



グリーンイノベーション基金事業／次世代航空機 の開発

2023年度 WG報告資料

2023年10月10日

材料・ナノテクノロジー部

目次

- 1．プロジェクトの概要
- 2．プロジェクトの実施体制
- 3．プロジェクトの実施スケジュール
- 4．プロジェクト全体の進捗
- 5．実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見
- 6．プロジェクトを取り巻く環境
- 7．NEDOによる社会実装に向けた支援に関する取組状況

（参考 1）プロジェクトの事業規模

（参考 2）研究開発進捗のマイルストーン

1. プロジェクト概要

- 航空分野における脱炭素化の要請に基づくグリーン技術へのシフトを、我が国航空機産業の競争力を飛躍的に強化する機会として捉え、「水素航空機向けコア技術」と「機体軽量化技術」に係る研究開発を実施する。

研究開発項目 1

水素航空機向けコア技術開発

研究開発内容①

水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発

研究開発内容②

液化水素燃料貯蔵タンク開発

研究開発内容③

水素航空機機体構造検討

研究開発概要

水素を安全かつ安定的に燃焼させつつ、NOx 排出量を低減（CAEP/8 比 54%）させるとともに、航空エンジンに必要な軽量化・安全性・信頼性要求を満たす、水素燃焼に適した航空エンジン燃焼器及び気化器等の付随部品を開発を行う。

従来燃料の約4倍の体積を必要とする液化水素燃料タンクの重量増加を抑える（水素重量の2倍以下）とともに、タンク内液面揺動による重心移動及びタンク圧力の変化抑制、気密性・信頼性の確保、極低温対応といった課題を解決する液化水素燃料貯蔵タンクを開発を行う。

水素航空機は既存航空機と比較して体積が4倍程度のタンクや極低温燃料に適合した構成品が必要になる等、機体構想全体の再考が必要となることから、水素航空機の成立性を考慮したベース機体（TRA: Technical、Reference、Aircraft）を策定する。

研究開発項目 2

航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発

現状航空機構造に大量に使われているボルトやナット等の接合部品の低減に向けた接着面の信頼性向上等による軽量化及び、複合材積層内部に発生しているリンクル（しわ）の低減等の材料成型技術の高度化によって部材強度の大幅な向上を実現する複合材製造技術を開発する。

アウトプット目標

- 事業終了までに水素航空機向けエンジン燃焼器、液化水素燃料貯蔵タンク等の水素航空機の成立に不可欠なコア技術についてTRL6 以上
- 事業終了までに中小型航空機の主翼等の重要構造部材について、①既存の部材（金属合金）から約 30%の軽量化（既存の複合材部材と比較すると約10%の軽量化）、②更なる燃費向上に向けた複雑形状・一体成型に対応するための強度向上（設計許容値を 1.1 倍~1.2 倍）を両立した上で、TRL6 以上

2. プロジェクトの実施体制

- 研究開発項目 1 については、川崎重工を中心に各社専門技術を活用して研究開発推進。
研究開発項目 2 については、異なる対象部位、異なる対象素材にてそれぞれの研究開発推進。

研究開発項目 1 : 水素航空機向けコア技術開発

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
<u>水素航空機向けコア技術開発</u> ・ 川崎重工業株式会社（※） 再委託：日機装株式会社 株式会社キッツ 住友精密工業株式会社 共同実施：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）	研究開発内容①、②、③	2021年度～2030年度

研究開発項目 2 : 航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
<u>航空機主要複合材構造部品の軽量化・生産高レート化・複雑形状化に関する研究</u> ・ 三菱重工業株式会社（※） 共同研究：国立大学法人東北大学 国立大学法人東京大学	—	2021年度～2030年度
<u>熱可塑複合材料による軽量構造の開発</u> ・ 新明和工業株式会社（※）	—	2021年度～2025年度

（※）WG出席企業

事業の目的・概要

- ① 地上用水素ガスタービン開発の知見を生かして、気化器・燃料制御システムなどの補機を含めて水素航空機向けエンジンシステムとしての成立性を実証する。さらに、将来予想されるNOx規制値にも対応可能な航空エンジン用水素燃焼器を開発する。
- ② 液化水素燃料貯蔵タンク開発のため、タンク構造軽量化に必要な薄型断熱構造、燃料供給艀装構造、タンク支持構造、タンク内の温度・圧力制御システムに係る研究開発を実施する。
- ③ 風洞試験や各種システム試験を活用しながら、2,000～3,000kmの航続性能を有する水素航空機のベース機体TRA (Technical Reference Aircraft) を策定する。

実施体制

- ①,②,③ 川崎重工業株式会社

事業期間

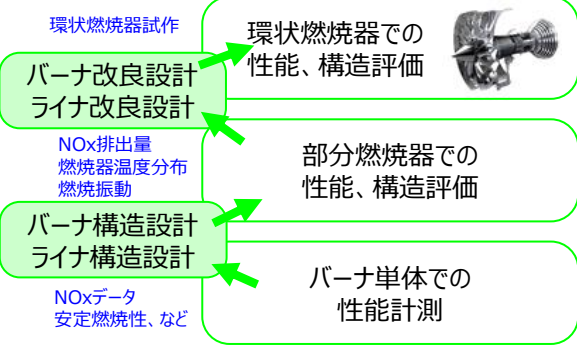
- ①,②,③ 2021年度～30年度 (10年間)

事業規模等

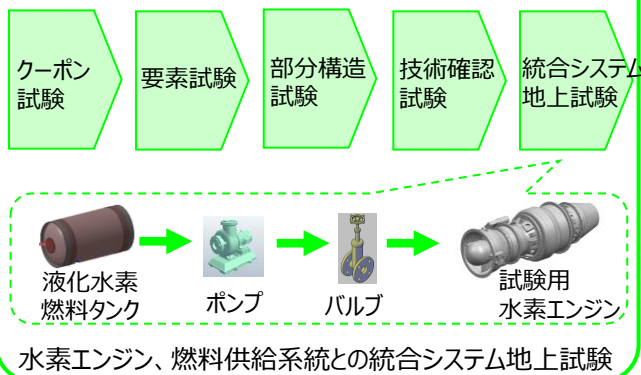
- 事業規模 (① + ② + ③) : 約180.4億円
- 支援規模 (① + ② + ③) : 約175.0億円*
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗に応じて変更の可能性あり。
- 補助率など
①,②,③ : 9/10委託→1/2補助(インセンティブ率10%)

事業イメージ

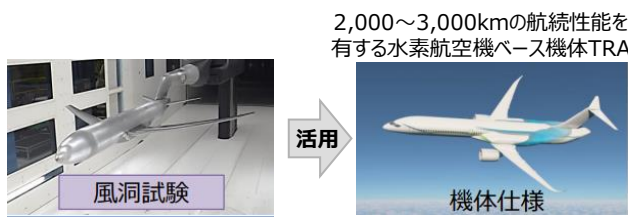
①水素航空機向け
エンジン燃焼器・システム技術開発



②液化水素燃料貯蔵タンク開発



③水素航空機機体構造検討



実現性のある水素航空機の具体化

事業の目的・概要

- ① 航空機主要複合材構造部品の軽量化・生産高レート化・複雑形状化に関する研究として、機体軽量化のための一体化成形技術と設計ひずみの改善、広範囲の機体サイズに対応するため製造プロセスの各サイクルタイム短縮、将来高効率機体に必要な部品の複雑形状化に係る研究開発を実施する。
- ② 金属構造エルロン※に対し30%以上の重量軽減を可能とする熱可塑複合材を適用した大型一体成形エルロンの製作として、大型構造物の溶着技術の確立、3次元複曲面構造の成形技術の確立、外板および波板コアの板厚最適化に伴う高精度製造技術の確立に係る研究開発を実施する。

※エルロン：主翼の後縁外側に取り付けられている補助翼のことです。

実施体制

- ① 三菱重工業株式会社
- ② 新明和工業株式会社

事業期間

- ① 2021年度～30年度（10年間）
- ② 2021年度～25年度（5年間）

事業規模等

- 事業規模（①＋②）：約59.7億円
- 支援規模（①＋②）：約35.8億円*

*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗に応じて変更の可能性あり。

- 補助率など
- ①②：1/2補助（インセンティブ率は10%）

事業イメージ

①航空機主要複合材構造部品の軽量化・生産高レート化・複雑形状化に関する研究

- 機体軽量化のための一体化成型技術と設計ひずみの改善
→設計歪み向上による構造軽量化・生産技術
- 複合材適用拡大の生産高レート化
→各工程の見直しによるサイクルタイムの短縮
- 将来高効率機体に必要な部品の複雑形状化
→曲率半径小形状・ねじり形状の対応



出典: Airbus
<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-new-zero-emission>



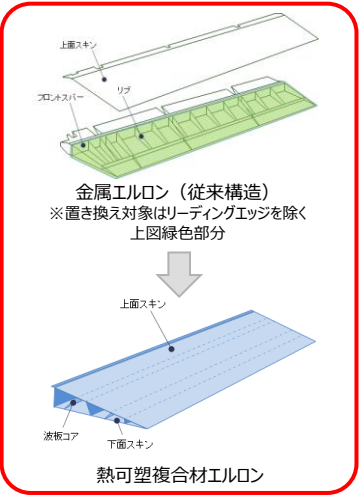
出典: Boeing
<https://www.boeing.com/features/2019/01/spreadin-g-our-wings-01-19.page>

②熱可塑複合材料による軽量構造の開発「エルロン構造の適用」



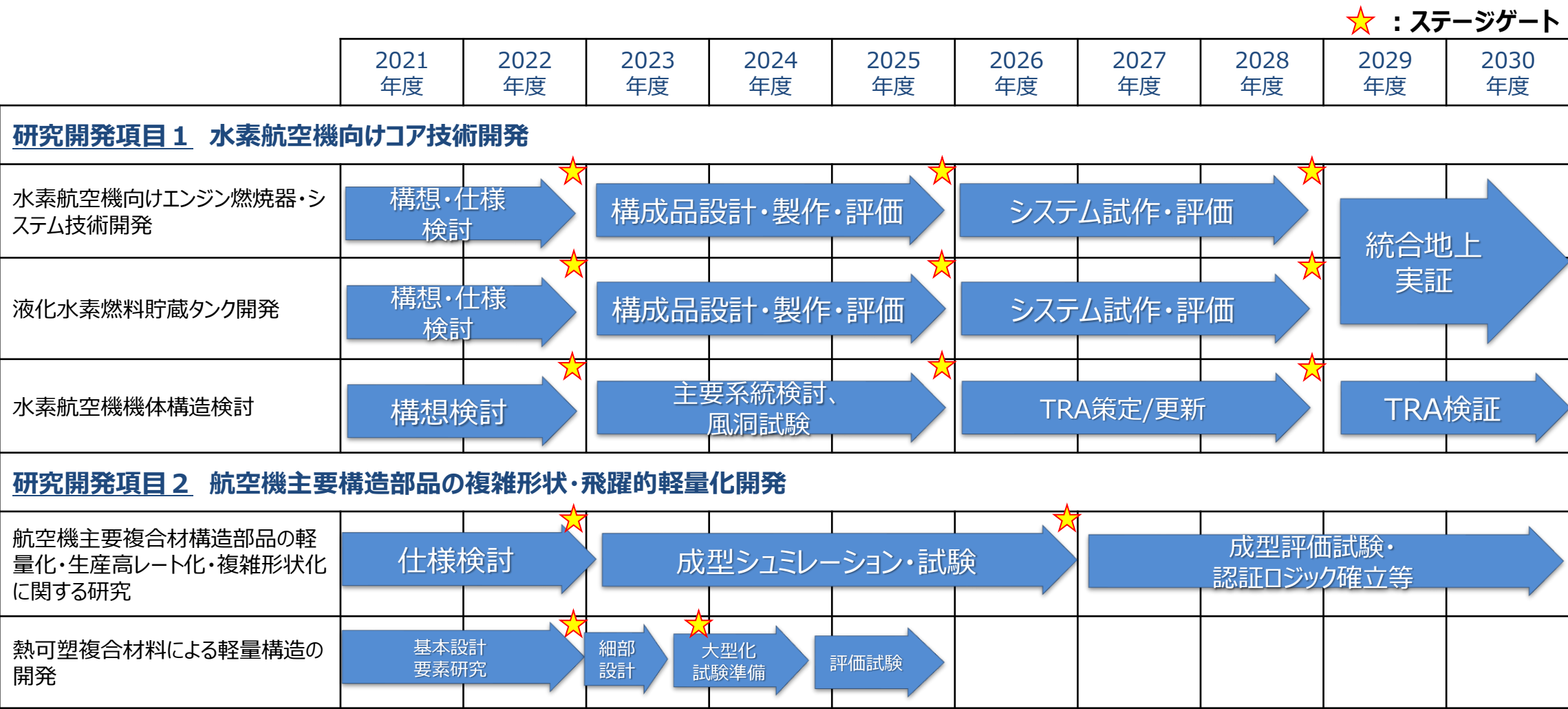
金属構造から熱可塑複合材使用による重量低減

出典：新明和工業株式会社



3. プロジェクトの実施スケジュール

- 開発フェーズの切れ目でステージゲート審査実施（研究開発項目 1 は3回、研究開発項目 2 は2回）。
2023年3月に全件に係る第一回目のステージゲート審査を実施し、全件継続判断。
- 研究開発項目 2 の「熱可塑複合材料による軽量構造の開発」は事業期間を5年間とし早期の社会実装を目指す。



4. プロジェクト全体の進捗

- 2023年3月に実施したステージゲート審査にて全件継続判断。次のステージゲート目標に向けプロジェクト推進中。
- 2023年8月に実施したNEDO技術・社会実装推進委員会にて、プロジェクト全体が概ね計画通り進捗していることを確認。

「技術面」

<実施企業等の主な取組状況>

<NEDO委員会による主な意見>

「研究開発の進捗度」等について

- 第一回目のステージゲート目標（構想・仕様設定）をクリアし、その後の進捗についても概ね計画通り推進中（全件）。



- 計画通り推進中。
- 競合他社の開発状況等を比較評価し、自社の技術面・事業面でのポジショニングを把握すると共に、必要に応じてスケジュールや目標値の見直しを検討すること。

「研究開発の見通し」等について

- 共同実施先のJAXAにて水素関連試験設備を整備中だが、一部計画通り整備できない設備があり、海外での実施も含めJAXAにて対応策検討中（研究開発項目1）。



- 試験を海外で実施するという解決策はあるものの、国内の試験設備の活用・整備を図ることは日本の設備充実に資することから、その選択肢も十分に検討し、JAXAとしっかり連携を取って進めること。

「事業面」

<実施企業等の主な取組状況>

<NEDO委員会による主な意見>

「市場機会の認識」、「社会実装に向けた取組状況」等について

- OEMやエアラインとの交渉を積極的に推進中（全件）。



- さらに政府や研究機関との情報交換を密に行い、精力的に事業化を進められたい。

「ビジネスモデル」等について

- 認定を絡めたモデル（研究開発項目2）やシステム的な提案（研究開発項目1）等、新たなビジネスモデルを検討中。



- 強みを活かした新しいビジネスモデルの構築に努められたい。

5. 実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

研究開発項目1：水素航空機向けコア技術開発

水素航空機向けコア技術開発

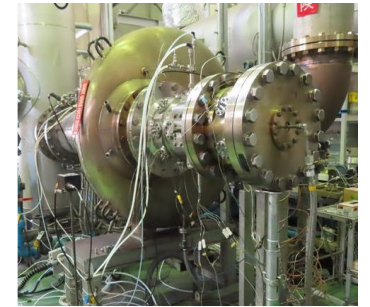
・川崎重工業株式会社

取組状況

→**2023年3月 技術・社会実装推進委員会でステージゲート審査を行い、委員会として『継続』の判断**

①水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発

- ・ **Micromixバーナ改良設計を実施。バーナ形状の評価を行うための低圧燃焼試験の準備中。**
- ・ **水素用ポンプ、バルブ、熱交換器の試作品を製作しデータ取得試験実施中。**
- ・ エンジン補機システムの基本構成と機器配置をもとに、制御模擬装置（システム・シミュレータ）を構築中。
- ・ 高温高圧燃焼器、環状燃焼器、極低温燃料供給に関する試験設備は、JAXA調布および角田に設置する前提で設備設計完了。**環状燃焼器試験設備に関しては安全対策上の懸念より当初設置計画からの変更を検討中。**



低圧燃焼試験装置

②液化水素燃料貯蔵タンク開発

- ・ タンク部材に対し軽量化設計を実施中。タンクの製造プロセス課題抽出を目的とした一次試作を製造中。
- ・ **断熱性能、耐振動特性を評価するための試験実施中。**タンク内の温度・圧力制御システム・コントローラの仕様検討中。
- ・ 複合材要素試験としてタンク接合部の供試体を製造中。また、複合材料特有の課題に対する評価試験を計画中。

③水素航空機機体構造検討

- ・ 2022年度に策定した機体仕様ベース案に対して、全機レベルでの成立性を高めるため、各系統担当と連携し、安全性対策を検討中。
- ・ **2022年度に策定した機体仕様ベース案の成立性確認のための空力データ取得用風洞試験模型(従来型航空機形態)を設計製作中。**
- ・ 標準化に向けた取組として、SAEの代替燃料関連グループに参画中。

委員からの助言

- ・ **エンジン燃焼器は、現時点では新規性、優位性のある高度な技術開発内容**であり、迅速に進めれば競争力に富む技術の獲得が期待される。**他社動向把握・比較評価を実施**のこと。
- ・ **水素関係の試験は、国内の試験設備の活用・整備を図るのが望ましい。**設備を担当するJAXAとしっかり連携をとって進められたい。
- ・ **液化水素燃料貯蔵タンクは、タンク単独ビジネスを考慮して開発を加速する必要があるのではないか。**社会実装時期において確実に国際競争力を獲得可能な目標値となるように他社動向を把握し、必要に応じて目標値の見直しを検討すること。
- ・ **OEMやエアラインとの交渉が積極的に行われている。さらに政府や研究機関との情報交換も密に行い、精力的に事業化を進められたい。**
- ・ 本事業者はエンジン開発をしないため、エンジンOEMに対してマイクロミックス燃焼器を売り込むこととなる。ホットセクションに入っていくことは重要であるが、本事業者の場合、燃焼器だけではなく、液体水素燃料タンクや水素インフラも手掛けていることから、**燃焼器とそれ以外の部分を併せて提案していくことで、従来のTier1のポジションを上げるビジネスになることを期待する。**
- ・ 水素社会の実現に向けて全社的なビジョンを掲げ、その中で**航空機のオープン＆クローズ戦略の策定方針および体制が整備されたことは評価**できる。一方、**優位性確保と市場獲得の視点での戦略的イメージは早期から有しておくべきである。**

5. 実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

研究開発項目2：航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発

航空機主要複合材構造部品の軽量化・生産高レート化・複雑形状化に関する研究 ・三菱重工業株式会社	取組状況 →2023年3月 技術・社会実装推進委員会でステージゲート審査を行い、委員会として『継続』の判断 ・ファスナレス構造での設計確立に向けて、材料の基礎特性、有孔強度試験用の供試体製造及び試験を実施中。 ・国際標準化に向けた活動として、CMH-17の定例会合及び技術協議に参画。積極的にプレゼンスを発揮。 ・認証取得の枠組み、複合材業界のプラットフォームの調査や標準化事例、標準化に向けた課題整理等を実施中。 ・高速化、欠陥レス成形確立に向け、RTM製造技術においては、翼スキンパネルで得た物理シミュレーションの知見を翼関連部品に展開し、小規模試験（賦形、含浸、外観）を実施中。また、熱可塑性樹脂の特徴を活かした主翼部品のデザイン検討も実施中。 委員からの助言 ・海外の動向や海外企業の状況と自社の強み・弱みの比較評価を継続するとともに、自らの研究目標を都度見返すこと。主要なコンペティターがどういう状況にあるか、ビジネス面でのポジションを把握されたい。 ・構造部位事業で新しいビジネスモデル（認定を絡めたモデル）を作ろうとしている。強みを活かしたビジネスモデルの構築に努められたい。 ・国際標準化への取り組みとして、CMH-17のミーティング等でプレゼンスを発揮している点は評価できる。本事業者のファスナレス設計等が高く評価されるようなオープン＆クローズ戦略の仕組を積極的に検討されたい。
熱可塑複合材料による軽量構造の開発 ・新明和業株式会社	取組状況 →2023年3月 技術・社会実装推進委員会でステージゲート審査を行い、委員会として『継続』の判断。 ・実大エルロンと同程度の厚肉要素を含む、一体溶着による小型部分供試体(200mm サイズの単曲面)を製造。 ・引張せん断試験により、溶着強度目標の30MPa達成確認。 ・実大エルロンと同程度の曲率要素（コード方向）を含む、波板コア 高さ55mmの小型部分供試体(単曲面)を製造。 ・板厚変化部を含め位置公差±1.5mm以内で材料を積層、ボイド レスの小型部分供試体(単曲面)を製造。 ・国際エアショーに出展。当該エルロンのプロジェクト説明し、プロジェクト参画を広く公開、機体製造メーカーに対して売り込みを行う。 委員からの助言 ・構造・強度面から成形品質のゴールを定め、成形プロセスの決定・確立までの開発は難度が高いと考える。製造時の品質管理・検査技術の検討は、早い段階から取り組まれない。 ・独自性・新規性・他技術に対する優位性は相対評価（特に欧米企業等）であるから、分析して自社の「強み」を客観的に評価されたい。また、事業面でもOEMや潜在顧客、海外コンペティター等の状況を継続的に分析されたい。 ・社会実装と競争優位の獲得に向け、製造・運用の各領域において、重層的視点からオープン＆クローズ戦略をブラッシュアップされたい。

6. プロジェクトを取り巻く環境

- **2030年前後に、水素燃料電池やバッテリーを利用する電動航空機の実用化が想定される。**
- **エアバス社は2035年水素航空機就航に向け、水素燃焼、水素燃料電池に係る技術開発を推進中。**

- **コピューター機やリージョナル機については、2030年前後に、水素燃料電池やバッテリーを利用する電動航空機の実用化が想定されており、水素燃料電池については、特にリージョナル機サイズでの開発に各社注力。液化水素貯蔵タンクの開発も活発で、複合材製のタンク開発も行われている。**
 - GTL社（米国）が複合材のみを使用した二重壁構造の液化水素貯蔵タンクを開発。
 - Collins Aerospace社（米国）が、NLR, デルフト工科大, ATR, ノボテック, ユニファイド・インターナショナルと連携して熱可塑複合材タンクの開発を実施中。 2025年TRL4目標。
- **中・長距離路線機においては、ネットゼロ達成に向けて水素燃焼エンジンの利用が想定されているが、当面はSAFが中心となると想定されるため、まだ、開発は本格化していない。**
- **エアバス社は2035年水素航空機就航に向け、水素燃焼、水素燃料電池に係る技術開発を推進中。**
また、インフラ整備についても、各社と連携して推進中。
 - 2023年6月 水素燃焼に係る温度・圧力調整システムのコンセプトテストに成功（アリアングループ：エアバスとサフランの合併）
 - 2022年11月 燃料電池エンジンを開発していることを発表
- 2023年7月 エアバス社が英国に**WoT（Wing of Tomorrow）プログラムの研究拠点 翼技術開発センター（WTDC）**を設置。

7. NEDOによる社会実装に向けた支援に関する取組状況

- 市場動向、技術動向等の情報共有や認知度・社会受容性向上の活動を実施。

市場動向、技術開発動向等の情報共有

- 水素航空機や複合材を含む次世代航空機開発にかかる市場動向（国際機関、エアライン、OEM動向）、標準化動向、各国政府プロジェクトの状況、技術開発動向等の情報につき、ヒアリングによる非公開情報も含め調査を実施し、技術・社会実装推進委員会や事業者へ情報共有し、開発の方向性等の判断に活用。

NEDO委員会の委員向けサイトビジット実施

- NEDO技術・社会実装推進委員会の委員を対象に、全事業者のサイトビジットを行い、実際の開発現場や開発物を見せる取組を実施。事業に対する理解を促し、適正なステージゲート審査の実施につなげた。

認知度・社会受容性向上

- 展示会、講演会等でプロジェクト認知度や、水素に係る社会受容性の向上に貢献。
 - 先端材料技術展（SAMPE）2022講演
 - nano tech 2023出展
 - SAMPE技術情報交換会講演



情報共有



先端材料技術展2022講演

(参考 1) プロジェクトの事業規模

プロジェクト全体の関連投資額※

849億円

※ プロジェクト実施企業等が、事業終了後の期間を含めて見積もった社会実装に向けた取組（グリーンイノベーション基金事業による支援を含む）にかかる関連投資額

グリーンイノベーション基金事業の支援規模

	事業規模	支援規模
研究開発項目 1 水素航空機向けコア技術開発	180億円	174億円
研究開発項目 2 航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発	60億円	30億円

補足説明

- 研究開発項目 2 については、三菱重工業と新明和工業が異なるテーマにて実施。事業規模、支援規模の内訳は以下の通り。
三菱重工業・・・事業規模 56.6億円 支援規模 28.3億円
新明和工業・・・事業規模 3.1億円 支援規模 1.5億円
- 支援規模において、助成事業のインセンティブは考慮していない。

(参考 2-1) 研究開発進捗のマイルストーン

研究開発項目 1 : 水素航空機向けコア技術開発

テーマ名・事業者名

水素航空機向けコア技術開発
・ 川崎重工業株式会社

アウトプット目標

- ✓ NOx排出量CAEP/8比 54%の低減、エンジン燃焼器などのコア技術について TRL6 以上
- ✓ 貯蔵水素燃料の 2 倍以下のタンク重量、液化水素燃料貯蔵タンクについて TRL6 以上
- ✓ 2,000～3,000kmの航続性能を有する水素航空機のベース機体TRA策定

実施内容

①水素航空機向けエンジン燃焼器・システム
技術開発

②液化水素燃料貯蔵タンク開発

③水素航空機機体構造検討

マイルストーン

【2025年度ステージゲート】

- ・航空機エンジン燃焼器用水素バーナ単体試験を実施し性能を確認
- ・コア技術構成品(燃料ポンプ、水素用熱交換器等)に対して単体試験を実施し性能を確認

【2025年度ステージゲート】

- ・タンク部分構造における性能が技術仕様の目標を満足することを試験で確認
- ・タンクの最大使用内圧に対してタンクが壊れないことを計算で確認
- ・タンク重量を推算し、タンク重量が貯蔵水素燃料の 2 倍以下であることを確認

【2025年度ステージゲート】

- ・燃料供給システムなどのシステム仕様の設定、機体仕様案の策定
- ・風洞試験を実施し、取得データに基づき空気抵抗などの空力データの算出、算出した空力データを用いた航続性能の確認

(参考 2-2) 研究開発進捗のマイルストーン

研究開発項目 2 : 航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発

テーマ名・事業者名

航空機主要複合材構造部品の軽量化・生産高レート化・複雑形状化に関する研究

- ・三菱重工業株式会社
- ・東北大学
- ・東京大学

アウトプット目標

- ✓ 既存複合材構造と比較して10%の軽量化
- ✓ 生産高レート化・複雑形状化のための成形技術の確立 (TRL6以上)

実施内容

①機体軽量化の為に一体化成形技術と設計歪の向上

②複合材適用拡大の為に生産高レート化

③将来高効率機体に必要な部品の複雑形状化

マイルストーン

【2026年度ステージゲート】

- ・ファスナレス設計確立に向けた試験データ取得完了
- ・高速化を両立する欠陥レス成形のキー技術の取得完了

【2026年度ステージゲート】

- ・欠陥レス成形を両立するの高速化キー技術の取得完了

【2026年度ステージゲート】

- ・導入装置に対する自動化・複雑形状化に向けた試験データおよび改善項目の整理完了

(参考 2-2) 研究開発進捗のマイルストーン

研究開発項目 2 : 航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発

テーマ名・事業者名

熱可塑複合材料による軽量構造の開発

・新明和工業

アウトプット目標

- ✓ 金属構造エルロンに対し30%以上の重量軽減
- ✓ 実大供試体を製作し、TRL6達成を実証

実施内容

熱可塑複合材を適用した大型一体成形エルロンの製作

マイルストーン

【2023年度ステージゲート】

小型部分供試体を製作し、強度/品質が下記に示す目標を満足する見通しを得る。

- － 250mmX200mm相当のボックス一体溶着（上下外板と波板コアの溶着）、溶着強度30MPa以上
- － 波板コア高さ50mm相当、エルロン構造に適する3次元複曲面構造（コード方向およびスパン方向に曲率を有する構造）へ波板コアを成形
- － 板厚変化部の位置公差 $\pm 0.06''$ (1.5mm)以内、及び運用実績のある航空機構造部材に適用できる内部品質レベルまで抑えたリンクレス及びボイドレス