



グリーンイノベーション基金事業／次世代航空機 の開発

2022年度 WG報告資料

2022年8月25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. プロジェクト全体の進捗
4. 実施企業等の取組状況
5. プロジェクトを取り巻く環境
6. 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

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

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の開発を行う。

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の開発を行う。

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。

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：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
水素航空機向けコア技術開発 ・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
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（※） 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
熱可塑複合材料による軽量構造の開発 ・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、燃料供給艤装構造、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

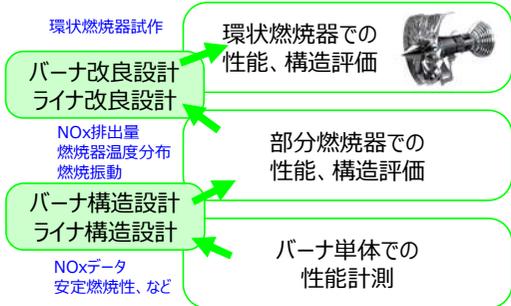
①,②,③ 2021年度～30年度 (10年間)

事業規模等

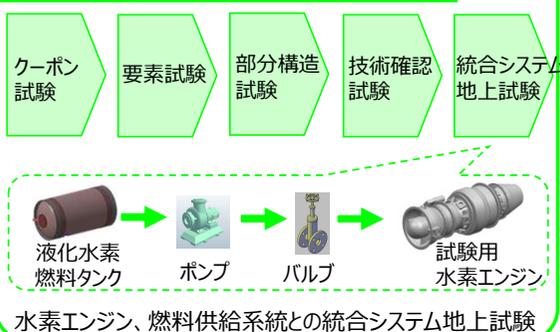
- 事業規模 (①+②+③) : 約180.4億円
- 支援規模 (①+②+③) : 約175.0億円*
- *インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗に応じて変更の可能性あり。
- 補助率など
- ①,②,③ : 9/10委託→1/2補助(インセンティブ率10%)

事業イメージ

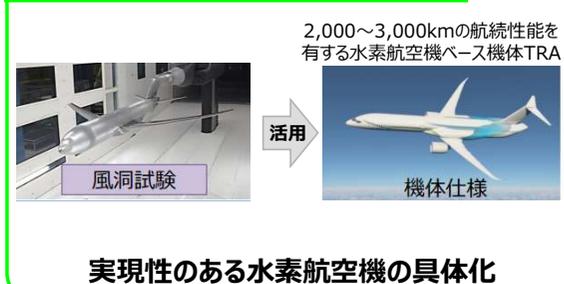
①水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発



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



出典：川崎重工業株式会社

航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発

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型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型技術の確立、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
- 積層 ⇒ 成型 ⇒ 硬化 ⇒ 検査
- 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-zeroemission>



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

事業規模等

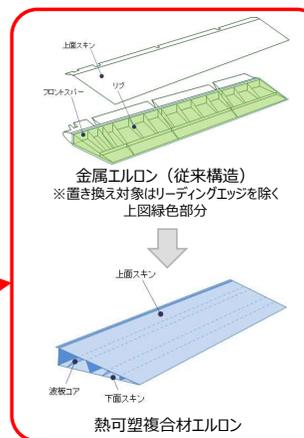
- 事業規模（①+②）：約59.7億円
- 支援規模（①+②）：約35.8億円*
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗に応じて変更の可能性あり。
- 補助率など
①②：1/2補助（インセンティブ率は10%）

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. プロジェクト全体の進捗

プロジェクト全体の進捗

- 新型コロナウイルス感染症の影響や、鋼材素材逼迫・物流停滞による納期遅れ等の原因で一部のテーマについて若干の遅れがあるものの、全体として**研究開発・社会実装計画に示された計画通りに推進中**である（遅れは年内にリカバリ予定）。
- 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」では、水素バーナー単体の試作試験を開始すると共に、エンジン補機システム、燃料供給システムの構成検討を実施。
研究開発内容②「液化水素燃料貯蔵タンク開発」では、文献・事業者知見よりタンクの設計要求を設定し、構想設計を実施すると共に、金属材料、複合材料の候補材を選定し、強度データ等の特性データを取得中。
研究開発内容③「水素航空機機体構造検討」では、水素航空機のターゲットとする座席数や路線距離を設定し、従来型航空機形態での機体コンセプト案の考案、評価を実施。
- 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」については、
三菱重工業株式会社では、解析法構築のための試験・解析計画策定、RTM製造技術の課題抽出・試験方案検討、熱可塑要素技術開発を実施中。
新明和工業株式会社では、実大エルロンコンセプト形状を決定し、製造時の技術課題や、さらなる重量軽減について検討中である。

今後の予定

- 研究開発項目 1 については、2022年度末頃にプロジェクトの継続可否を判断する**ステージゲート審査**を実施する予定。
- 研究開発項目 2 については、2022年度末頃にプロジェクトの継続可否を判断する**ステージゲート審査**を実施する予定。

4. 実施企業等の取組状況

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

①水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発

地上用での知見をもとに**Micromixバーナ**の設計・試作を行い、低圧燃焼試験を実施。また、要求事項を考慮して、**エンジン補機システムの構成・配置を検討**。さらに**燃料供給システムのシステム構成候補案**を複数設定し、仮設定した主要構成品(水素用ポンプ/バルブ)仕様に基づいてシステム成立性を検討。

②液化水素燃料貯蔵タンク開発

真空断熱二殻構造タンクの構想設計を実施。また、文献調査をもとに**水素環境に適した金属材料候補を選定**、極低温環境でクーポン試験を実施し、強度データを取得すると共に標準的な溶接条件範囲を調査。

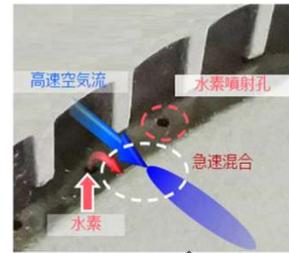
低温強度に優れた複合材料候補も選定し、液化窒素、液化ヘリウム環境下でのクーポン試験を実施し特性データを取得。さらにタンク内圧制御システムの構想設計を実施し、**主要構成品（バルブ）の技術課題を明確化**。

③水素航空機機体構造検討

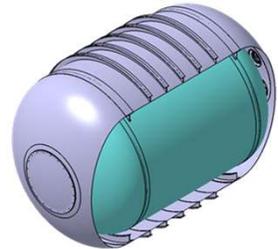
CO₂の削減、かつ運航者の利便性を考慮して、**水素航空機の座席数、路線距離等を設定**。

次に、そこから**従来型航空機形態で複数の定性的な機体コンセプト案**を考案し、6つにパターン分けを実施。

上記6つのパターンに対して空力特性や重量への影響等を定量的に評価。



Micromixバーナ



液化水素貯蔵タンク構想図

委員からの助言

- ・ エンジン燃焼器に関しては、水素燃焼という川崎重工独自の技術（地上用で実績がある）を活かしている点はとても良い。ただ、既存技術に頼った計画のようにも感じられるため、**性能やコスト面での川崎重工の優位性が明確になるよう、さらなる検討を期待する**。
- ・ 水素燃料貯蔵タンクに関しては、**タンク単独ではなく燃料系システムを含めた事業とすることで、付加価値の高い事業を構築することを期待する**。
- ・ 機体構造検討に関しては、最終的にはエアラインの意見が非常に重要となってくるため、現時点でエアラインと連携を開始しているということは非常に評価できる。燃焼器やタンクの開発と同時に実施することで連携効果、相乗効果が期待できる。
- ・ 海外航空機OEMと異なり航空機だけでなくエネルギーなどより広い事業を行っている日本の重工メーカーが活かせるビジネスモデルの構築を期待する。また、キーパーツの製造 + M R O のビジネス構築の実現を期待する。
- ・ 標準化と知財化の取組については、それぞれ個別には取り組んでいるものの、**明確に連動したストーリーが描かれていないように思われた。市場拡大しつつ競争優位を構築するためのオープン＆クローズ戦略を考えて頂きたい**。

4. 実施企業等の取組状況

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

- 代表的な破壊モードの1つである有孔強度の解析に対し、**有孔強度試験の各種準備作業（試験用治具手配、材料選定）、RTM材料に対応可能な解析手法の準備、解析法構築のための試験・解析計画策定**実施中。
- RTM製造技術として、「**主翼スキンパネル一体化成形**」部分試作による技術課題抽出、「**主翼スパー一体化成形**」試験方案検討実施中。
- 熱可塑の要素技術開発**として、薄膜ヒータによる部品成形技術、融着技術（熱伝導融着・超音波融着）の検討・要素試験実施中。
- 将来高効率機体に必要部品の複雑形状化について、米国/欧州の動向を調査中。

委員からの助言

- 現段階では、問題点は見つからなかったものの、具体的な研究の詳細についての明確化を期待する。
- 三菱重工も認識しているように、**10年間にこだわらず早めに社会実装**できるよう、スピード感をもって進めていただきたい。
- 標準化の重要性、特に規制や認証の対応について、評価できるが、欧州や中国の動向はあまり把握されていないように感じる。**OEMと認証機関と連携しながら、積極的な標準化を検討**してもらいたい。そのためにも、きっちりと経営陣もコミットメントし、この技術が実装されるための戦略を考える必要がある。

熱可塑複合材料による軽量化構造の開発

- 新明和工業株式会社

取組状況

- 実大エルロンのコンセプト形状（翼曲率、スパー高さ、後縁高さ、外板及び波板コアの積層構成、波板コア形状等）を決定。**
- 中子脱型性の調査を実施し課題抽出。解決案検討中
- 板厚変化要素が構造効率性及び成形性へ及ぼす影響度を考慮し、単曲面供試体にて前広に評価することとし、技術評価要素の検討実施。
- 現時点での重量低減効果の概算算出。

委員からの助言

- 順調に進捗していると認識しているが、進捗に応じて実現可能性が高まるよう、着実に開発が進むことを期待する。なお、熱可塑、一体成形と、かなり難度が高いことから、**軽量化、大型化等の開発におけるリスク予想・対策などの検討を前広に実施**するとともに、柔軟に研究開発サイクルを回すよう期待する。
- 標準化戦略については、顧客（OEM）の要求に合わせたクローズ戦略が中心であると思われるが、更なる社会実装の確度を高めるべく、**自社の強みを活かした標準化戦略も積極的に検討**してほしい。

5. プロジェクトを取り巻く環境

市場動向/予測

- COVID-19の影響により、世界的に航空需要は大打撃を受けているものの、ICAO(国際民間航空機関-国連機関)、IATA(国際航空運送協会-業界団体)、ATAG(航空輸送行動グループ-航空業界の専門家の連合体)等による最新の航空需要予測では、早い段階で2019年と同水準まで回復し、その後、新興国等の経済成長等を背景に、約3%/年程度の持続的な成長を遂げると予測。
- 2022年3月、ICAOはLTAG (Long Term Aspirational Goal) のレポートを発表。その中のシナリオ3 (最も野心的なシナリオ) では、2050年の国際航空のCO2排出量は203MtCO2 (ベースラインの87%削減、2019年比1/3) と予測。このシナリオでは軽量化等による機体技術やSAF導入に加え、水素航空機等の導入による液化水素燃料への転換が期待されており、同予測では2070年にはベースラインに対して約500MtCO2の削減を液化水素に期待している。
- ICAO LTAGシナリオ3の機体サイズ毎の、新規及びリプレース市場予測では、水素航空機等のACA-T3 (Advanced concept aircraft, non-drop-in fuels and energies) の2050年度シェアを、210席以下の機体サイズで40%、210席以上の機体サイズで5%としている (2070年には全ての機体サイズで50%) 。
- ATAGのWaypoint2050では、想定される推進系に応じて、適用される脱炭素エネルギー源も異なるとして、大型・中型・小型機が想定される短距離線機以上ではSAF/水素が想定され、リージョナル機・コミューター機では、電動化/水素燃料電池/SAFが想定されている。

技術動向

- 2021年6月にNASAが発表したSFNP (Sustainable Flight National Partnership) では、今後10年間で、大型輸送機で初めてのハイパワーハイブリッド電気推進、超高効率のロング・スレンダー航空機の翼、複合材料の新しい大規模製造技術、NASAのイノベーションに基づく高度なエンジン技術を実証予定。
- 2021年12月のEU Clean Aviation JUによるStrategic Research and Innovation Agendaでは、次世代航空を、①ハイブリッド電動リージョナル航空機の革新技術、②中短距離機の超高効率推進系の開発、③水素航空機を可能とする革新的技術の3つの柱として位置付け、短距離線における水素航空機を含め、2035年を目途にフライト実証予定。
- エアバスは水素を燃料としたゼロ・エミッションを達成する旅客機の運用を目標に掲げ、ZEROeコンセプトを提唱。機体開発と並行して研究機関・メーカー・空港・エアライン・二次輸送事業と協力し生産、貯蔵、輸送の水素のサプライチェーン・インフラの構築を目指している。
- プラットアンドホイットニー社、GEアヴィエーション社、CFMインターナショナル社が水素エンジンの技術開発に着手。CFMインターナショナルはエアバスと組んで、水素燃焼技術の実証試験を実施すると発表。
- 炭素繊維複合材では、大型機を中心に取り入れられてきているが、ICAOは今後更なる軽量化を見込んでおり、開発競争が熾烈。直近では、Collins Aerospace、Aernnovaといったサプライヤー企業による航空機向けの炭素繊維の開発や導入の報道。

6. 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

- 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、技術動向等の俯瞰的情報**を調査し、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の関連他事業とも連携し、その知見を活用。
- 技術・社会実装推進委員会にて、「**競合となり得る個社情報等**について、詳細を把握するのは難しいことは認識するが、相応の情報を継続的に把握し、事業者等へ共有するような取組もMETI、NEDOにて検討して欲しい。」とのコメントを頂いており、対応検討中。

標準化対応

- ICAO、欧米航空当局（FAA、EASA）、国際標準化団体（主にSAE、ASTM、RTCA、EUROCAE等）において、日本企業が不利にならない形で、技術に応じて主導的に、当該技術に関連する安全基準・国際標準を策定することを目標とし、経済産業省、国土交通省が事務局となり、産学官が連携し本年6月「**航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会**」を立ち上げ。
- NEDOも、上記官民協議会に加え、実務者会合、各WG（電動化WG、水素WG、軽量化・効率化WG）に参画。関連する複数のプロジェクトを実施する立場（横串的）で貢献予定。

認知度・社会受容性向上

- 各種イベント、展示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予定。
（直近ではnano tech 2023出展計画中）

(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（事業終了後の期間を含む）

849億円

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

(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
- ✓ 貯蔵水素燃料の2倍以下のタンク重量
- ✓ 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

マイルストーン

【2022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の基本形状を設定
- ・水素燃料タンク出口からエンジン燃焼器までの機器構成と構成品の仕様を設定

②液化水素燃料貯蔵タンク開発

【2022年度ステージゲート】

- ・設計技術仕様として、液化水素貯蔵タンクへの要求値を決定
- ・推算重量が貯蔵水素燃料の2倍以下となることを確認

③水素航空機機体構造検討

【2022年度ステージゲート】

- ・要求仕様の設定、コンセプト案の設定、及び機体仕様ベース案の策定

(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

アウトプット目標

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

- ✓ 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

【2022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計画策定
- ・欠陥レスに向けた材料選定、部品形状設計、成形法確立

【2022年度ステージゲート】

- ・生産高レート化向け装置の必要性能・仕様設定

【2026年度ステージゲート】

- ・本ステージでは既存部品の一体化形状に対する高レート化技術に注力するため、複雑形状化の目標は設けない

(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

【2022年度ステージゲート】

熱可塑複合材エルロンの以下の基本構造設計と強度解析を行い、従来の金属構造エルロンに対し30%重量低減する見通しを得る。

- －基本構造設計：波板サンドイッチ構造エルロンの外形寸法と、それを構成する熱可塑複合材部品（上下スキンおよび波板コア）の寸法・板厚・積層方向を決定
- －強度解析：静強度（運用時荷重に1.5倍した終局荷重）および疲労強度（総飛行回数×3サイクル）を満足する構造であること（強度成立性）を解析により確認