析を用いた CFRP 製航空機主翼の空力構造設計における炭素繊維物性の影響評価	日本航空宇宙学会 北部支部 2021 年講演会ならびに第 2 回再使用型宇宙輸送系シンポジウム	2021/3
12	廣田 真 井手 優紀 服部 裕司	東北大学 JAXA 東北大学	波形粗さ要素による三次元境界層遷移の抑制効果	日本物理学会 第 76 回年次大会	2021/3
13	Yoshiaki Abe,	Tohoku	Optimum structure	EUROGEN2021	2021/6

	Shugo Date, Keiichi Shirasu, Hikaru Takami, Tomonaga Okabe, Shigeru Obayashi	Univ.	design of aircraft wings using carbon fiber reinforced plastics (CFRPs)		
14	稲葉裕太, 伊達周吾, HARIANSYAH Muhammad Alfiyandy, 阿部圭晃, 下山幸治, 岡部朋永, 大林茂	東北大学	複合材航空機の主翼設計における構造部材配置の最適化	第53回流体力学講演会／第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム	2021/7
15	Hidemasa Yasuda, Soshi Kawai	Kawasaki Heavy Industries, Ltd., Tohoku Univ.	Wall-Modeled Large-Eddy Simulation with Second-Order Accurate Upwind Scheme	AIAA Aviation 2021	2021/8
16	Aiko Yakeno, Shigeru Obayashi	Tohoku Univ.	Traveling-wave propagation in the swept leading-edge boundary layer at high Reynolds number	International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM)	2021/8
17	王晨宇, 長嶋利夫	上智大学	結合カモデルを用いた衝撃損傷を有するCFRP積層板の圧縮試験解析	第34回計算力学講演会	2021/9
18	Shingo Hamada, Aiko Yakeno, Sayaka Suzuki, Shigeru Obayashi Bagus Nugroho	Tohoku Univ.	Transition delay and drag reduction mechanism by designed surface roughness	18th International Conference on Flow Dynamics	2021/10
19	Makoto Hirota, Yuki Ide and Yuji Hattori	Tohoku Univ., JAXA	Numerical Study on Local Scale Similarity of Primary and Secondary Crossflow Instability	18th International Conference on Flow Dynamics	2021/10

20	Makoto Hirota, Yuki Ide and Yuji Hattori	Tohoku Univ., JAXA	Modeling of Crossflow-Induced Boundary Layer Transition	APISAT2021	2021/11
21	Shigeru Obayashi, Aiko Yakeno, Makoto Hirota, Yuki Ide, Naoko Tokugawa and Hikaru Takami	Tohoku Univ., JAXA	Computational Laminar Flow Technology	APISAT2021, Plenary Lecture	2021/11
22	Shigeru Obayashi, Yoshiaki Abe, Keiichi Shirasu, Hikaru Takami, Tomonaga Okabe	Tohoku Univ.	Towards Ideal Aircraft-Structure Design with Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics (CFRTPs)	ECCOMAS CM3 Transport Workshop	2021/11
23	露木 惇平, 白須 圭一, 岡部 朋永	東北大学	熱可塑性CFRPの力学 特性評価と損傷・破壊に 関する数値解析	日本機械学会第2 9回機械材料・材 料加工技術講演会 (M & P 202 1)	2021/11
24	白須 圭一, 露木 惇平, 樋口 諒, 岡部 朋永	東北大学	熱可塑性CFRPの 有孔圧縮強度評価と損 傷・破壊に関する数値解 析	第13回日本複合 材料合同会議(J CCM-13)	2022/3
25	浜中美友, 露木 惇平, 白須 圭一, 岡部 朋永	東北大学	熱可塑性CFRPの低速 衝撃損傷特性評価	第13回日本複合 材料合同会議(J CCM-13)	2022/3
26	森 悠二, 焼野 藍子, 大林 茂	東北大学	後退翼前縁部の境界層に おける受容性の三次元直 接数値シミュレーション	日本航空宇宙学会 北部支部講演会	2022/3
27	鈴木 彩日, 焼野 藍子, 大林 茂	東北大学	風洞実験による分布する微 小粗さの抵抗低減への影 響に関する研究	日本航空宇宙学会 北部支部講演会	2022/3

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東北大学	東北大、旅客機主翼の流れの遷移メカニズムを解明	日本経済新聞 電子版	2021/9/14
2	東北大学 焼野藍子、大林 茂	世界初！旅客機主翼の流れの遷移メカニズムを解明 後退翼の層流化により空気抵抗の大幅減へ前進	東北大学 プレスリリース	2021/9/14
3	東北大学	旅客機主翼の層流から乱流への遷移メカニズムを解明 — 将来の低計算コストでの航空機開発に寄与 東北大学	エンジニアのためのキャリア応援マガジン fabcross for エンジニア powered by MEITEC	2021/9/15
4	東北大学	東北大、後退角主翼前縁部の乱流遷移メカニズム解明	航空新聞社 jwing.net	2021/9/21
5	東北大学	「飛行機が低燃費に？主翼の空気の流れを解明!!」	子供の科学 誠文堂 新光社 巻頭ニュース	2021/11/10
6	川崎重工業（株） 安田 英将	川重、「富岳」で航空機燃費評価	日経産業新聞	2021/12/2

(c)その他

番号	発表者・所属	タイトル	イベント名・発表名等	発表年月
1	大林 茂・東北大学	(長年にわたり流体力学分野の教育と研究に従事し、流体力学の発展に顕著な功績を収めた。特に、CFDとその応用としての多目的設計探査、データ同化の研究などで多数の卓越した業績を挙げた。)	第99期（2021年度）日本機械学会流体力学部門「部門賞」	2021/11
2	焼野藍子・東北大学	壁乱流準秩序構造に着目した摩擦抵抗低減制御に関する研究	日本流体力学会「竜門賞」	2022/2

2. 川崎重工業株式会社

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願 [※]
2020FY	0	0	0
2021FY	2	0	0
合計	2	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	津田駒工業 (株)	特願 2022- 003781 号	国内	2022/1/13	出願	自動繊維束配置 装置	西村 勲、 石田 恭之
2	川崎重工業 (株)	JP2021115704	国内	2021/7/13	出願	熱可塑性複合材を 用いたスキンパネル の連続成型方法	奥村 謙士郎 他

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

3. 東レ株式会社

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
2020FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021FY	0	0	1	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	1	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	小林 博	東レ株式会社 複合材料研究所	CFRP の熱溶着接合による マルチマテリアル系構造の開発 (NEDO 助成事業)	第4回マルチマテリアル 拠点シンポジウム	2022/1/24

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。



「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

発表内容

- 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

I. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 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ことから、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。

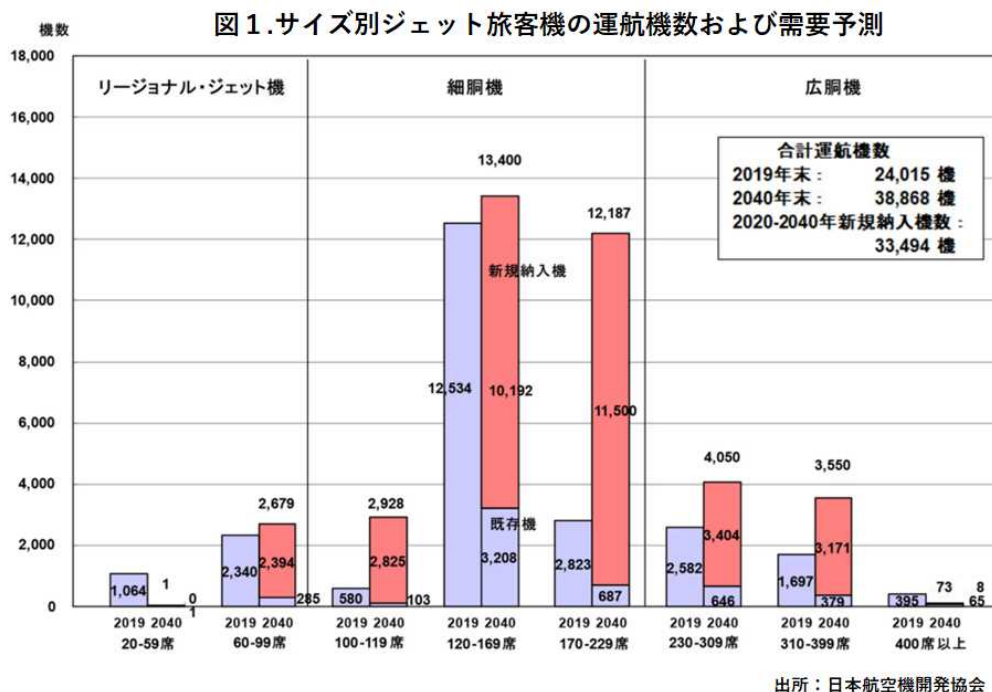
燃費改善、環境適合性等の市場のニーズに応えるため、近年の航空機（機体・エンジン・装備品）では、軽量化のために構造部材として複合材(CFRP)が積極的に導入されており、先進的な素材開発及び成形組立技術開発等が急務となっている。

【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。

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、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)。



4

I. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆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。

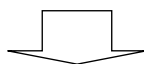
本事業はこれらの政策を進めるために実施するものである。

5

◆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CO2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

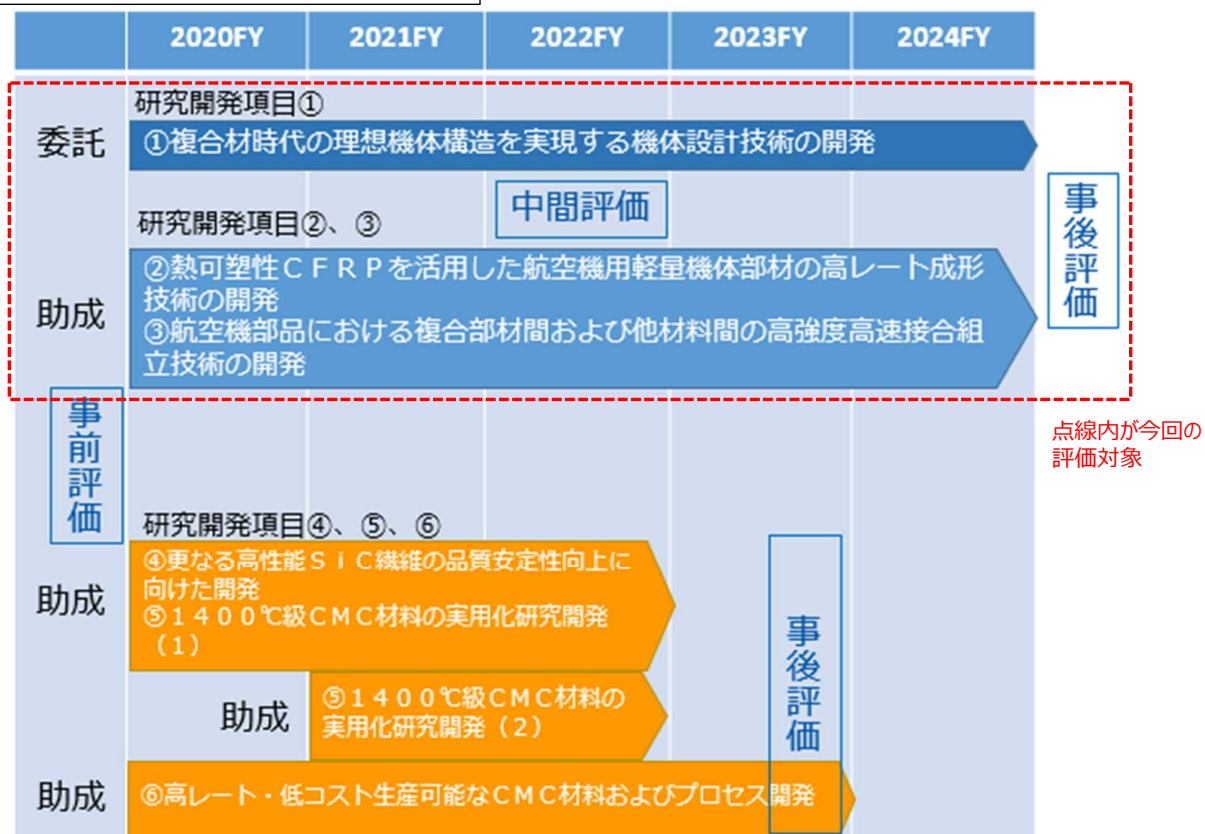
* 2 研究開発項目①~⑥の総削減量、2040年の新型機の細胴機を6000機と想定 (570万キロリットルの原油削減に相当。費用削減効果1960億円)

Ⅱ. 研究開発マネジメント

8

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



9

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。

10

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。

11

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30MPa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。

12

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

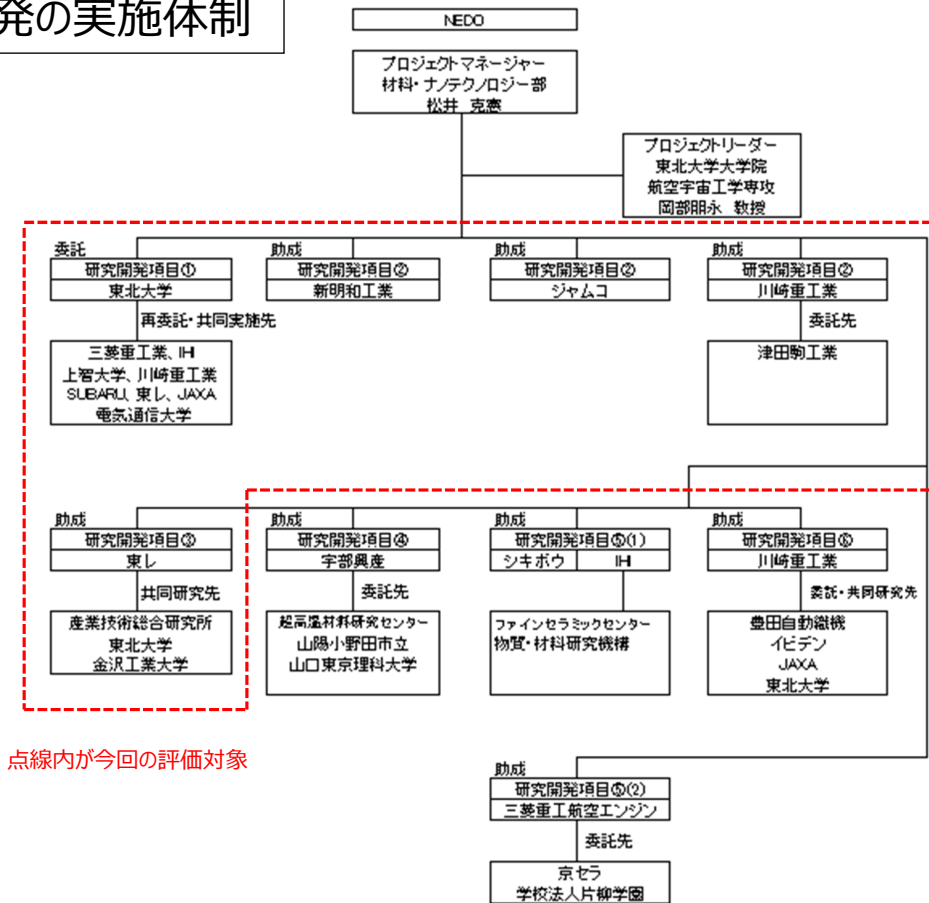
(単位：百万円)

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)	

13

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

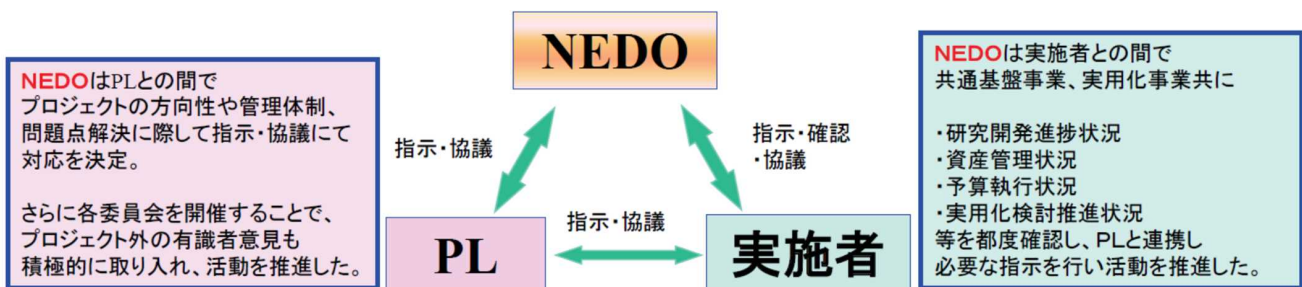


14

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

◆ 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。

15

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

◆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。

16

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)	技術推進委員会(本番)	サイトビジット(新明和)	技術委員会(東北大)	サイトビジット(シヤムコ)		技術委員会(東北大)	技術委員会(東レ)	来期計画説明会
	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			技術委員会(新明和)	技術委員会(川重)	技術委員会(シヤムコ)技術委員会(東レ)		技術推進委員会(練習)	技術推進委員会(本番)	サイトビジット(東レ)	技術委員会(東北大)	技術委員会(東レ)		技術委員会(東北大)	来期計画説明会	

17

◆ 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。

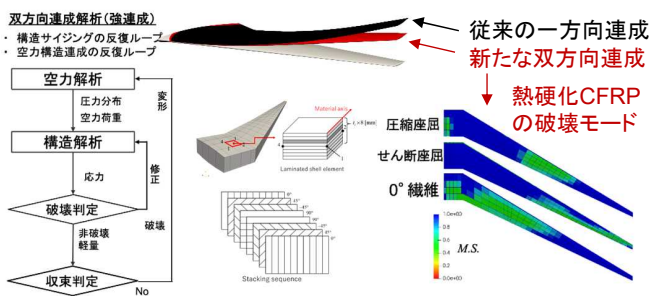
成果	達成度	今後の課題	解決方針
② 1. 解析に必要な各種一方向材の強度、ヤング率、界面破壊靱性値を取得した。解析との比較検証に用いるためのOHT, OHCデータを取得した。 2. 弾塑性解析機能を実装した五面体要素のXFEMにてOHT, OHCのヤング率および強度を10%以内の精度で予測できることを実証した。また、プリポストシステムを含む六面体要素のXFEMによるOHT検証解析を実施した。 3. クリッピング試験、層間せん断、層間強度データベースを構築した。	○	1. 面外衝撃特性、CAI強度、Hot/wet環境下でのOHT, OHCデータを取得する見込み。(2022年6月) 2. 六面体要素の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) 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)	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

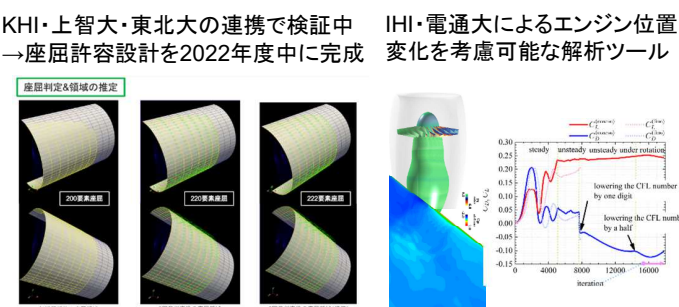
Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の詳細

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

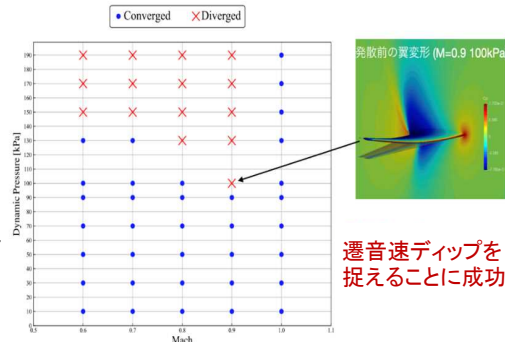
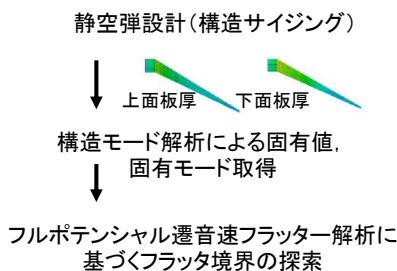
双方向連成解析に基づく主翼構造設計ツールが完成



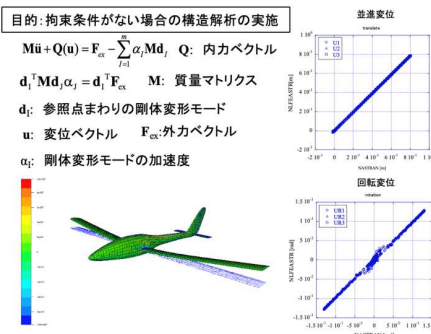
胴体座屈許容設計・駆動エンジン空力解析ツールの開発



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



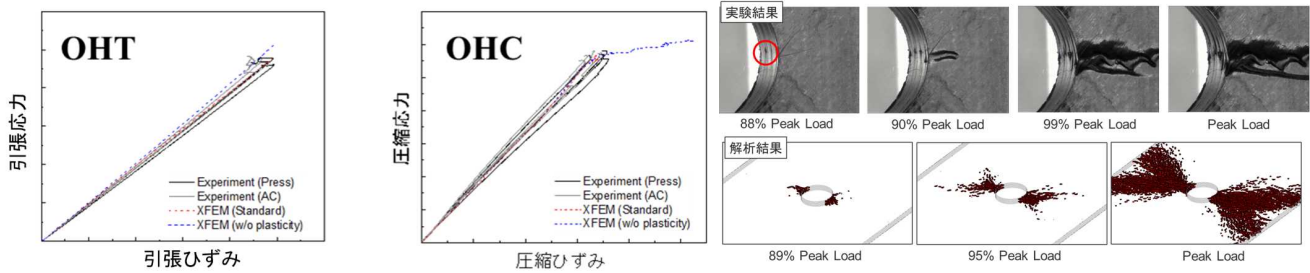
構造解析ツールの要素技術開発



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

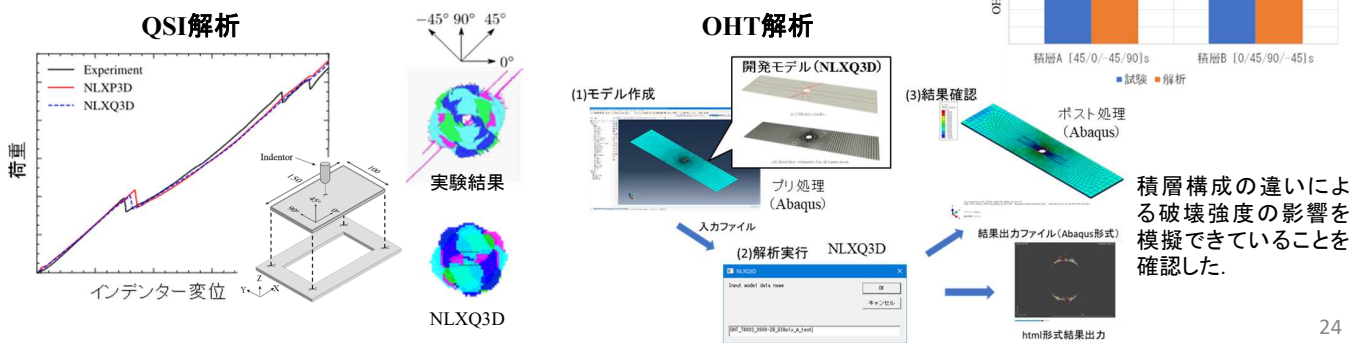
弾塑性解析機能を実装したXFEMでのOHT(引張特性)、OHC(圧縮特性)解析と実験結果との比較



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(熱可塑性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


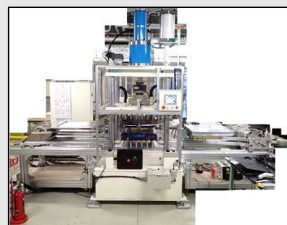

【中間目標】

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	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) 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>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	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>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	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>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

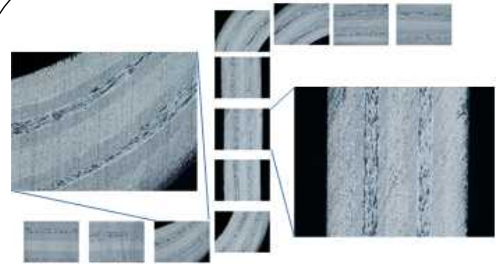
Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の詳細

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



- ポ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>△ (2023年2月達成見込み)</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	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

◆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（テーパー比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、
ポイド率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)	目標となるポイド率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

36

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%)	○	✓ 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

37

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

38

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

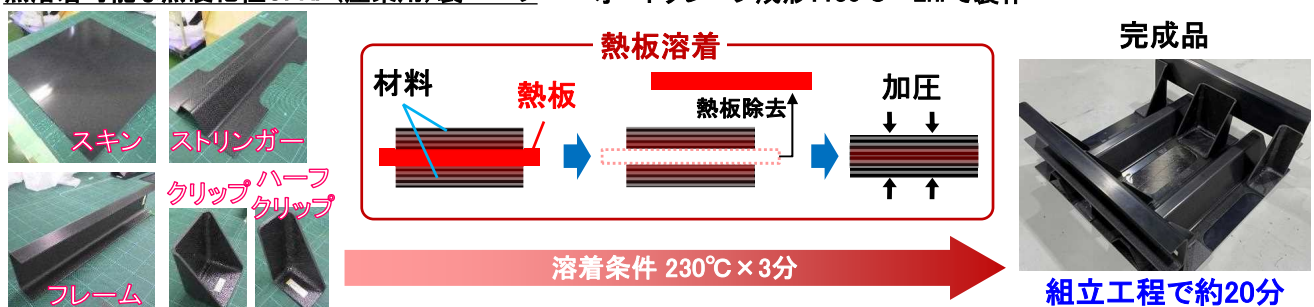
※シングルラップシ	中間目標	最終目標	開発材料		従来材一体成形
			暫定処方	中間評価処方(想定)	
溶着方法	熱板溶着	高速熱溶着	熱板溶着	熱板溶着	溶着層なし
接合時間	10分以内	3分以内	6分	6分	数時間のオートクレーブ成型
G_{IC} (CV)	600J/m ² (-)	600J/m ² (≤10%)	1400J/m ² (>20%)	1400J/m ² (≤10%)	600J/m ² (≤10%)
G_{IIC} (CV)	2000J/m ² (-)	2000J/m ² (≤10%)	2000J/m ² (>20%)	2000J/m ² (≤10%)	2000J/m ²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

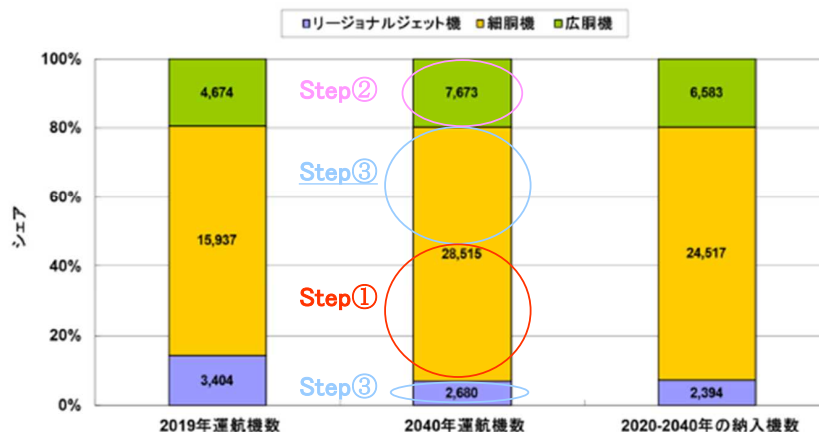


Step②熱可塑性CFRPフロアパネルを海外OEM広胴機へ適用



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



民間航空機に関する市場予測2020-2040 令和3年3月 一般財団法人 日本航空機開発協会

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

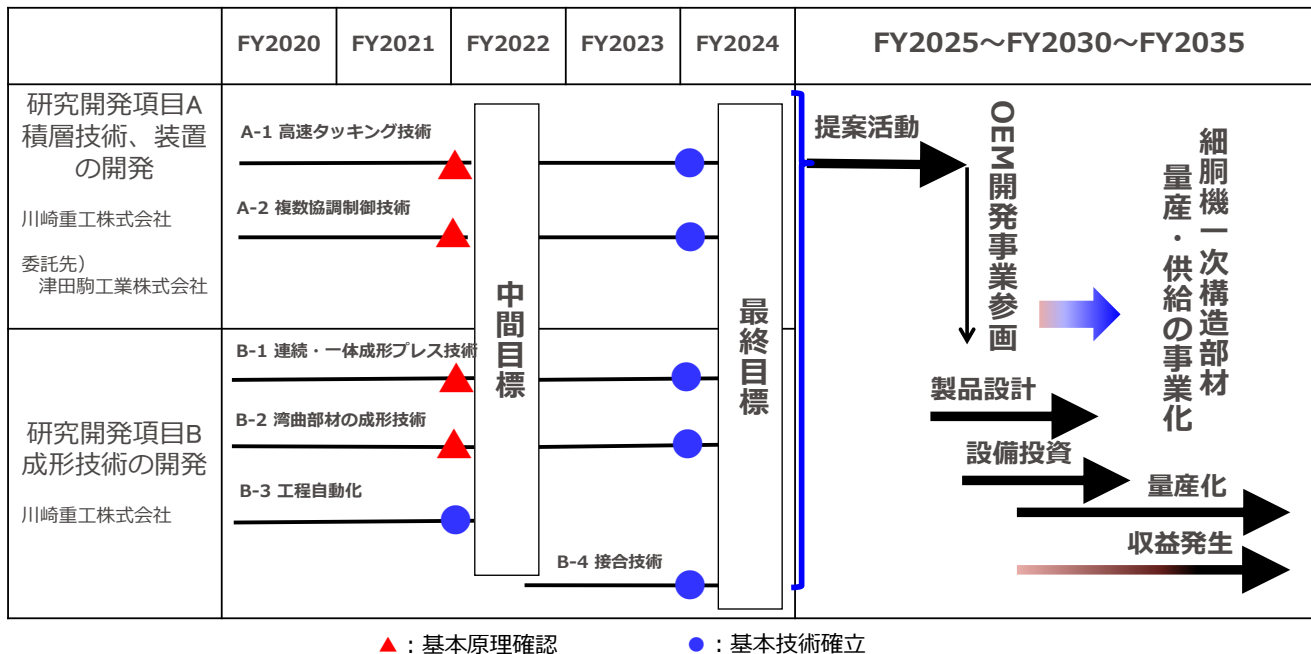
一般的なプレス製法や熱硬化性CFRP製法に比べて、コスト、品質、組立性等に優れた熱可塑性CFRP部材が、実証試験等を経て機体構造部材として認定されると、**従来より軽量で環境負荷の少ない航空機が低コストで製造できるようになる。**

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)



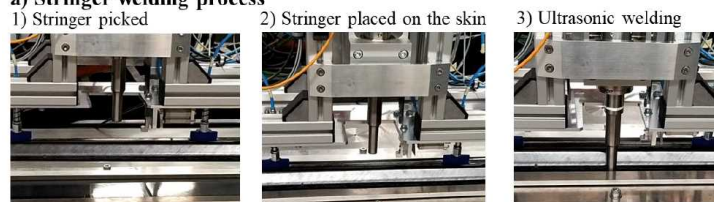
◆ 他国の研究開発動向

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。

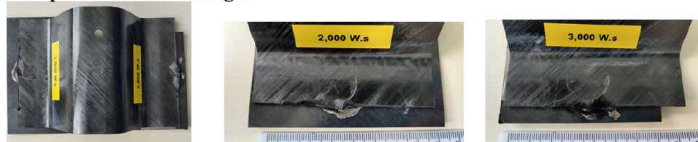
⇒ 技術課題によりまだ実用化には至っていない。

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

a) Stringer welding process



b) Sample of welded stringer



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



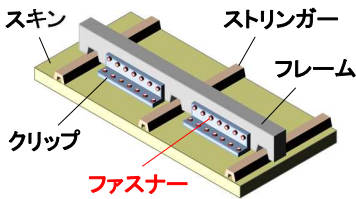
③「航空機部品における複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発」

(東レ株式会社)

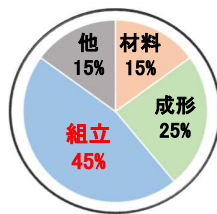
IV 成果の実用化 (2)成果の実用化の見通し

◆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**

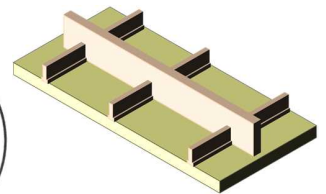
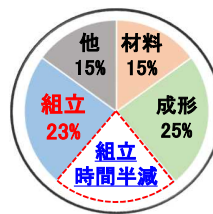


現行の接合構造



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

OEMからのフィードバックを反映し、実用化に直結する研究開発方針／目標を設定

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」(中間評価)分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2022年6月13日(月) 10:30~17:35

場 所 : NEDO 川崎 23階 2301/2302/2303 会議室 (オンラインあり)

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	渋谷 陽二	大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻	教授
分科会長代理	田中 和人	同志社大学 生命医科学部 医工学科	教授
委員	荒井 誠	株式会社日本政策投資銀行 企業金融第2部	航空宇宙室長
委員	田中 宏明	防衛大学校 システム工学群 航空宇宙工学科	教授
委員	辻 早希子	株式会社三菱総合研究所 経営イノベーション本部	主任研究員
委員	西藪 和明	近畿大学 理工学部 機械工学科	教授
委員	横関 智弘	東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻	准教授

<推進部署>

林 成和	NEDO 材料・ナノテクノロジー部	部長
松井 克憲(PM)	NEDO 材料・ナノテクノロジー部	主査
田名部 拓也	NEDO 材料・ナノテクノロジー部	統括主幹
桑原 智彦	NEDO 材料・ナノテクノロジー部	専門調査員
大貫 正道	NEDO 材料・ナノテクノロジー部	専門調査員

<実施者>

岡部 朋永(PL)	東北大学大学院 航空宇宙工学専攻	東北大学総長特別補佐	教授
大林 茂	東北大学 流体科学研究所		教授
本間 雅登	東レ株式会社 複合材料研究所	リサーチフェロー(RF)研究主幹	
西村 太一	新明和工業(株) 生産技術部	加工技術課 複合材チーム	課員
蒲池 智宏	新明和工業(株) 技術部	研究課	課員
岡本 真	ジャムコ 航空機器製造事業部	技術部 技術第二グループ	課長
眞鍋 健三	川崎重工業(株) 民間航空機プロジェクト総括部	副総括部長	
中川 誠	川崎重工業(株) 民間航空機プロジェクト総括部	民間航空機計画部 民間機計画二課	基幹職
越智 さやか	川崎重工業(株) 技術本部	技術開発部 材料技術課	基幹職
鈴木 大晴	川崎重工業(株) 生産総括部	生産企画部 生産技術課	基幹職

<評価事務局>

森嶋 誠治	NEDO 評価部	部長
緒方 敦	NEDO 評価部	主査
木村 秀樹	NEDO 評価部	専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 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」
 - 6.2 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」
 - 6.3 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」
 - 6.4 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」
 - 6.5 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」
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質問票のとおりとし、議事録に関する公開・非公開部分について説明を行った。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より行われた事前説明のとおりとした。
5. プロジェクトの概要説明

5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し

引き続き推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.3 質疑応答

【渋谷分科会長】 ご説明ありがとうございました。これから質疑応答に入ります。技術の詳細については議題6で取り扱うため、ここでは主に事業の位置づけ、必要性、マネジメントについての議論となります。それでは、事前にやり取りをした内容も踏まえ、ご意見、ご質問等はございますか。

田中宏明 様お願いします。

【田中委員】 防衛大の田中です。非常に貴重な研究だと感じる中で、1点お尋ねいたします。これは質問票で伺った部分とも重なりますが、研究の成果、実施の効果として「CO₂排出の削減」が大きくうたわれていることについて、この研究の成果とCO₂削減の成果がどのように結びついているのか少々分かりづらい印象です。概要でも結構ですので、そのあたりについて補足いただくと助かります。例えば、これが軽量化の効果であるのか、それとも熱可塑性のCFRPを使用したことによる製造プロセスの改善によるところなのか、もしくは、それ以外にCO₂削減につながる要因が何かあるなど、そういった点について教えてください。

【NEDO 材ナノ部_松井PM】 CO₂の削減の話ですが、従来の材料では飛行機は重いということで、熱硬化のCFRP材が機体の787等で現在50%ほど使われ軽量化されており、それに伴い、燃費が改善してCO₂排出量も減ることにつながります。ただ、熱硬化のCFRPは、オートクレーブ等を使うと10時間など製作時間がかかるのが現状です。ですから、さらなる量産化という観点でいけば、熱可塑性のCFRPを採用して早くつくれるというところを目指さないとなりません。ここに「CO₂排出削減量1,500万トン」と書いていますが、これは機体が全て熱可塑CFRPに2040年度にうまく置き変わったものとして、そのときの細胴機を6,000機で算出しております。それにより燃費の改善効果、この材料に変えたことを踏まえた上で効果が出るのではないかと考えている次第です。ここの1,500万トンというのは、先ほど説明した航空機全体の研究開発①から⑥までの総和となっており、今回の対象としては、その約3分の2、おおよそ1,000万トンほどの効果が出るのではないかと想定しています。また、ほかにもう一つエンジンに係る高温部材、CMCの事業があるため、そちらのほうの効果も見込んで合わせた形となっております。

【東北大_岡部PL】 分科会長、少し補足説明をよろしいでしょうか。

【渋谷分科会長】 お願いいたします。

【東北大_岡部PL】 今の説明にありましたが、現在、シングルアイルと言われるタイプの飛行機は、CFRPがそれほど使われていないという状況です。それにもかかわらずCFRPをもし使おうとすると、月産60機という数に耐えられなければいけないということで、熱硬化性樹脂では難しいだろうという推算が非常に多く出ています。また、今737 MAXの状況等もあり、必ずしもアクティブに動いているわけでもありませんが、来るべきシングルアイルに向けて熱可塑性に関して議論していくことが重要です。それによって、いわゆるアルミからCFに移ることに伴い重量軽減があればCO₂削減につながるというシナリオを考えております。

【田中委員】 理解いたしました。どうもありがとうございました。

【渋谷分科会長】 ほかにご質問ございますか。荒井様お願いします。

【荒井委員】 政策投資銀行の荒井です。ご説明ありがとうございました。まさに効果という意味では、シングルアイルに関しては、日本は機体製造を殆ど取れていないため、実際にこれを取れたのなら非常

に大きな効果が出るのではないかと期待します。その上で1点、研究開発マネジメントの箇所「動向・情勢の把握と対応」において、毎年の技術推進委員会等でいろいろと進捗を把握されているとのことですが、一方で考えられる欧米の開発動向について、川重さんの資料で、「開発は進んでいるが実用化には達していない」ということですが、欧米ともに重要は大きなシングルアイル需要を確保するために、競争が厳しくなる部分なのではないかと考えます。このあたりの欧米の開発状況について、このプロジェクトではどのようにフォローされているのかを教えてください。

【NEDO 材ナノ部_松井 PM】 おっしゃるとおり、他国、欧州においては、熱可塑性の CFRP が活発に行われているのが事実です。これに対しまして、NEDO の事業で行っていることが遅れを取っているなどそういうことではございません。現在、実施者も東レさんを中心に、大手の川崎重工業さんといった重工メーカーもこういった情勢を踏まえた上で、自分たちはこれよりも優れたものができるということで研究開発を実施しているところです。当然、東レさんは素材ということで、CFRP はもう世界でもナンバーワンとなっています。熱硬化性の CFRP を中心にやっておられる中、世の中としても熱可塑性の需要が非常に出てきたということで、NEDO としても熱可塑性 CFRP を取り組んでもらっている状況です。当然他社とは違う物、より優れた物を早く出したいということで NEDO においても支援をしています。

【東北大_岡部 PL】 分科会長、少し補足説明をよろしいでしょうか。

【渋谷分科会長】 お願いいたします。

【東北大_岡部 PL】 ご質問いただきありがとうございます。欧米の開発状況の部分に関して補足いたします。TAPAS プロジェクトや Wing of Tomorrow、Fuselage of Tomorrow というエアバスのプログラム等があり、出遅れ感はあるものの、日本の重工各社には 35% まで 787 を造ってきた実績があります。しかも、納期遵守に関しては非常に高い信頼を OEM から得ている状況です。そういう観点でも、ものづくりのレベルは非常に高いと考えられます。これまでボーイングを中心に組み込まれてきている状況ですが、今、ボーイングだけの一本足打法というのはいかがなものだろうかということでポートフォリオを広げられている段階だにご理解ください。一方で、今回のプロジェクトで実施している熱可塑性樹脂は、ほぼ東レアドバンスドコンポジット社製のものとなっております。これは、テンカーテという熱可塑性の最大メーカーを東レが買収し、日本が上流を全て根こそぎ持っている状況です。欧州は、結局ボーイングとの差をつけるために熱可塑というものを組みこんできていたのですが、実はボーイング自身も熱硬化をやる前は熱可塑をやっておりました。ですので、いつでもできるという状況になっています。その点で、今回の③にあるように東レが出してきているマルチマテリアルというのは、かなりエアバスより先をいっている内容です。エアバスはまだこういう胴体を造るところまでしかやっていませんが、①では設計から FAA(Federal Aviation Administration : 米国連邦航空局) の認証までケアをしている状況になります。そういう観点からも、ヨーロッパのプログラムに比べても先見性のあるプログラムが構成できているのではないのでしょうか。以上です。

【荒井委員】 ありがとうございます。まさに素材からものづくりまでを一貫として戦えると、日本として非常に強いなと思います。欧米も動きが早いと思われまから、ぜひその流れにおいてはフォローしていただきながら開発を進めていただきたいです。

【渋谷分科会長】 ほかにご質問ございますか。田中和人様お願いします。

【田中分科会長代理】 同志社大学の田中和人です。知的財産の部分の管理についてお伺いいたします。これは委託事業の研究開発項目①だけを管理されており、それ以外の②などにおいては、それぞれ各社が管理を任せられているという理解で合っているのでしょうか。

【NEDO 材ナノ部_松井 PM】 委託事業の資産の管理は NEDO になりますが、②以降は助成事業となっております。NEDO としても資産になるようなリストを入手して管理をしているものの、その管理主

体として、委託事業においてはNEDOが持つ、助成事業においては実施者が持つという形です。NEDOとしてもしっかり把握している状況となります。

【田中分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【渋谷分科会長】 ほかにご質問ございますか。

では、私のほうからも1つ伺いたいします。いわゆる技術管理、研究の進捗状況を管理するというのは非常に大事なことです。現在、NEDOのほうでは技術委員会というものや技術推進委員会という2つの委員会によって進捗状況を把握されているようですが、技術推進委員会のところで「練習」と「本番」と書かれているところの中身について少し補足いただくと助かります。こういったマネジメントをされているのか等について教えてください。

【NEDO 材ナノ部_松井 PM】 11月に技術推進委員会として各実施者さんと外部の先生方を招いて行っております。まず実施者におきましては、例えば15分、20分という配分でいきなり発表を行った場合には、ある実施者は30分もお話しされてしまう、または資料の内容においても少し乏しいといったケースがございます。そのため、本番をスムーズに行うことを目的とし、1か月前にPLとNEDOと共に練習を行います。その中で、内容説明の確認を行ったり、発表の仕方についても良い、悪いがございますので、それらを改善したりということを行っている次第です。せっかくの研究成果をうまく発表につなげられない、資料にも反映できない、そういったことを事前に防ぐための取組とご理解ください。

【渋谷分科会長】 ありがとうございます。外部有識者の意見を参考にということで、趣旨は進捗状況を把握できることが一番大事だと思いますので、よろしく願いいたします。

ほかにご質問ございますか。田中和人様お願いします。

【田中分科会長代理】 同志社大学の田中和人です。今の話に関連するところで伺います。研究開発において成果も計画に入れておられますが、そのとおりの成果の達成を要求されるのは非常に難しいことだと感じるところです。結構新しいことに取り組んでおられますから、計画どおりにはいかないことも多々あると考えられます。そのあたりの冗長性といった点やフレキシビリティというのは、ここの技術推進委員会等での議論で変更されていっているのでしょうか。

【NEDO 材ナノ部_松井 PM】 大きな流れとしては今のご説明のとおりですが、当然昨今のコロナの状況や会社の事情を含め、研究開発をうまくやっている中でも少し何か問題が出てきたといったこともございます。それに伴い、こういった技術委員会の場で評価委員の方々からのいろいろなアドバイスを参考にしながら、当然計画も変更をせざるを得ないことも生じます。ですので、そういった場合に活用している次第です。また、どうしても問題が生じた場合には、これとは別に臨時の委員会を開催し、そこで技術問題等における議論を再度行い解決することとしています。

もともとこの本事業はコロナの影響がない状況で計画されていました。ですが、ちょうど2020年度からコロナの影響を受けはじめ、各事業者さんやOEMも計画を少し先延ばしにするといった状況や、研究費等もなかなか会社が投資できないといった局面にも遭遇しております。また、最近では半導体の影響に加えて、今後生じる可能性としてはウクライナ情勢も考えられます。そういった外的要因も踏まえ、適宜進捗状況を確認させていただきながら、それで方向性を変えとか、最終的な目標を達成することに向けて非常に密にやらせていただいている状況です。

【田中分科会長代理】 ありがとうございます。その計画変更された内容というのは、どこかに記載されているのですか。それとも、そういったものはあまり明確にされていないのでしょうか。

【NEDO 材ナノ部_松井 PM】 計画変更については外部には出しておりません。ですが、実施計画書というものがございまして、計画変更があった場合にはそこでNEDO側と事業者で修正し、それに基づいて最終目標を、当然目標値は変えないことをベースに少し内容を修正するというような形で管理をし

ております。

【田中分科会長代理】 ありがとうございます。

【渋谷分科会長】 ほかにご質問ございますか。辻様お願いします。

【辻委員】 三菱総合研究所の辻です。今の話とも関連するものとして伺います。技術推進委員会、特別委員会、技術委員会といった形で外部の有識者の方とプロジェクトの実施者の方とで議論する場だという理解をいたしました。その中で、プロジェクトの実施者同士では情報共有をし合う、意見交換をし合うような機会はあるのですか。

【東北大_岡部 PL】 私からご説明いたします。幾つかのものに関しては、例えば新明和さん、ジャムコさん、川崎重工さんは完全にライバル関係であり、技術漏洩が問題になってしまうためにそれができない状況です。ただし、質問票の中で「連携はどうなっていますか」との内容に対して、川重さんから「研究項目①で実施している内容というものは、研究開発項目②においても参考になると考えている」といった回答がなされているように、今回の②と③は競争領域、①は協調領域（非競争領域）となっております。そこに重工4社として東レも加わる形で、熱可塑に関する日本の知見を高めていくという体制です。全部に関して入れるというのはなかなかNDA(秘密保持契約)の問題もありまして難しいところがあるため、重工4社が入っている形で①だけを行っているものをご理解ください。

【辻委員】 ありがとうございます。競合するところは多々あると思うものの、それぞれ各社さんが把握している、例えば海外の動向など国内での議論として共有し合ってもよい部分もあるのではないかと思います。質問いたしました。

【東北大_岡部 PL】 それに関しましては、私のほうで大体全ての内容を聞いて把握しております。ただし、機密に関することが漏れてしまえば、それはもう商売が成り立ちません。ですので、共有したほうがよいと思うものに関しては非常に注意深く行っているところです。

【渋谷分科会長】 ほかにご質問ございますか。横関様お願いします。

【横関委員】 東京大学の横関です。研究開発については非常に十分なマネジメントをされている印象を持ちました。質問としては、36ページの「2022年6月達成見込み」の箇所のところについて、要はもう今月がその時期にあたるということで、このあたりの状況で何か更新等があれば伺いたいです。また、先ほど知財の話もありましたが、恐らく欧米との競争がやはり必要であると考えます。知財をどのように持っていかは各社によるとは思うものの、そこについてきちんと各社が知財を取っていかれてマネジメントをしているなど、もし何か伝えてもよいような追加情報があれば教えてください。

【NEDO 材ナノ部_松井 PM】 まず「6月達成見込み」というところですが、実質細かいところまでは把握できておりませんが、そのとおりに至るということで伺っています。その詳細につきましては、午後からの非公開セッションで各事業者さんのほうからご確認いただけたと思われれます。また、特許戦略についてですが、これはもちろん非常に重要なテーマです。欧米や他国が先に開発して特許を押さえられてしまえば、この事業もなかなか前に進まないということにもなりかねません。ですので、特許戦略については各事業所さんがどういった状況になっているかを十分把握されておりますし、それより良い品質の物を早く開発して特許化につなげていくこととして NEDO としても推進したいと思っています。

【東北大_岡部 PL】 1点補足いたしますが、プロセスに関する内容の特許はノウハウの流出につながる可能性が高く、その点はどの事業者さんも非常に気をつけているところです。今回どの事業者さんも OEM に納入している経験をお持ちの会社ですから、そのあたりは既に経験があるものとして、我々としては信頼したいと考えております。

【横関委員】 ありがとうございます。ぜひいろいろと議論をしていただきながら進めていってください。

【渋谷分科会長】 ほかにご質問ございますか。

では、私のほうから少し伺います。最後の連携といったところで、岡部先生はよくご存じのことと思いますが、いわゆる欧米の連携の仕方と日本の連携の仕方とでは随分違う側面がございます。そういう意味ではマネジメントが大変だと理解できますし、例えば先ほど言われた研究項目①について、「これは協調である」という姿勢は非常によいものだと思います。そうなると、産学はよしとして、官についてはどうでしょうか。JAXA が最近統合のシミュレーション技術を非常に開発されておりますが、日本の中での産学官の連携に係るところについても何かあれば教えてください。

【東北大_岡部 PL】 我々としては、JAXA も入っていますから当然連携はしているものの、一方で少しデマケをしているところもございます。JAXA は、大規模数値計算であり、FaSTAR というツールを中心に押し出した大規模シミュレーションを強みにしています。我々としては、大林先生が最適設計に強みを持っているため、流体構造連成を考慮に入れた最適設計を取れる。そして、私自身もコミットしているわけですが、材料の強度だとか、構造に関しても構造強度の座屈、せん断座屈など様々あるこういった内容に特化している。そういう意味では、後ほどの午後の非公開セッションの中でも説明があると思いますが、今後 JAXA さんと十分に連携をしてやっていけるのではないかと考えている次第です。

【渋谷分科会長】 ありがとうございます。それでは、以上で議題 5 を終了といたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【渋谷分科会長】 それでは、議題 8 に入ります。講評をいただく順番につきましては、最初に横関委員から始まりまして、最後に私という順序でよろしく願いいたします。

それでは、横関様お願いします。

【横関委員】 本日は長時間にかけてご説明いただきありがとうございました。各研究開発項目の①から③について、そして取りまとめの NEDO 様、岡部先生をはじめとした皆様の取組につきまして非常によく理解いたしました。この熱可塑、あるいはマルチマテリアルに関する研究開発事業というものは、非常に国策としても重要なものと思います。ですので、この取組を、例えばデモで終わることなく、しっかり技術として積み上げていく覚悟を持って継続していただくと評価側としても大変ありがたいです。特に各機関、提案も含め、新規の取組の中ではいろいろな技術課題があります。しかし、それら自体が非常に成果なのではないでしょうか。ですので、その取組を可能な範囲で広く周知していただく、課題において他者と共有できる点についてはしっかりと連携の取れる仕組みも考えていただきながら進めていってほしいです。この中間までの間でいろいろと積み上げてきたものを継続し、ぜひうまくつなげていってほしいという非常にポジティブな印象を持ちました。以上です。

【渋谷分科会長】 ありがとうございます。それでは、西籾様お願いします。

【西籾委員】 この事業は、航空機において求められている環境問題や様々な課題に対し、それを解決するための要素技術、次世代の複合材料として特に熱可塑性 CFRP に重点を置かれているものです。主に

製造、成形と接合ということに正面から日本の基盤技術を高めよう、そして、さらにそれを設計ツールという形で落とし込んで世界にアピールをしながら国際競争力をつけていこうという趣旨だと理解しています。そういったことから、NEDOさんの本事業は妥当であると言えます。それによって、我が国が力をつける。そして若い人材が育ち、他産業の自動車やFA機器等がこの成果を見習って伸びていくことが大いに期待されます。私自身も熱可塑性CFRPの製造に関わる人間として非常に期待を持っている次第です。

熱可塑性CFRPの製造技術、接合も含め、欧州が確かに先行しているものと思われがちです。多くのプロジェクトがヨーロッパを中心にやられて、そして多くのベンチャーができて米国進出をというのですが、もともと既に国内の日本企業、航空機産業は随分前からスーパーエンブラを中心とする熱可塑性CFRPの製造技術をなされていました。ですが、あるところで中断をして別な方向に進んで止まっていたという悲しい過去があるようです。それを残念ながら今の世代に引き継いでいないという課題があります。そういった状況で、今回の実施者、特に大手の航空機部品製造会社さんの組立ての方々は、そのことを十分に認識され、単純に欧州の目新しい様々な革新的な成形や接合技術に翻弄されることなく、日本の金型や成形という基盤技術を確実に使い、他の諸外国よりも極めて高品質なものを求められるであろうということ、そちらを向いた研究開発の方策の下で行われているものと十分理解しました。ただ、各実施者が各実施者の研究開発項目を決め、そして目標設定をされています。諸事情はあるものの、ほかとの情報交換や連携という部分で残念ながら少なさを感じました。今後はそのあたりの連携を何らかの形で、このプロジェクト全体として一つでも二つでもよいので見えるものとしてつくり上げていただきたいと思います。

もう1点は、アウトカムの目標が最終的にはCO₂削減だということについて、具体的な出口商品、サービスが何なのかという部分で少しジャンプアップし過ぎているように感じました。決して設計ツールのソフトウェアを販売するわけではないと思います。何かそのあたりで具体的なCO₂削減に至るもの、成果物があれば一般の方々にも分かるのではないのでしょうか。中間評価とはいえ、申請の段階でどういう技術でどういった優位性があるのかを十分調査されているのですから、もう少し早い段階から特許申請や優位性を明確にされ、そして資料も非常に分かりやすいものを作られる必要があると思います。加えて、自社で造ったものを自社で評価するのではなく、もう少し科学技術的に認められるような測定や評価方法というのも今後重要ではないのでしょうか。それが結局は顧客企業である航空機メーカーさんの信頼を得ることにつながる。そして、それが若い人材にとっても納得を得ることにつながるプラスのスパイラルになると思います。後半では大きく改善いただき、大きな成果を上げてください。以上です。

【渋谷分科会長】 ありがとうございます。それでは、辻様お願いします。

【辻委員】 本日は長時間にわたり、様々ご発表いただき誠にありがとうございました。本事業は航空機分野で現在求められている今後の高生産レート、それから環境負荷への低減という市場のニーズ、社会的課題の解決にマッチした非常に重要なテーマを取り上げている事業だという認識を持っております。本日、個別の研究開発のご発表を伺った限りでは、一つ一つの技術開発は出口を見据えて着実に進められている印象を持ちました。引き続き最終的な社会実装に向かって気を緩めずにしっかりと進めていただきたいと思います。また、ほかの委員の先生からもコメントが出ておりますが、私も連携の部分において少し気になりました。個社の事業戦略、市場を取っていくというところではしっかり進めていると感じたものの、熱可塑性の複合材に関する研究開発といった共通テーマとして取り扱っている事業ですから、個別のプロジェクト実施者間で、例えば競合するような海外動向をフォローするといったところでは協調領域としてできる部分もあると思います。あるいは、国内で国際的な標準化活動にも一歩踏み出していけるところがあるのか、ないのか、といった議論もできるでしょうか。

個社の市場シェアを取っていく、事業戦略を確保していくという部分に併せて、日本として国内産業として強くなるための仕掛けも今後少し考えていっていただけるとよりよいものになると思います。以上です。

【渋谷分科会長】 ありがとうございました。それでは、田中宏明様お願いします。

【田中委員】 本日は長い時間にわたってご説明をいただき、本当にありがとうございました。日本の航空機産業の将来に向けた非常に重要なテーマとして、各事業者様ともに順調な技術開発を進められている印象を持ちましたし、非常に勉強になった次第です。一方で、各技術の背景にある学術的な理論といった部分に対する理解が深められると、より効率的に開発ができるのではないかと感じました。そういう意味では、やはり産学の連携をもう少し取られるとよいのではないのでしょうか。学が持っているような知見をきちんと生かしていったのなら、ますますよいものができると思います。このプロジェクトには岡部先生をはじめとした非常にすばらしい研究者の方々が多く入られていますから、プロジェクトの運営上の難しさは理解した上で、ぜひ何らかの形で産学の連携を深められるような検討をしていただきたいです。どうぞよろしく願いいたします。

【渋谷分科会長】 ありがとうございました。それでは、荒井様お願いいたします。

【荒井委員】 本日は長時間にわたり、ご説明いただきありがとうございました。まさにこれから次世代機のナローボディのところであれば航空機需要の大半を占めるということで、これを日本の航空産業が取れたのなら非常に大きなことだと思っています。そういう意味では、足下の計画については計画どおりに進捗していますし、将来の需要家である海外の OEM とも直接話をしながらニーズをつかんでいるというところは非常に評価できる部分です。一方で、このナローボディの分野というところは非常にマーケットが大きいので、やはりお膝元の欧米の Tier 1 企業が狙っているところですので、今後そこをしっかりと取っていくためには技術的なところに加え、低コスト化も必要になってきます。やはり 1 社では取組に限界もありますから、まさにオールジャパンといったところで、日本の企業間、そして産官学でしっかり連携して推進いただきたいです。また、計画を達成すればよいということだけでなく、より高みを目指していただき、将来的にしっかりとこの需要を確保できるように今後も推進していただけたらと思います。以上です。

【渋谷分科会長】 ありがとうございました。それでは、田中和人様お願いします。

【田中分科会長代理】 同志社大学の田中和人です。本日はどうもありがとうございました。熱可塑の CFRP の研究開発について、従来日本においては熱可塑 CFRP のプリプレグをつくるということに皆さん着目しており、そのあたりの技術開発は非常に進んでいたものの、用途開発というところまではなかなかできていなかったというところだと思います。今回、熱可塑の CFRP において一番厄介な成形、あるいは接合といった技術開発について、日本を代表とする航空機部品メーカーが取り組まれているという、この内容につきまして NEDO として推進されていることが非常に重要なところですが、ただ、一方で熱可塑樹脂を扱っている者としては、熱可塑だけ未来が明るいわけではない、やはり熱硬化、それから金属も含めてマルチマテリアルでやっていくというのが非常に重要だと思っています。そのあたりも考慮されている設計ツールの開発であるとか、接合技術の開発を含めてやっておられるというのも非常に重要なことと考えております。ですので、決して熱可塑だけに特化される必要はないのではないのでしょうか。

また、熱可塑のみで考えていると、やはり最終的なデモンストレーターをつくるころでは欧米が先行しているのが事実です。その中で、その技術を回避する、あるいはその技術にキャッチアップするだけではなく、その技術とは違った新しい視点、新しい技術を取り入れた上で実用化に向けた取組をされている内容としては高く評価できます。ただ、一方で企業 1 社ごとがそれぞればらばらでやられているようなところを感じました。競合他社になる面で難しい部分もあるとは思いますが、金型メーカ

一であるとか材料メーカーであるとか、そういったところでチームを組んでやられるのも一つです。今から新たにそこを加えて行うというのは難しいことかもしれませんが、そういったことでももう少し技術開発が進むのではないかと思うため、ぜひご検討いただければと思います。以上です。

【渋谷分科会長】 ありがとうございます。それでは、私から講評いたします。まずは、本今朝から長時間となりましたが、委員の先生方ありがとうございます。まず講評の1つ目は、委員の先生方お一人お一人が先ほどコメントをさせていただいたことの集積に尽きるものと思います。先日の現地調査から今日に至るまで、関わった方々から非常に丁寧なプレゼンをしていただきました。書面で見ただけでは理解が難しかった部分を、現地調査と本日の説明内容とを併せて我々としての理解が非常に深まることを改めて実感しております。熱可塑性CFRP そのものは私の専門ではございませんが、この材料は界面という欠陥を入れる材料になります。私は力学の専門ですから、そういう意味では非常に大きいチャレンジをされているという理解です。これをNEDOが指揮を執り、国としてやっていく内容であるというのを非常に強く感じますし、学術的にも、現実につくる上でも全てにわたって非常に複雑な問題であり、適切な課題だと捉えています。

2つ目は、今日は中間評価ということで皆さんから進捗状況を拝聴しました。進捗状況に多少の差はあるものの、全般的には順調な成果が収められていると思います。航空機産業というのは非常に若い人にとっては魅力がございます。中学生、高校生等も含めて日本の将来を担う若い人たちが、このNEDOの活動をしっかりと見ていく形になるでしょうし、そういう意味でも期待いたします。しかし、その一方で、どうしても日本型の進め方という部分で気になるところがございます。以前からよく議論されていることですが、先ほど来、委員の先生方からもご指摘がありましたように、少し縦割りになっている、もしくは相互理解が不十分であるといったことなどが多々あります。よくドイツと比較されるものですが、日本独自のプロジェクトの進め方があってもよいはずですが、自動車分野、半導体分野、それぞれの分野によって産業構造は違うとは思いますが、ぜひ航空機産業という分野でNEDOが加わることによって、日本全体の産業構造を変革していくぐらいのインパクトを与えていただきたい。そうすることによって日本の将来が描けるのだということを我々に示す、あるいは市民や社会に示していただくことが非常に重要だと思います。加えて、昨今品質管理の問題で日本の企業が抱えている企業倫理的問題もございますが、そういうものに対して、やはりものづくりの上で品質が最も重要であるということのを再認識するという課題でもあるように感じます。本日はいろいろと勉強をさせていただきありがとうございました。以上です。

【緒方主査】 ありがとうございます。ただいまのご講評に対し、推進部長及びPLから一言ずついただきたいと思います。まずは、材ナノ部の林部長からお願いいたします。

【NEDO 材ナノ部_林部長】 委員の皆様、本日はお忙しい中にもかかわらず、長時間にわたるヒアリング、そしてご講評を頂戴いたしましたことに御礼申し上げます。貴重なアドバイスを賜ったものと捉えています。私自身はこの4月から部長を務めておりますが、改めて航空機産業というものをよくよく見渡すと、日本の企業の方々がまだチャレンジをしている段階ということが本日の内容の中でも正直多々見受けられた印象です。一方で、企業によっては既に実績も積まれ、納入実績も含めて持つておられるところもございます。ここをいかに伸ばしていけるか、あるいは伸ばしながら航空機産業の全体としてどう底上げをしていくかが重要です。その両面について、今この場ですぐに回答や提案として申し上げることは難しいですが、しっかり考えてまいる所存です。終了評価は3年後になりますが、よい評価をいただけるに値するものとして進めていけるよう今後とも精進してまいります。改めて、本日は誠にありがとうございました。

【緒方主査】 続きまして、岡部PLお願いいたします。

【東北大_岡部 PL】 委員の皆様方、本日はお忙しいところ長い時間を頂戴いたしましたことに感謝申し上

げます。今日の中では事業間の連携という部分に係る意見を非常に多くいただきました。先生方からお言葉をいただいた事柄に関しては、私としても積極的に取り組んでいくべきものと感じております。まず横関委員からは、「デモで終わらせずに社会実装までを」というコメントをいただきました。今後その言葉を肝に銘じながら進めてまいります。西籾委員からは、「そもそも重工にあった技術であるにもかかわらず、それがなくなってしまったのはどういうことか」、また「各実施者の連携、CO₂という部分ではきちんと見える化を」というご指摘をいただきました。これは大変重い言葉だと受け止めており、ぜひこれからの運営に反映していきたいと思っております。実施者の連携にあたっては、「第三者が評価等をするのがよいのではないか」というヒントも頂戴いたしました。このあたりも反映できたらと思っております。辻委員からは、「国内外の動向として、横連携も含めて何らかの情報共有というのはできないものか。航空機産業としての日本の国力向上をもっと意識すべきではないか」とのことでした。この中間評価が終わり、もし継続のお許しを得た際には、一度できるだけ主要なメンバーを招集し、今回いただいた内容を共有する機会をつくる必要性を感じています。田中委員からは、学理、理論の部分でのコメントを賜りました。特に今回は力学が多いように思いますが、「力学の部分での学の貢献」ということで、この部分に関しては予算化できるどうか等はまた別問題とし、学をどうやって入れ込んでいくのか、もしくは協調領域である①がどうやって②と③をサポートできるのかというところも、NDA 等いろいろ問題はあるものの、松井 PM と相談をしながら議論をしていきたいと思っております。荒井委員からは、「これから欧米が進んでくる中で、オールジャパンとしてどのように強みを出していくのか」といったお話をいただきました。このあたりについて、何だかんだ言っても私も大学の教員でありまして、なかなかその辺を捉え切れていないところもございます。ですので、今後も委員の方々からはご指導いただけたら幸いです。田中会長代行からは、「もともと今までプリプレグをつくる場所で精いっぱいだったところで今回用途にいったが、熱可塑にこだわる必要はない」という助言をいただきました。それは、もう全くそのとおりで思っております。ボーイングは、熱可塑はセカンダリーだと思っているようです。そのあたりも含めて、熱硬化、熱可塑、マルチマテリアルをと思っております。特に、今日の中ではお話しをしておりませんが、①の東北大学のところではアルミのときの設計も全部しております。彼らのグループが MRJ の設計をしていたため、そのあたりの情報もリンクさせながらももう少し見える化を図っていけたらと感じました。渋谷会長からは、「日本型の産業構造をどうやって変革できるのか」ということで、非常に重い宿題をいただいたものと受け止めていますが、小さな一歩からでもやらなければ何も始まりません。繰り返しになりますが、これだけ今日の中で横通しの必要性について意見をいただいていますから、本当に各事業者を一度全て集める必要があると思っております。これは、私として大分お墨付きをいただいたような気持ちです。どういうことであれば連携できるのかを皆で考える機会を設けなければいけません。そのときに西籾先生がおっしゃっていた「欧米のまねではない日本の技術を何とか出していこう」というメッセージも各事業者にお伝えできればよいのではないかと思います。私の力不足でなかなか連携がうまくできていないところをご指摘賜りましたことも含め、改めてもう一度気を引き締め直し、各事業者と密にコンタクトを取っていきたいと思っております。以上です。

【緒方主査】 ありがとうございます。

【渋谷分科会長】 それでは、以上で議題8を終了といたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

- 資料 1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料 3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料 4-1 NEDO における研究評価について
- 資料 4-2 評価項目・評価基準
- 資料 4-3 評点法の実施について
- 資料 4-4 評価コメント及び評点票
- 資料 4-5 評価報告書の構成について
- 資料 5 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
- 資料 7-1 事業原簿（公開）
- 資料 7-2 事業原簿（非公開）
- 資料 8 評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」 (中間評価) 分科会

ご質問への回答 (公開分)

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答	委員氏名
資料 6-1 の研究 開発テーマ①の 機体設計シミュ レータ	機体設計に関わる CAE の開発 ですが、シミュレータ自身の解 の検証と妥当性確認(V&V)の 方法について教えて下さい。す でに、その検証例があります と、例示願います。	機体設計シミュレータの妥当性は、シミ ュレータによる設計解と参画企業の有 する設計知見を比較し検証すること を計画しています。Validation の観点から は、既に株式会社 SUBARU が主翼設計 シミュレータを自社内で実行し、熱硬化 性 CFRP を用いた従来機の主翼設計知 見と比較して妥当な結果 (主翼表面板厚 分布等) を得られることを確認していま す。また、胴体設計シミュレータについ ても川崎重工業株式会社が自社内で実 行し、既存の設計プロセス (汎用ソフト ウェアを使用) に基づく結果との比較を Verification の観点から進めています。 また、機体設計シミュレータの要素とし て組み込まれているバーチャルテスト インテグレーションツールについても、実験結果との 比較検証を行いつつ (Validation)、また 可能な範囲で既存の汎用ソフトウェア (NASTRAN/Abaqus) との比較を行う ことで妥当性 (Verification) を確認して います。	渋谷陽二
すべての研究開 発項目について (質問Aと称す る)	熱可塑性 CFRP の研究開発に ついては、残念ながら、欧米が 明らかに日本よりも先行して いると理解している。そのた め、まずは追いつくための様々 なプロジェクトを実施するこ	【東北大学】 仰るとおり熱可塑性 CFRP の研究開発 は欧米においても活発に行われている ことは事実です。例えば欧州の Clean Sky 2 プロジェクトでは、Multi- functional fuselage demonstrator	田中和人

	<p>とは必要不可欠と考えるため、本事業は NEDO が推進していくべき重要な事業と考える。</p> <p>その上で、それぞれの研究開発項目に関して、従来技術の熱硬化性 CFRP や金属ではなく、欧米の熱可塑性樹脂複合材料に関する研究プロジェクトにおける競合技術、競合知的財産についての把握が十分ではないと感じられる。それぞれの開発項目について、可能な限り上記内容の把握状況とそれを踏まえてそれぞれの独創性にも言及いただきたいと考えますがいかがでしょうか。</p>	<p>(MFFD) として、実際に熱可塑性 CFRP による胴体構造を製作することを目指しています。また、NIAR(米ウィチタ州立大学国立航空研究所)では、熱可塑性 CFRP の基礎特性値取得が行われ、データが公開されています。しかし、全機構造の部分・全体的に熱可塑性 CFRP を用いて設計最適化を行う CAE 技術を航空重工と協働し開発する例は見られません。また、欧米の熱可塑性 CFRP の研究開発状況は Toray Advanced Composites (旧 TenCate Advanced Composites) を擁する東レ社が実質的に全て把握しており、競合技術、知的財産権に関する情報管理は東レ社を通じて十分に行えていると考えています。</p> <p>(NEDO 質問回答補足資料 P1~4 をご参照ください)</p> <p>上記の状況を踏まえまして、本研究開発項目では、材料非線形性・破壊モード等も含めた詳細データを自ら取得することで、バーチャルテスト(解析技術)の確立・評価を進めています。とくに、熱可塑性樹脂に特有の成形方法・条件による熱履歴の影響、耐環境特性の変化、プレス成形時の繊維配向の乱れの影響等の評価すべき項目は多く、これらの物性値を体系的にデータベース化することが重要であると考えています。これらのデータベースは欧米でも整備されていないものであり、熱可塑性 CFRP を社会実装する上では必要不可欠なものであると認識しています。ここで得られたデータベースを活用することで、熱可塑性 CFRP の材料特性を考慮した全機設計が可能になると考えています。</p>	
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

<p>研究開発項目① について</p>	<p>タイトルでは「複合材」と記載されているにもかかわらず、内容的には、熱可塑性 CFRP に寄った記載がされており、目的などが曖昧に感じます。熱硬化性 CFRP, 熱可塑性 CFRP に係わらず複合材を利用する上での課題とその解決方法としての開発内容を明確にさせていただいた上で、熱可塑性 CFRP にも応用可能な柔軟性をもったツールの開発をしていることを記載してもらった方がわかりやすいと思いますが、いかがでしょうか。</p>	<p>本研究開発項目の第 1 期 (2015~2019 年)にて熱硬化性 CFRP による主翼設計を実施していました。そこで第 2 期の今回は、熱可塑性 CFRP を用いた機体の全機設計を目的に設定しています。熱硬化性 CFRP に関しては、これまでにオートクレーブでの成形プロセス、機体構造の生産プロセス、材料特性 (物性値や損傷・破壊メカニズム) について国内外で多くの知見と実績が蓄積されています。一方、熱可塑性 CFRP を用いた機体製造においては、高レート生産の観点からプレス成形も活用される見込みであることに加え、成形方法や条件によって熱可塑性樹脂の物性も大きく変わることが予想されます。さらに、熱可塑性樹脂の有する材料非線形性や高い靱性も考慮した構造設計が不可欠です。このように熱可塑性 CFRP では設計に際して新たに考慮すべき観点が多く存在し、これらを取り込んだバーチャルテストングツールおよび機体設計ツールを整備していくことを考えています。また、本ツールは熱硬化性 CFRP を対象とした解析にも対応した柔軟性の高いものです。</p>	<p>田中和人</p>
<p>研究開発項目① について</p>	<p>シミュレーション技術および解析ツールの開発において、熱硬化性 CFRP と熱可塑性 CFRP で何が異なるという前提で開発されているのかがよく分からないと感じました。例えば、材料特性なのか、成形方法に起因することなのか、あるいは、材料特性に応じて構造が抜本的に変わるということなのか、材料特性に起因した損傷解析コードの問題だけなのか。</p>	<p>材料特性および成形方法の違いの双方に応じた検討が必要と考えています。材料特性の観点では、熱可塑性樹脂は熱硬化性樹脂に比べて材料非線形が大きく、弾性解析の設計は危険側になる可能性があると考えられます。従来設計では考慮されていない、弾塑性、粘弾性あるいは幾何学的非線形解析をも考慮に入れた検証も必要となる可能性があります。また、高い層間破壊靱性に起因して面外損傷が出にくいなど、設計のクライテリアの変更の余地もあります。今後検討を予定している耐環境 (Hot/wet) 試験、長</p>	<p>田中和人</p>

		<p>期耐久性試験の結果次第では、これまでとは異なる設計基準も考える必要が出てくると考えています。</p> <p>成形方法の観点では、航空機用途（特に主翼）ではオートクレープの利用が必要ですが、高レート生産化の点でプレス成形の利用も想定されます。オートクレープ/プレスによる成形の均一性（繊維配向）の影響や降温速度の違いによる母材樹脂の結晶化度の変化やそれに伴う複合材料の物性値への影響を検討する必要がありますと考えています。上記の観点で想定される熱可塑性 CFRP 特有の材料物性について実験評価を通して体系的なデータベースを構築し、これらを予測可能な解析ツールに仕上げていくべく解析コードの開発を進めています。</p>	
資料5 P10-12	研究開発項目①、②、③に関してそれぞれのテーマ間での連携可能性があればご教示下さい。	<p>【東北大学】</p> <p>岡部 PL のもと、①は設計、②は成形、③は接合、と役割分担をしており、プロジェクト全体として連携が図られています。</p>	荒井誠
資料5 P10-12	研究開発項目①、②、③に関してそれぞれのテーマ間での連携可能性があればご教示下さい。	<p>【川重】</p> <p>岡部 PL のもと、①は設計、②は成形、③は接合、と役割分担をしており、プロジェクト全体として連携が図られています。</p> <p>その中で、川崎重工業は①および②に携わっております。</p> <p>例えば、研究開発項目①で実施している「熱可塑 CFRP を対象としたバーチャルテスト技術開発」にて取得する材料の基本特性等は、研究開発項目②においても参考となると考えております。</p>	荒井誠
資料5 P10-12	研究開発項目①、②、③に関してそれぞれのテーマ間での連携可能性があればご教示下さい。	<p>【東レ】</p> <p>研究開発項目①には、再委託先として弊社も参加させていただいております。</p> <p>現時点で具体的な連携計画はありま</p>	荒井誠

		<p>せんが、本技術は航空機機体のマルチマテリアルを訴求しており、熱可塑性CFRPの開発テーマとの親和性は高いと考えています。</p> <p>研究開発項目②との連携について直接的な言及はせず、特定メーカーへの本技術の紹介、ディスカッションは始めております。</p>	
資料5 P45	<p>設計シミュレータはどの航空機メーカーでも使える形若しくは主要OEM/主要機体毎に複数存在する形のどちらを想定しているのでしょうか。</p>	<p>設計シミュレータは、東北大学流体科学研究所航空機計算科学センターで管理され、国内メーカーが有償で利用可能な形に整備する予定です。</p>	荒井誠
資料7-1 別添5 P13	<p>UAM や UAV への応用展開可能とのことですが、開発が先行するUAM や UAV での実装を先行させる可能性の有無についてご教示下さい。</p>	<p>航空機用途での実用化には、極めて高い技術の成熟度と信頼性が要求されるため、UAM、UAV またはドローンといった開発が先行する分野で技術実証を進めると共に実績を蓄積することはむしろ必須と考えております。</p>	荒井誠
公開資料5 P.7	<p>実施の効果として、2040年のCO2排出削減量が記載されていますが、この削減量(1500万トン)はどのように見積もられたのでしょうか？</p>	<p>詳細な算出根拠に関しては、非公表を前提に提供されたデータも含まれるため差し控えさせていただきますが、2017年度の細胴機の年間CO2排出量、本PJの成果が搭載された新型細胴機のCO2削減効果、及び2040年の新型細胴機の運航機数(6000機と仮定)を加味して算出しております。</p>	田中宏明
公開資料5 P.21 他	<p>「機体設計技術の開発」に関して、テーマ①熱可塑性CFRPを用いた機体設計シミュレータとテーマ②のバーチャルテスト技術を将来的には統合されるものと思いますが、その場合は①で設計したものを、②で仮想的に試験することが可能になるのでしょうか？</p> <p>それとも、②での試験結果得</p>	<p>本プロジェクトでは、②でのバーチャルテストにより得られる材料特性評価結果を①にフィードバックする形で統合となります。②のバーチャルテスト技術を機体全体に拡大するには、一層の研究開発が必要です。</p>	田中宏明

	られる材料特性評価結果を①にフィードバックする形での統合となりますでしょうか？		
公開資料 5 P.33,34	「機体部材の高レート成形技術の開発」に関して、長さ1500mm 程度のスキンとストリンガーを一体成形する技術(②, ③)に関して、②は達成済みとなっておりますが、③でのボイド率の改善に課題が生じた場合に、②まで含めて再検討する必要がある可能性はないでしょうか？	③の問題は、局所的に発生しており、目標を達成できている部分も多いため、コンセプトそのものの問題ではないと考えています。 治具形状の改良で改善できる見込みです。	田中宏明
公開資料 5 P.44～	今回開発されている各技術に関して、開発終了後に達成される技術TRLについて、見込みをお教えいただければと思います。	【東北大学】 研究開発テーマ①、②ともにTRL4を見込んでいます。本プロジェクトで成果物となるソフトウェア群は、②でのバーチャルテストによる材料特性評価結果を①の機体設計シミュレータにフィードバックする形で統合するため、①のシミュレータで設計する機体を実機スケールで製作し試験することには至らないことからTRL5には達しないと判断しています。しかし、シミュレータ内では全機構造の実機スケール検証を行うツールとして構築することから、TRL4を見込めると判断しています。 (NEDO 質問回答補足資料 P4～5 をご参照ください。)	田中宏明
公開資料 5 P.44～	今回開発されている各技術に関して、開発終了後に達成される技術TRLについて、見込みをお教えいただければと思います	【川重】 開発終了後に達成される技術TRLについては以下を目指しております。 ・研究開発項目：A 自動積層技術、装置の開発については、TRL4相当以上。 ・研究開発項目：B 成形技術の開発については、TRL4相当以上。	田中宏明

<p>公開資料 5 P.44～</p>	<p>今回開発されている各技術に関して、開発終了後に達成される技術TRLについて、見込みをお教えいただければと思います</p>	<p>【東レ】 航空機用途への適用の観点から TRL3 に該当する見込みです。</p>	<p>田中宏明</p>
<p>公開資料 7-1 別添 1</p>	<p>「機体設計技術の開発」テーマ②のバーチャルテスト技術に関して、破壊強度等の評価を行っておられますが、最終的には設計に利用したい物性値のうち、どのようなものがバーチャルテストで得られるようになるのでしょうか？</p>	<p>検証を行うことで、設計で利用する様々な基礎物性値への応用が可能となります。まずは、機体設計に必要な平板の有孔引張 (OHT)、有孔圧縮 (OHC)、衝撃後圧縮 (CAI) の強度および破断ひずみ (OHT、OHC は剛性も含む) に関する室温大気下条件および Hot/wet 環境条件の物性をバーチャルテストで得られるように検証を進めています。</p>	<p>田中宏明</p>
<p>研究開発項目① 研究開発テーマ①</p>	<p>機体設計シミュレータの社会実装に向けては、ツールに関する評価や要望について、開発過程で海外機体 OEM と議論・連携することが必要ではないかと思われました。海外 OEM との連携は行ってらっしゃるのでしょうか？</p>	<p>海外 OEM との連携は、参画企業各社がそれぞれ伝手を持ち、連携されています。東北大学としては、ワシントン大学との連携を通じ、FAA や Boeing 社にアプローチしています。</p>	<p>辻 早希子</p>
<p>研究開発項目③</p>	<p>プリプレグをファスナー締結する組立工程に要する時間に対して、開発している熱溶着プロセス導入によって、組立工程全体でどの程度の時間短縮が期待されますか？ また、生産レートの優位性に加え、開発技術の導入による重量削減等の副次的効果も期待できないでしょうか。</p>	<p>(1) 組立時間短縮効果 組立工程は、適用する部材によって異なるため、時間短縮効果を統一的に示すことは困難です。本事業では、航空機構造全体として、現行 CFRP 機体対比で工程時間半減を目標としております。これは、アルミ機体に匹敵する高レート生産の目安として設定したものであり、本事業後半において開発した高レート生産プロセスの定量化を行い、アルミ機体との比較・検証を実施する計画です。 なお、開発モデルであるデモンストレーター (11 部材の接合) の例では、熱溶着で約 20 分での組立を実現しております。</p>	<p>辻 早希子</p>

		<p>(2) 重量削減の副次的効果</p> <p>ご指摘の通り、本技術の導入によって、ファスナーレス（本数削減を含む）、接着材レス、シムレスなど本質的な構造軽量化が進むものと期待できます。</p> <p>また、熱硬化性 CFRP と熱可塑性 CFRP を適材適所で使用可能とするマルチマテリアル系構造を実現できるため、機体のシェイプアップによる副次的な軽量化も期待しています。</p> <p>実際の重量減少効果は今後詳細に検証していく必要があります、まずは検証モデルの1形態であるデモンストレーターの完成度を高めることに専念しています。</p>	
資料6-1 ・全体	熱可塑性 CFRP 特有の機体設計・解析技術とは何か？熱硬化性 CFRP とは異なる点を明確に説明頂きたい。	熱可塑性 CFRP は熱硬化性 CFRP に比べて靱性が高く層間はく離の損傷が出にくい、材料非線形性が無視できない、環境劣化・疲労特性も検討の余地があるといった特徴を有しております。これらの材料特性をバーチャルテストで予測（解析技術）し、熱可塑性 CFRP の特性を生かした機体の構造サイジング（機体設計）を行います。	西薮和明
資料6-1 ・全体	本解析技術開発と他の熱可塑性 CFRP の製造技術開発テーマとの関連性は何か？本プロジェクト課題名にある創製・成形技術開発にどう寄与するかを明確に説明頂きたい。	プロジェクト全体で、①は設計、②は成形、③は接合と役割分担をしています。①は、熱可塑性 CFRP の機械特性・強度のデータベースと熱可塑性 CFRP の特性を活かした機体設計を行える CAE 技術により、新たな航空機体構造の創製に寄与することができます。	西薮和明
公開資料5 p21-24	テーマ①（機体設計シミュレータ）とテーマ②（バーチャルテスト）の関係性をわかりやすく説明をお願いします。①と②が開発された際に、どのように連携をとるツールとなるのでしょうか。	①は設計ツールの開発、②は物性データベース構築+構造解析ツール開発です。②は①の構造解析に使用されるとともに、将来の認証ツールを目指して開発されるものです。	横関智弘

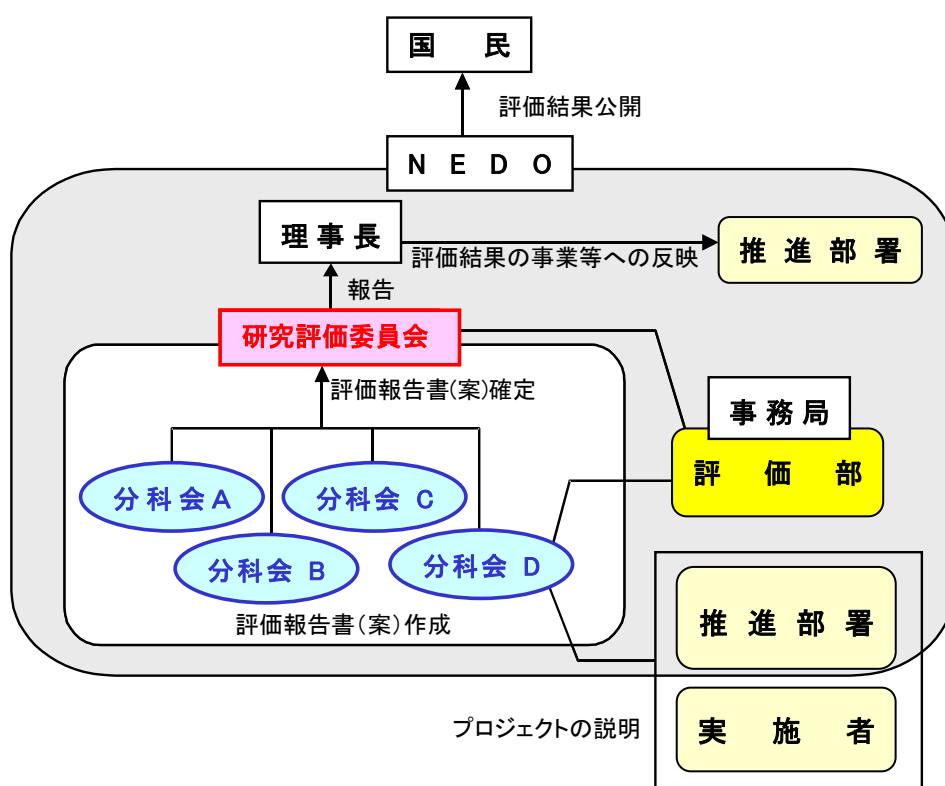
<p>公開資料 5 p.37</p>	<p>熱溶着時の寸法誤差について、厚み以外に、構造の反りなどの寸法誤差についての検討は必要ではないでしょうか？（考慮しなくても大丈夫ということでしょうか）</p>	<p>ご指摘の通り、構造の反りは重要な課題として認識しており、共同実施先の産総研にて非接触寸法検査による定量化の可能性を検討しております。また、反りの解析モデルには一定の知見があり、欧州で開発が先行する熱可塑性 CFRP 同士の熱溶着検討における対策やノウハウを取り込むことも期待できます。</p> <p>一方、熱溶着の出来映えを評価する上で、接合強度と厚みの寸法変化はトレードオフとなります。すなわち、部材の溶着面を強く加圧することで高い接合強度が得られる反面、厚み方向へは型崩れが発生します。</p> <p>熱可塑性 CFRP 同士の熱溶着でも同現象を確認（先導研究）しており、溶着条件設定の最重要指標（決め手）ととらえ、中間評価の目標値に採用しました。</p>	<p>横関智弘</p>
------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進するとしている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外する。これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」に係る 評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化の戦略に基づき、実用化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・技術の取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図っているか。
- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

「実用化」の考え方

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。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」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)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「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。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

- ・ 継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「次世代複合材創製・成形技術開発①②③」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【1】 研究開発項目によっては、機関間連携や各研究開発項目に共通する技術や知見の共有に向けた取組みが見て取れなかったことから、各機関が開発する材料や構造要素に関しては、成形・製造のデモンストレーションだけでなく、材料特性や構造強度特性といった取得すべき基礎特性の知見の共有化を、可能な限り図ってほしい。</p> <p>さらに、加工等で問題となっている現象に関しては、産学官連携等の推進を図ることにより、開発の効率を上げ、日本全体の複合材技術力向上や人材育成につながる取組みも期待したい。</p> <p>【2】 多くの成果がノウハウを含む内容であり、秘匿の事情は理解できるものの、今のところ積極的な成果の情報発信が行われていない感がある。今後、可能な範囲で、論文、国際会議、国際標準化、特許出願、プレスリリース等を通じて、公開できる成果は世界や国民に向けて積極的に発信し、国民の関心の喚起、海外との交流の深化、日本のプレゼンス向上に努めていただきたい。</p> <p>日本の技術力向上や産業の創出を図る基盤力のためにも、目標の達成度を評価するだけでなく、研究過程において得られた失敗や教訓などを共有化する努力や活動に期待したい。</p>	<p>【1】 一部の事業者では機関間の横連携を実施しているが、他に横連携の可能性がないかヒアリングを実施していきます。</p> <p>産学官連携等の推進については、シンポジウム等で、事業成果を発表する事により外部の関係者と交流を図ることで技術の向上と人材育成につながる取組みを推進していきます。</p> <p>【2】 事業者の秘匿の事情で情報発信ができない事業者もあるが、今後、事業戦略を踏まえ、論文、国際会議、nanotechなどの展示会等を通じて積極的に情報発信を推進していきます。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【3】 熱可塑性 CFRP を、航空機産業に寄与する製品に仕上げていくことはもちろんではあるが、その応用性はより広範囲にあると考えられる。航空機以外の輸送機器や機械装置の軽量化など、例えば UAM、UAS 等の新しいモビリティや他業界への適用可能性があるため、これら周辺業界のニーズも把握していただきたい。</p> <p>さらに、研究開発過程で得られた金属にない熱可塑性 CFRP の特性を、種々の広報手段等により伝え、新たな適用範囲を開拓していただきたい。</p>	<p>【3】 残り 2 年で航空機産業に寄与する製品に仕上げていきます。航空機以外のモビリティなどへの適用可能性については、周辺業界のニーズを調査するとともに、金属にない熱可塑性 CFRP の特性を PR していくことなどにより、新たな適用範囲を開拓していきます。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 森嶋 誠治

担当 緒方 敦

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162