

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：水素航空機向けコア技術開発

実施者名：川崎重工業株式会社、代表名：代表取締役社長執行役員 橋本 康彦

目次

1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

1. 事業戦略・事業計画

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

航空業界でのカーボンニュートラル実現に向けた水素航空機開発の機運高揚

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

（社会面）

- 世界のCO₂排出量36Gトンに対し、民間航空機からは900Mトン／2.4%を排出(2019年ベース)
- Flyshameなど、他交通機関の利用を促す動きもあり

（経済面）

- COVID-19により旅客需要は激減したが、国内線は2023年に回復し、国際線は2024年頃回復予定。その後は増加予定

（政策面）

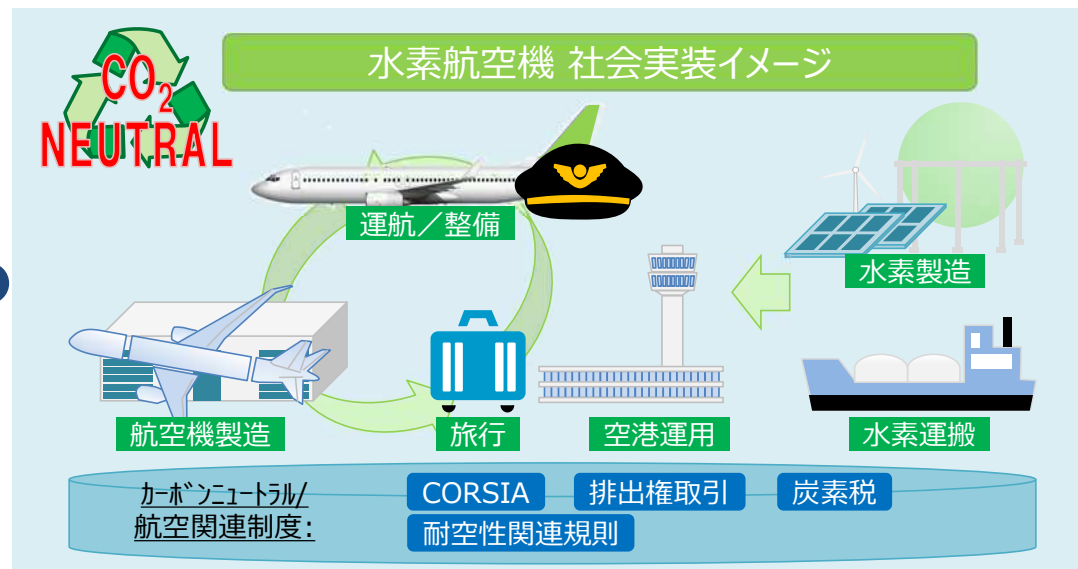
- IATAでの「2050年CO₂排出ゼロ」目標設定を受け、ICAOでも「2050年CO₂排出ゼロ」の長期目標を設定
- CORSIAなどCO₂削減に向けた制度の施行開始
- 各国政府による、CO₂排出削減に向けた研究開発支援が活発

（技術面）

- エアバス社が2035年運航開始の水素航空機開発を促進
水素エンジン飛行試験機計画や空港インフラ検討等の進捗あり
- ボーイング社など持続可能航空燃料(SAF)の開発もあり

- 市場機会：水素社会化へのポジティブな動きを確認、市場機会変更なし
供給／運搬／利用あらゆる分野に強みのある我が国の水素技術を、開発黎明期の水素航空機に適用し、航空業界における水素技術の優位的地位を確立できる可能性あり
- 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：
CO₂排出削減のみならず、他産業に比べて低い我が国の航空産業の世界シェア改善、ひいては技術レベル／品質の高い航空技術の他産業への波及による日本産業発展に貢献する

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ



- 当該変化に対する経営ビジョン：
 - ・ 弊社 水素ソリューション・スローガン - Hydrogen Road ～水素を「つくる」・「はこぶ・ためる」・「つかう」～
 - ・ 水素社会の未来を切り拓くリーディングカンパニーとして水素サプライチェーン総合力を活用し、水素燃料タンク／水素燃料供給システム／水素燃焼器の中核技術を一貫通貫して開発を主導・水素航空機化開発への参画を目指す

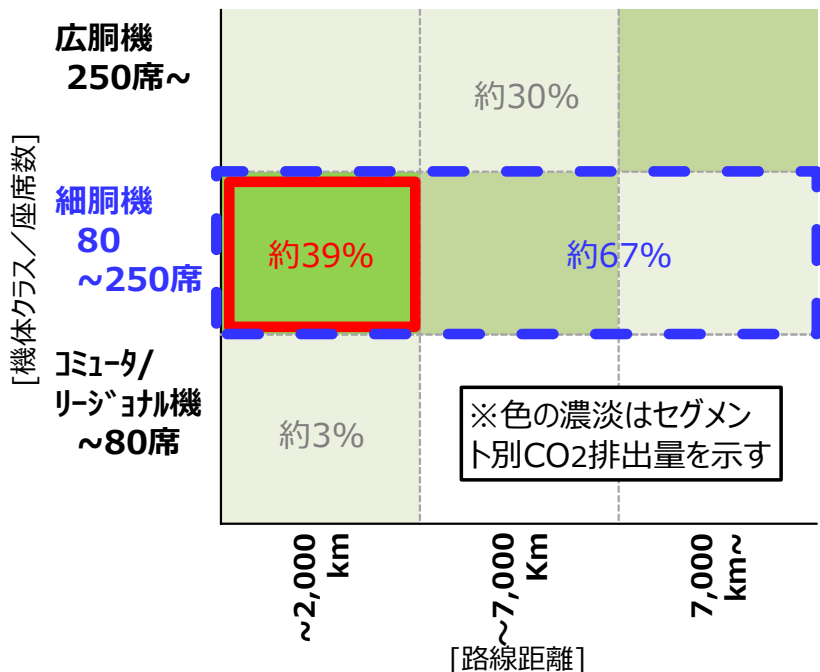
1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

カーボンニュートラルへの寄与が大きい細胴機をターゲットとして想定

セグメント分析

CO₂排出削減への寄与のため、排出量の多い細胴機をターゲットに想定。路線距離は排出量と水素航空機の技術的成立性を考慮し2,000km以下とし、将来的にはそれ以上の路線距離も視野に入れる

セグメント別CO₂排出量



※CleanSky2資料に基づき弊社作成

ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期

- 細胴機のメイン市場は120～250席クラス。年間生産機数1,200機で運航機体数は年率約数%で成長すると考えられる。

需要家	主なプレイヤー	課題	想定ニーズ
機体OEM	エアバス社 ボーイング社	・ 技術的成立性 ・ 他製品との棲み分け	・ 水素技術／航空機知見を有する開発パートナー
エンジンOEM	GE社 P&W社 RR社	・ 機体要求スペック ・ 技術的成立性 ・ 他製品との棲み分け	・ 水素燃焼技術 ・ 生産技術・設計開発能力
運航/整備者 (エアライン/MRO業者)	ANA/JAL等	・ コスト／インフラ等含めた運航成立性	・ 運航成立性を満足する社会制度／外部環境

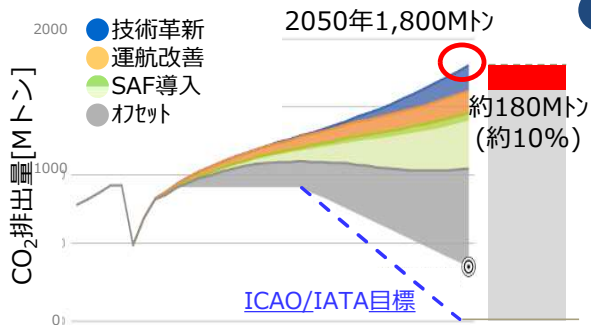
※OEM: Original Equipment Manufacturer
MRO: Maintenance, Repair and Overhaul (整備・修理・オーバーホール)

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

水素航空機の主要要素となる水素コンポーネントの部品／MROサービスを提供

社会・顧客に対する提供価値

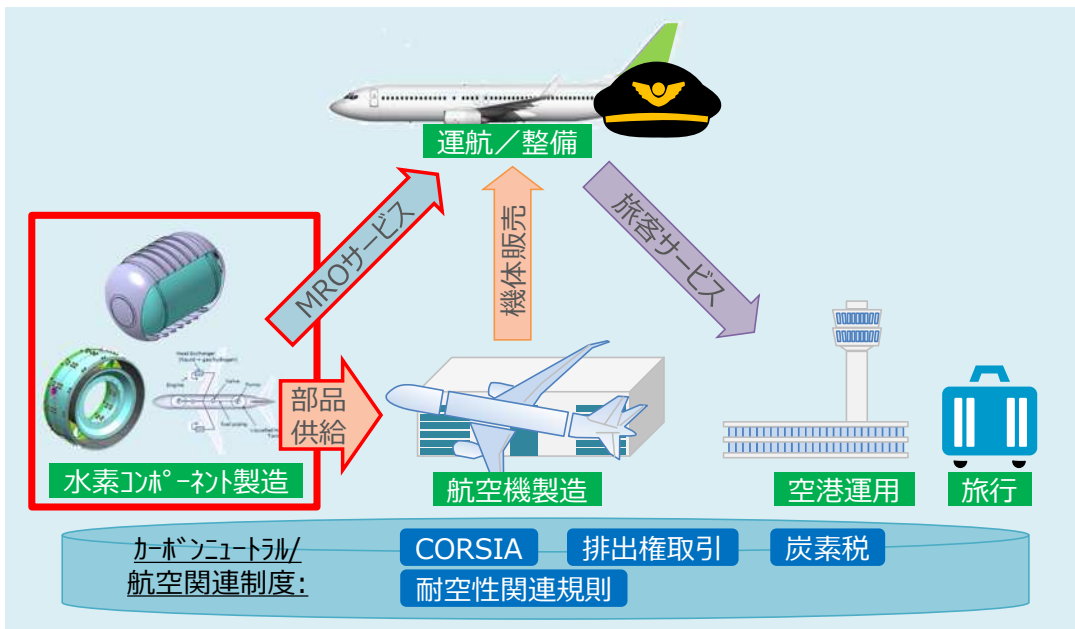
- 航空業界へのカーボンニュートラル促進
 - 水素航空機を社会実装することで、2050年に約180Mトン（航空機全体の約10%）のCO₂排出削減に貢献
 - 社会実装時のイメージを示すことで、水素航空機導入に向けた制度設計に貢献
 - 機体／エンジンOEMに対して、水素燃焼器／燃料タンク／燃料供給システム等の水素航空機コア技術を提供



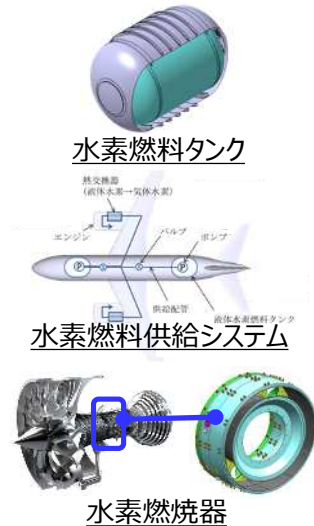
水素航空機への置き換えによるCO₂排出削減量

出典[左図のみ]: “WAYPOINT2050”, ATAG

ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性



事業対象: 水素航空機 主要要素



ビジネスモデル概要：

- 機体OEM、水素コンポーネント・サプライヤが、運用者／水素供給者／規制当局等と連携し社会実装化
- 水素航空機の主要要素である水素燃料タンク／燃料供給システム／燃焼器を機体／エンジンOEMに提供、また、運航維持に必要な上記要素のMROサービスをエアラインに提供
- 上記ビジネスモデル実現に向け、インフラ等の弊社水素関連技術を活用し、主要要素に対する研究開発を推進し、研究開発により得られた主要要素の技術成果を優位性として、機体／エンジンOEMと水素航空機の共同開発において主導的な立場を目指す

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

標準化活動への参画により、開発技術の優位性確保や標準化能力取得を推進

海外／国内の標準化や規制の動向、現状

[海外] ・ 認証当局FAAで水素燃料電池をテーマにした適用検討あり

[国内] ・ 水素関連の標準化検討なし、標準化国内知見も乏しい



標準化の取組方針

- ・ 研究成果の社会実装化に必須となる国際標準への適合性確保のため、標準や標準化活動の最新動向を早期入手する
- ・ 開発技術の競争優位性確保、また標準化策定能力取得のため、基金研究成果を活用し標準化活動への参画を目指す

標準化の取組内容（全事業期間通じて）

（国内知見の活用／連携）

- ・ JAXAなど国際標準化に関する知見を多く有する機関／企業と連携し、SAE等で検討中の標準や標準化活動の情報収集、及び、標準化に向けた戦略を検討する
- ・ 再委託先等の国内装備品／材料メーカと連携し、機体／システム／コンポーネント／要素レベルに渡る、総合視点／技術力を基に標準化に向けた取り組みを推進するとともに、国内企業における市場拡大、国内認証能力の向上に貢献する

（国際標準化への取組）

- ・ 国交省及びMETIが進める新技術官民協議会や、METIが有する日欧などの国家間連携スキーム等を活用することで、日本参画における標準化活動を推進する

知財、その他規制等に関する取組方針・内容

[知財取組方針]

- ・ 水素航空機は開発黎明期であり、応用範囲の広い基本コンセプトを対象に、競合他社に先駆けて申請することで、参入障壁の確立／競争優位性を確保する

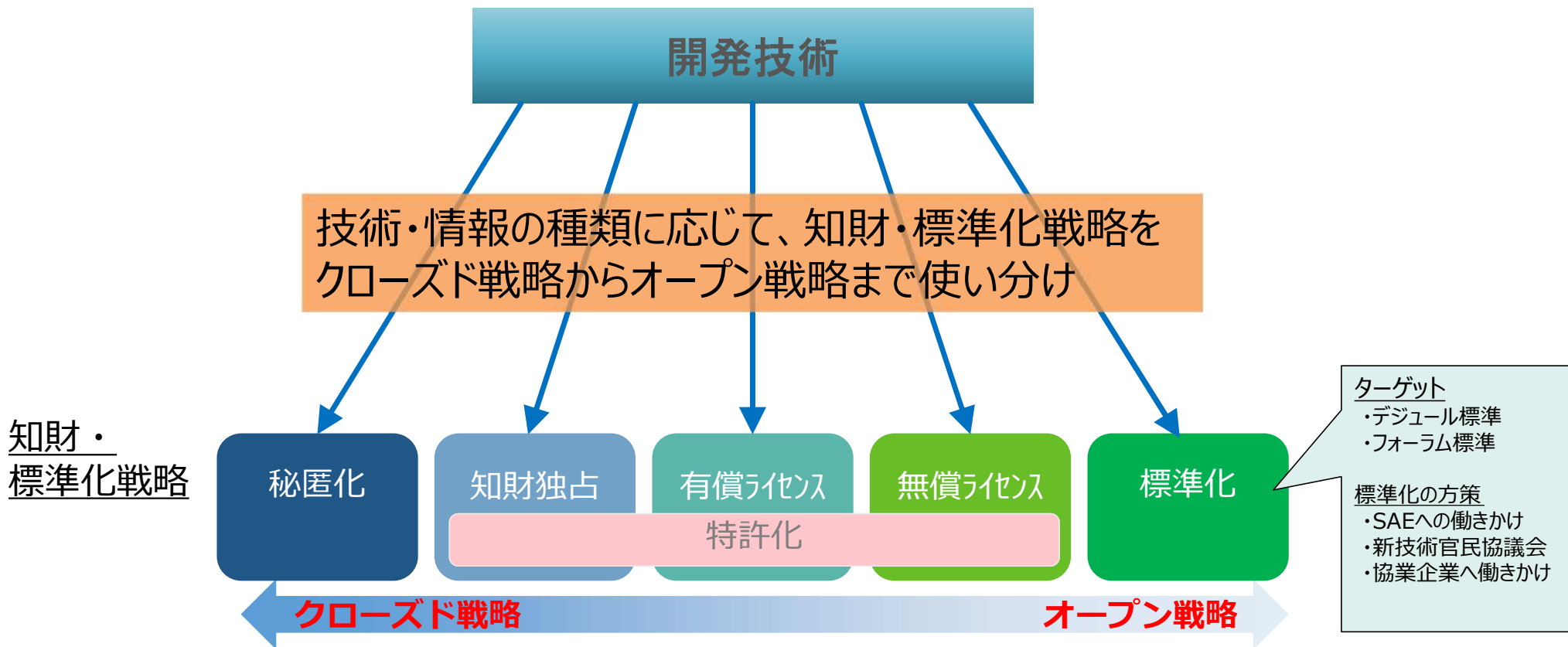
[知財取組内容]

- ・ 弊社知財担当部の協力の元、OEMや競合他社の特許を調査し、出願対象技術の選定に活用する
- ・ 再委託先と連携し、要素技術を核に、広範囲の特許化を志向する

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

水素航空機の事業戦略を受けた知財・標準化戦略

事業戦略を基に、技術・情報区分に応じて、知財・標準化戦略をクローズド戦略からオープン戦略まで使い分ける

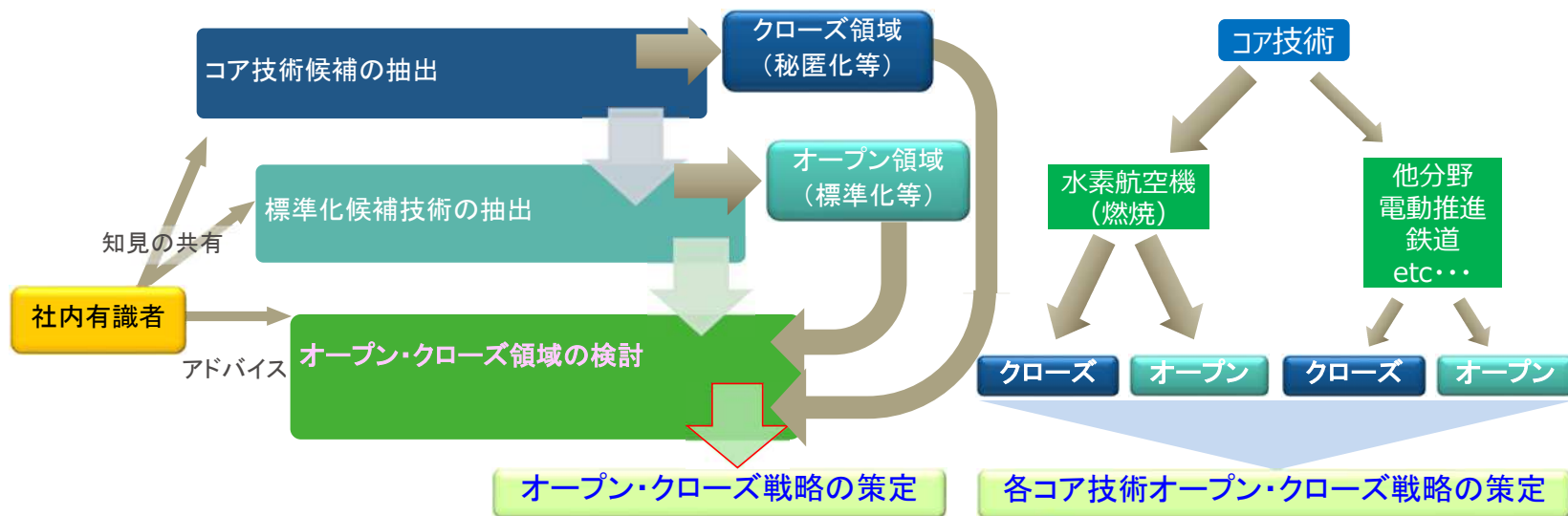


1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

事業化による包括的なシェア獲得のため、ルール形成を検討

水素航空機コア技術開発のオープン・クローズ戦略策定方針

- 本研究に関するオープン・クローズ戦略の作策定以下の方針に従い実施
- コア技術に対しては他分野への応用も含めてオープン・クローズ戦略を策定



国内外の動向とルール形成の取組

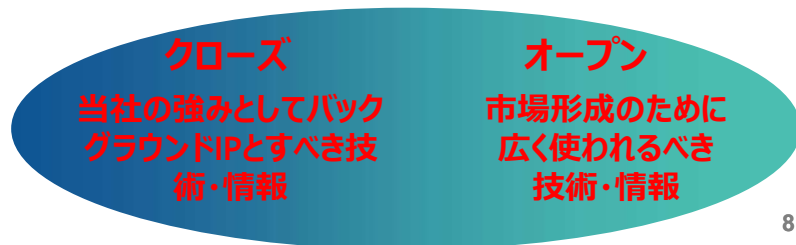
- FCSRGにおいて、EASAやFAA等の各国のRegulatorで構成されている国際会議に参加し、水素法規の動向を把握するとともに、社内のオープン戦略との関わりを確認
- 市場形成を推し進めるべく、水素航空機関連のルール形成に協力（ルール形成の場で自社の検討内容をオープン化）
- 規格化・標準化に向けたエアラインやOEMの動きを把握

オープン・クローズ戦略WGを立ち上げ、全社的な意見を取り込んだ戦略を検討

- 水素航空機に関するオープン・クローズ戦略WGを社内で立ち上げ
- オープン・クローズ戦略WGの第1回、第2回を開催し、社内外のコア技術の事例から規格化・標準化に関する検討方法を共有
- WGの検討を水素航空機プロジェクト推進会議でカンパニー上層部へ報告

※FCSRG: Fire Cabin Safety Research Group
EASA: European Union Aviation Safety Agency
FAA: Federal Aviation Administration

安全に関する技術・情報



1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

航空機／水素技術の強みを活かして、顧客に対して水素航空機コア技術を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

競合との比較

ターゲットに対する提供価値

- 水素航空機を開発する機体／エンジンOEMに対して、水素航空機コア技術を提供
 - 対象：水素燃料タンク／水素燃料供給システム／水素燃焼器
 - 航空機／水素に関する開発経験に基づく技術



自社の強み

- 水素航空機に必要な一気通貫技術力
 - 機体(全機／構造／装備システム)とエンジンでの一気通貫の開発経験／技術
 - インフラ等で養った水素関連技術
- 国内装備品メーカーとの強い連携

自社の弱み及び対応

- 民間固定翼に対する認証経験なし
 - 耐空性関連規則の理解・動向調査の強化
 - 国際標準化団体への参画に向けた活動

技術

顧客基盤

サプライチェーン

その他経営資源

自社

(現在)
・機体（全機／構造／装備システム）とエンジンの一気通貫技術
・インフラ関連の水素技術(産業ガスタービンで実証済み)

(将来)
・水素航空機コア技術

・機体OEM
エアバス社／ボーイング社等

・エンジンOEM
GE社／P&W社／RR社等

・防衛機開発で、国内装備品メーカーと設計／製造等の強い連携あり

・国内を主に、部品製造等の下請けあり

・液化水素運搬船／コンテナ車／貯蔵タンク／ガスタービンなど、製造／輸送／貯蔵／利用に関する各種水素設備・技術あり

航空機構造／装備品／エンジンコンポーネントサプライヤ
(米Spirit社／米Parker社／仏Safran社等)

・既存航空機／エンジンに対しては、優位な技術を有する
・水素技術は無し、もしくは限定的
・水素燃焼技術の研究開発開始

・機体OEM
エアバス社／ボーイング社等

・エンジンOEM
GE社／P&W社／RR社等

・部品製造等の下請けあり（各サプライヤによる）

水素関連サプライヤ
(例タンク:英Luxfer社等)

・水素タンクなど水素特有の技術を有する
・航空機やインフラ等の技術／経験無し、もしくは限定的

・タンク自動車OEM／プラント等

・部品製造等の下請けあり（各サプライヤによる）

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

20年間の研究開発の後、2040年頃の事業化、2050年頃の投資回収を想定

投資計画

	研究開発 →				事業化 ▼			投資回収 ▼	
	2021年度	...	2030年度	...	2040年度	...	2045年度	...	2050年度
売上高 (入金ベース)	0		0		約6,000億円				
研究開発費	約200億円（本事業の支援期間）			社会実装に向け研究継続					
取組の段階	研究開発の 開始		GI基金研究の 完了		事業化		研究開始から 20年		投資回収
CO ₂ 削減効果					0Mトン		40Mトン		90Mトン

※不確実性を前提とした上で、現時点での一定の仮定に基づき概算

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	- コンポーネントレベルではなく、社会実装／機体レベルの要求を満足するよう技術開発を推進する - 顧客となる機体／エンジンOEM、また外注先となる装備品／材料メーカー等と協力／連携し、研究開発を進める - 各国で進行中の水素航空機研究開発や空港インフラ／水素関連の動向を把握し、優位性／差別化を維持しつつ、協調して研究開発を進める	- 大型構造物となる水素燃料タンクの製造について、入念な事前検討を行う - コスト／フロータイム／生産レートを考慮した、最適な工場／設備／製造計画を検討する - 運搬成立性も考慮し、工場計画を進める	- 機体／エンジンOEMとの協力体制を早期に構築し、共同研究／受注につなげる - 水素技術力に加え、概念検討を通した社会実装のイメージについても機体／エンジンOEMと共有し共同検討の意義を高める - 運航コスト／水素価格などの経済性まで含めたシミュレーション計算 - 耐空性／運用法規制などの国際規格化の活動 - 国家間の連携スキーム、及び、複合材胴体技術と絡めた受注におけるシナジーの活用
進捗状況	- コア技術に対し、機体／エンジンOEMとの調整や情報共有を実施中 - エアバス社、関西エアポートと空港インフラ共同調査覚書締結、調査実施中	（機体仕様決定後、検討予定）	- コア技術に対し、機体／エンジンOEMとの調整や情報共有を実施中（左記に同じ） - 規格分野に対し、国交省／METI／JAXAと連携調整中
国際競争上の優位性	- 水素関連の運搬、貯蔵、水素タービン発電等の国内有数の技術を有しており、これらの技術を活用する - 国内には水素技術や設備を有し、要素研究／規格化など国際的な連携先を多く持つJAXAが存在する（研究設備など支援いただく予定）。研究開発段階では既存設備を活用することで試験期間や費用を圧縮する	- 世界的にも数社となる複合材一体成型胴体の製造設備を有する。また、それらの生産経験を通じて、効率的な工場／設備／製造計画の知見を有する - 航空用、地上用ガスタービンの製造設備を有する。また、それらの生産経験を通じて、効率的な工場／設備／製造計画の知見を有する	- 機体／エンジンOEMとは各種プロジェクトを通して共同研究・開発の経験あり - エアバス社の主導的立場である仏国の航空総局とMETIとは、協力覚書など航空分野の強力な連携あり - サプライチェーンなど水素利活用において、国際的事業多数あり

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

進捗状況①：直接／間接顧客であるOEMやエアラインとの連携を推進

機体OEMとの連携

（水素航空機向けコア技術）

- 機体OEMとの連携を開始し、情報共有を継続中
 - 弊社からは、当事業における開発技術や、弊社が有する水素技術を紹介
 - 機体OEMからは、開発想定概要や期待する技術についての情報を受領
- METI、NEDOと機体OEMを訪問し、今後の連携について意見交換実施。

（水素航空機向け空港インフラ）

- 水素航空機の社会実装に必須となる空港インフラの実現に向け、弊社が有する水素インフラ技術に、エアバス社が強い興味を示された
- 2022年から、航空機の水素利用に必要な政策提言と課題への取り組みに向けた調査検討をエアバス社と共同実施中

- 弊社水素戦略本部主体にて、水素の生産から空港への輸送、航空機への補給までの全体サプライチェーン構築に向けた調査を実施適宜、当事業研究担当者とも連携
- 2024年以降は、実際に設備を運用する立場である関西エアポートを加えて検討を実施



エアバス社との覚書締結プレスリリース

エンジンOEMとの連携

- エンジンOEMとの連携を開始。情報共有／協議を継続中
 - 機体OEMと同様、弊社技術の紹介
 - エンジンOEMの開発想定等の情報共有を実施

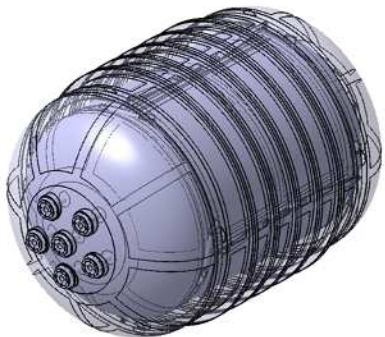
エアラインとの連携

- 国内エアラインと連携を継続中。議論／調整テーマの準備状況に応じて、定期的に情報交換を実施中
- 空港での水素給油方法や時間についてなど、水素航空機社会実装時の想定や課題について情報交換／議論を実施
- エアラインから運航者視点での要求や貴重な助言を頂き、適宜要求仕様や検討に反映

研究開発成果の航空機分野への活用を検討

■ 液化水素タンクをメインとした事業展開イメージを示す

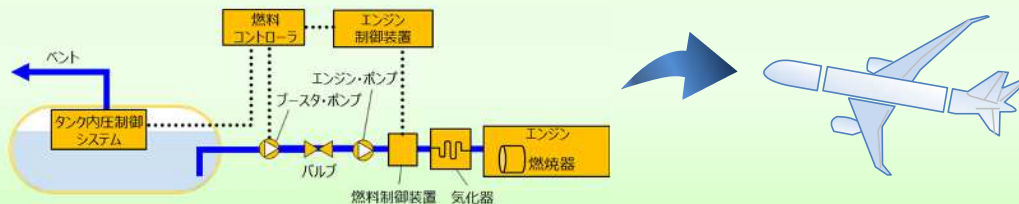
液化水素タンク技術



- ・ タンク構造軽量化技術
- ・ 断熱システム軽量化技術
- ・ 安全性、信頼性技術
- ・ 適切な温度・圧力で燃料供給技術

事業展開イメージ1

液化水素タンクと水素供給技術をシステムとして機体OEMに供給
(機体共同開発)



事業展開イメージ2

液化水素タンク単体(含・タンク内圧制御システム)を機体OEMに供給
(コンポーネント供給)

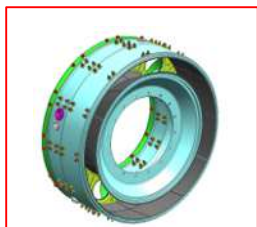


1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

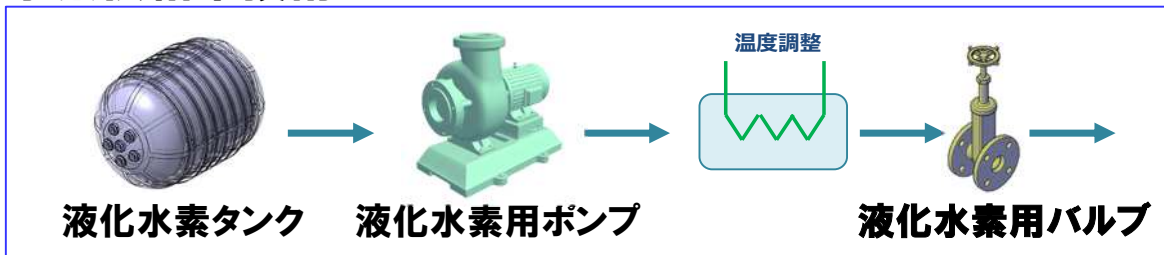
研究開発成果の他分野への活用を検討

- 本プロジェクトで開発したコア技術は様々な製品に適用可能

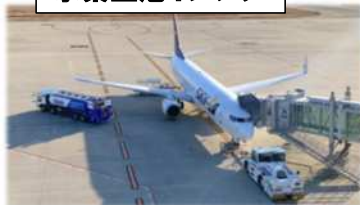
水素燃焼器



水素供給系技術



水素空港インフラ



水素供給車



水素ガスタービン

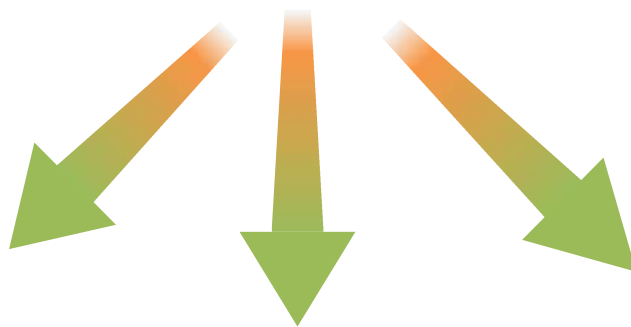


水素ガスエンジン



水素焚きボイラ

インフラ系燃料供給



FC車両



FCバス



FCTラック

モバイル系燃料供給



水素二輪車



水素四輪車



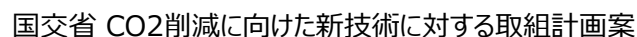
無人モビリティ

進捗状況②：関係省庁／機関との協力関係を構築

- 2021年度実施の「航空機運航分野におけるCO2削減に関する検討会」にオブザーバとして参加
- 2022年6月に設置された新技術官民協議会に参加。環境技術の実用化に向け、産学官が連携し、日本発の安全基準策定を志向
- 2022年度から新技術官民協議会の下部組織である水素ワーキンググループに、主導的立場で参加。事務局である国交省やMETI、参加企業と連携し、基準策定の観点から、水素航空機の社会実装化活動を実施
- 2023年度から新たに発足した国内協議団体設立準備WGに参加し、国内企業の標準化等をサポートする国内協議団体の設立準備に協力

- 先述の新技术官民協議会について、共同事務局であるMETIとも連携し調整実施
- METI委託事業の一環である「水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会」に参加。水素航空機メーカーとして航空機技術視点で検討を支援

- SAE: SAE主催の会合に参加し、規格策定の最新動向調査を実施
- JAXA: 基準／標準化の知見を有するJAXAとは、ポンプ開発等の本研究作業と合わせて、基準関連でも連携を構築。基準全般の知見や、SAE等での標準化の動向など、情報共有を実施中
- SJAC: 航空宇宙関連のISO取りまとめ機能を有するSJACと、水素航空機の基準関連の連携について調整を実施。ISOでは水素分野の検討は限定されるとのことであり、必要に応じて調整を実施する方針とした



※ SAE: Society of Automotive Engineers (自動車／航空宇宙関連標準化団体)
 SJAC: The Society of Japanese Aerospace Companies (日本航空宇宙工業会)
 ISO: International Organization for Standardization

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

国の支援に加えて、事業期間に30億円、その後も投資継続予定

資金調達方針



※インセンティブが全額支払われた場合

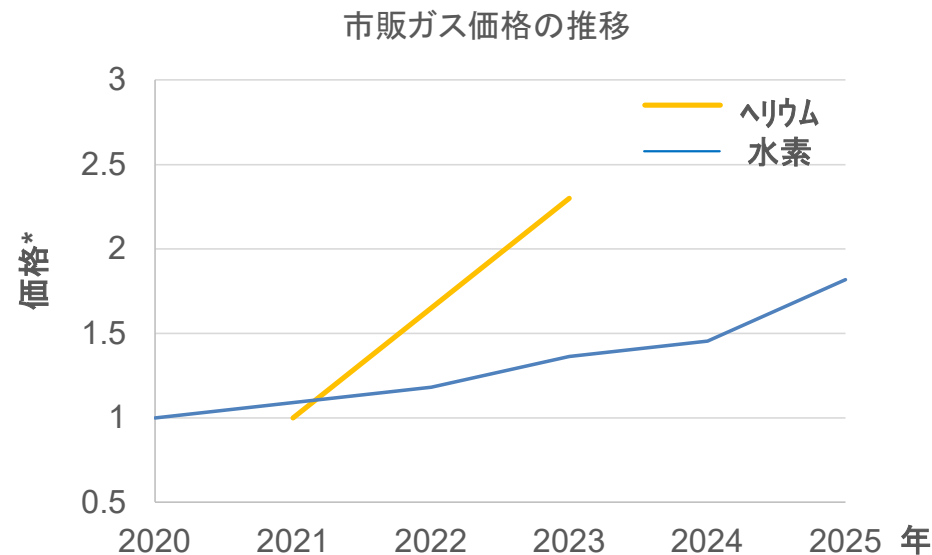
1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

予見性のない環境変化への対応

予見性のない環境変化

- ・液化窒素、液化ヘリウム等、試験で使用する消耗品の高騰
- ・人件費の高騰
- ・液化水素価格の高騰

研究計画立案時の2020年時点と比較して水素は最大1.8倍に高騰
(ヘリウムは2021年から2023年に最大2.3倍に高騰)



*水素は2020年、ヘリウムは2021年の価格を1として換算

対応策

- ・液化水素、液化窒素、液化ヘリウム等、試験で使用する消耗品の仕入れ先の見直し
- ・試験ケース、試験形態の見直し等による必要な液化窒素、液化水素量の見直し
- ・作業の効率化、外注化等による人件費の削減
- ・予見性のない環境変化に対応する増額
- ・今後の物価高という状況下においても、さらなる効率化を進めて社会実装へ取り組む予定

2. 研究開発計画

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

アウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目		アウトプット目標	
1. 水素航空機向けコア技術		水素航空機向けエンジン燃焼器及び液化水素燃料貯蔵タンクについて、水素航空機の実現の見通しが得られるレベルを達成し、併せて、CO2排出削減の社会的貢献に供しうる水素航空機の機体構想としてまとめる	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
① 水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発		化石燃料と同等以下のNOx排出量（ICAO*1 CAEP*2/8 -54%）を達成することを燃焼器リグ試験により示す *1 ICAO: International Civil Aviation Organization *2 CAEP: Committee of Aviation Environmental Protection	水素は化石燃料と比べて燃焼温度が高く低NOx化が難しい傾向にある。化石燃料と同等のNOx排出量を燃焼性能目標とし、脱炭素以外でも高い環境適合性を得られることを目指す
② 液化水素燃料貯蔵タンク技術開発		タンク構造重量を推算し、水素燃料重量の2倍以下を達成することを示す	水素航空機で従来機相当の重量、航続距離を達成するためにタンク重量目標値を設定 液化水素はケロシン重量の1/3で同等のエネルギーを発生でき、タンク重量が搭載水素の2倍（＝ケロシン重量の2/3）で、従来機相当の性能が期待できる
③ 水素航空機機体構造検討		2,000-3,000kmの航続性能を有する水素航空機の機体構想を確認する	CO2排出削減の社会的貢献の観点から、運航市場シェアの大きなエリアを設定 この航続性能は、路線距離で2,000kmに相当し提供座席距離の約60%をカバー 機体アーキテクチャを含む機体構想としてまとめる

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1	水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発	化石燃料と同等以下のNOx排出量にする	コンセプト設定段階 (提案時TRL2→現状TRL3) ↔ プロトタイプ地上試験確認完 (TRL6)	地上用ガスタービンでの知見を活用して航空機エンジン用のバーナを設計、試作し、要素試験により成熟度を高める	弊社の保有技術を活用することで実現性ありと想定 (70%)
2	液化水素燃料貯蔵タンク技術開発	タンク構造重量を水素燃料の2倍以下にする	コンセプト設定段階 (提案時TRL2→現状TRL3) ↔ プロトタイプ地上試験確認完 (TRL6)	- 以下方式の設計、試作、試験評価を通して技術成熟度を高める - 方式① 発泡断熱一殻構造タンク - 方式② 真空断熱二殻構造タンク	弊社の保有技術を活用することで実現性高いと想定 (80%)
3	水素航空機機体構造検討	2,000-3,000 kmの航続性能を有する水素航空機の機体構想を確認する	初期アイデア (提案時TRL1→現状TRL2) ↔ コンセプト検証 (TRL3)	- 全体成立性確保のため、シミュレーション／試験を用いて構想検討／検証作業を行う - 方式① 機体仕様／運航成立性シミュレーション - 方式② 風洞試験	①、②の成果を活用して、運用成立性／耐空性等への適合性を整合させる (70%)

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

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

直近のマイルストーン

2025年度 ステージゲート
コア技術構成品の単体性
能確認試験完了

- エンジン燃焼器開発
では、航空機エンジン
燃焼器用水素バーナ
単体試験を実施し、
性能を確認する
- エンジンシステム技術
開発では、コア技術構
成品（燃料ポンプ、
水素用バルブ、水素
用熱交換器、エンジ
ン燃焼器）に対して
単体試験を実施し、
性能を確認する

これまでの開発進捗

- バーナ形状の燃焼性能に対する感度を低圧燃焼試験にて調査
- 部分燃焼器試験に向けた燃焼器構造を検討中
- ソフトウェア的にシステムの作動状態を再現できる制御模擬装置（システム・シミュレータ）を構築した。これを用いて各種作動条件の状態確認と、熱交換器への熱衝撃を緩和する起動方法や水素漏洩の制御ロジック等を検討した
- 昨年度選定した熱交換器の基本形式を基に、単体評価用試作品のサイズを決定するとともに、詳細設計に必要なデータを要素試験で取得した
- 2024年の単体エンジン試験用エンジン部品と試験器材を製作完了し、社内試運転を実施。JAXA能代ロケット実験場での本試験に向けて準備中
- 水素燃焼器試験設備、極低温燃料供給試験設備は、当局やJAXA内の安全審査結果に応じて、計画の見直し中
- 燃料供給システム試験構想検討を実施。液化水素配管の要素試験を実施。燃料供給システム・コントローラの仕様検討実施。燃料ポンプコントローラの詳細設計実施
- BBMブースタ・ポンプの機能性能試験を実施中及びEMブースタ・ポンプ(1次試作)の機能性能試験を完了、EMブースタ・ポンプ(2次試作)の設計を実施中
- 水素用バルブの重要機能部試作(部分試作品)試験を実施し、試作品設計に必要なデータ取得を完了、試作品設計を実施中

進捗度

○：概ね計画通りに進
捗
（JAXA試験設備の計
画見直しは全体工程に
は大きな影響が出ないよ
う調整中）

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容

2 液化水素燃料 貯蔵タンク技術 開発

直近のマイルストーン

2025年度 ステージゲート
技術の構成品としての単体性能確
認試験完了

- ・タンクの部分構造における性能が、研究開発を進めていく中で技術仕様として決定する目標を満足することを断熱システム熱特性評価試験で確認する。当該試験は熱伝導率を測定する試験であり、研究開発を進めていく中で技術仕様として決定するボイルオフレートを確認する
- ・また、研究開発を進めていく中で技術仕様として決定する液化水素貯蔵タンクの最大使用内圧に対して、本研究開発で設計する液化水素貯蔵タンクが壊れないことを計算で確認する
- ・さらに、上記試験で評価した断熱システムを有する液化水素貯蔵タンク設計に対してタンク重量を推算し、重量が貯蔵水素燃料の2倍以下であることを確認する

これまでの開発進捗

- ・タンク内殻-外殻間の熱変形吸収可能な支持構造配置を検討。また、支持構造の耐振動特性について、タンク内殻重量と慣性モーメントを模したタンクダミーを用いて加振試験を実施し問題がないことを確認
- ・カロリメータ装置による断熱システムの断熱性能評価試験を実施。また、タンクへの断熱材施工プロセスを検討し、仮型形状への施工トライで工程を確認
- ・点検孔シール部の気密性を常温下で試験確認実施。また、姿勢変化時に燃料保持可能なバッフル配置を検討し、スロッシング解析で効果を確認
- ・アルミタンクの製造プロセス課題抽出を目的とした金属模擬タンク一次試作を実施し、製造プロセスを評価。またヘリウムリークチェックを実施し溶接品質を確認
- ・2022年度に選定した候補材の積層板疲労試験および水素透過による評価試験を実施し、高いレベルでのマイクロクラックフリーひずみを取得。また、タンク一次試作を実施し、タンク成形品質に起因するリークがないことを確認
- ・タンク内の温度・圧力制御システム・コントローラの主要構成検討及び設計作業を実施済。また、圧力リリーフ・バルブの試作品製作及び評価試験を実施済
- ・水素用バルブの重要機能部試作品(部分試作品)試験を実施し、試作品設計に必要なデータ取得を完了、バルブ試作品設計を実施中

進捗度

○：概ね計画通りに進捗

2. 研究開発計画／（２）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容

3 水素航空機機体構造検討

直近のマイルストーン

- 2025年度ステージゲート
主要系統検討・風洞試験
（機体構想の検証）
- 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
 - 風洞試験の実施、取得データに基づき空気抵抗などの空力データを算出、算出した空力データを用いた航続性能の確認

これまでの開発進捗

- 海外認証当局主催の水素安全に関するワークショップやSAE主催の会合に参加し、規格策定の最新動向調査を実施
- エンジン、燃料供給システム、燃料タンクの各系統担当と連携し、燃料供給配管周りの水素漏洩や水素火災に対する安全対策構想案を策定
- 水素航空機の運用シナリオの具体化に向けて、CORSIAの制度調査やエアラインとの意見交換を実施
- 2022年度に策定した機体仕様ベース案(非従来型航空機形態は2023年度に詳細化)の風洞試験模型を設計・製作し、風洞試験を実施。取得データを用いて飛行性能を推定し、従来型航空機形態が航続性能要求を満足することを確認

進捗度

○：計画通りに進捗

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

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

次のマイルストーン

2025年度ステージゲート
コア技術構成品の単体
性能確認試験完了

- エンジン燃焼器開発では、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
- エンジンシステム技術開発では、コア技術構成品（燃料ポンプ、水素用 バルブ、水素用熱交換器、エンジン燃焼器）に対して単体試験を実施し、性能を確認

残された技術課題

- さらなるNOx排出抑制、燃焼振動抑制および実機条件におけるNOx排出量予測精度の向上
- 2025年度に実施する燃料制御装置試験の詳細計画策定と供試体や試験器材の設計
- 熱交換器の詳細設計と設計検証地上試験用エンジンへの低NOx燃焼技術の展開（小型化）環状燃焼器試験設備について、安全対策上の懸念から、調布宇宙センター既存設備の水素化改造は断念。代替設備の検討が必要
- 燃料供給システムの詳細検証方法の確立及び航空機環境にて所要の性能を維持する液化水素配管の検討が必要
- ブースタ・ポンプのキャビテーションの抑制

解決の見通し

- 高圧燃焼試験で、高圧下でのバーナ形状感度特性を取得し、その結果を活用しながら後続の部分燃焼器試験でさらに改良設計を進めていく。蓄積されてきた要素試験データをNOx排出量予測精度検証に活用し、設計の効率化を図る
- 燃料制御装置試験の試験計画設定や器材の手配は、先行プロジェクトの知見を活用
- 熱交換器は、前ステージで開発した高精度数値解析手法と要素試験や試作品の環境試験を行いながら、設計成立性を検証
- 水素対応化した自社開発小型エンジンの単体試験を実施し、機能を確認。システム試験に向けての技術課題を洗い出し、さらなる改良を実施
- JAXAの協力の元、JAXA他事業所（角田、能代）への新設と海外設備の借用候補の両面で検討中
- 一次元解析モデルとの比較による試験検証プロセスの確立と、航空機環境と航空機機装方式の知見活用
- 可視化(水)試験によるキャビテーション発生状況の評価及びEMブースタ・ポンプ(2次試作)での設計改善、実液試験での評価を実施

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容

2 液化水素燃料 貯蔵タンク技術 開発

次のマイルストーン

2025年度ステージゲート

- 技術の構成品としての単体性能確認試験完了
- タンクの部分構造における性能が、研究開発を進めていく中で技術仕様として決定する目標を満足することを以下の試験で示す
- 断熱システム熱特性評価試験
断熱システムの熱伝導率を測定する試験であり、研究開発を進めていく中で技術仕様として決定するボイルオフレートを満足することを確認
- また、研究開発を進めていく中で技術仕様として決定する液化水素貯蔵タンクの最大使用内圧に対して、本研究開発で設計する液化水素貯蔵タンクが壊れないことを計算で確認
- さらに、上記試験で評価した断熱システムを有する液化水素貯蔵タンク設計に対してタンク重量を推算し、重量が貯蔵水素燃料の2倍以下であることを確認

残された技術課題

- タンク構造、断熱システムの軽量化及び安全性等の確保
- 金属：十分な溶接強度を維持しながらタンク形状を構築するための溶接組立技術、配管取り出し部等の熱変形吸収構造の製造性
- 複合材：水素透過対策およびアウトガス対策、気密性維持のために極力継ぎ目が少ない一体成形技術の確立
タンク内の温度・圧力制御システムのシステム制御則の最適パラメータの確立

解決の見通し

- 航空機軽量構造の開発知見の活用、弊社地上/船舶用タンク開発知見の活用。模擬タンク試作による課題洗い出し、改良案検討を通して段階的に技術課題を解決することを計画
- 弊社地上/船舶用タンクにおける溶接組立の技術知見活用。また、試作と検証を段階に実施して技術構築していくことを計画
- 航空機複合材部材一体成形の技術知見活用、水素透過並びにアウトガス対策を兼ねたライナ材の検討継続
- 弊社地上/船舶用のタンク内の温度・圧力制御システムの知見、解析評価及びシステム・コントローラとヒーターを接続した評価試験結果を活用

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容

3 水素航空機機体構造検討

次のマイルストーン

2025年度ステージート
主要系統検討・風洞試験
（機体構想の検証）

- 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
- 風洞試験の実施、取得データに基づき空気抵抗などの空力データを算出、算出した空力データを用いた航続性能の確認



残された技術課題

- 安全面と性能面の両立
- 運用シナリオの具体化、運用面と性能面の両立
- 非従来型航空機形態の揚抗比改善
- 従来型航空機形態と非従来型航空機形態の飛行性評価

解決の見通し

- 安全対策構想案に基づくシステム仕様が飛行性能に与える影響を風洞試験等で取得したデータを用いて評価
- 水素航空機に関する規格策定の最新動向を継続して調査し、安全要求（想定規格）の見直しと機体仕様の更新を繰り返すことで、段階的に成立性を向上
- 継続してエアラインや空港等から情報収集を行い、顧客ニーズと社会動向を踏まえた運用シナリオを検討し、その結果を踏まえて運用成立性のある機体仕様に更新
- 非従来型航空機形態の推進部まわりの形状修正による気流剥離抑制（抵抗低減）と、平面形の見直しによる揚抗比改善を図り、風洞試験で確認
- 各種舵面の空力特性データを風洞試験で取得し、飛行性を評価

2. 研究開発計画／（2）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

地上用水素ガスタービン開発の知見を活かして、気化器・燃料制御システム等の補機を含めてエンジンシステムとしての成立性を満足させる。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

NOx排出量
確認

環状燃焼器
試作

バーナ改良設計
ライナ改良設計

NOx排出量
燃焼器温度分布
燃焼振動

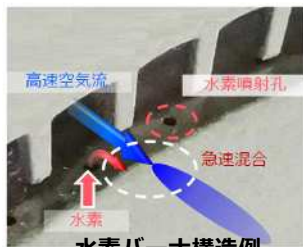
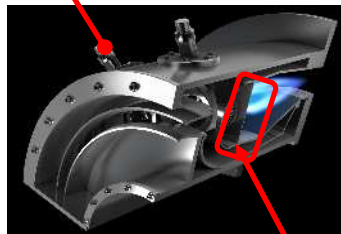
バーナ構造設計
ライナ構造設計

NOxデータ
安定燃焼性、など

環状燃焼器での
性能、構造評価

部分燃焼器での
性能、構造評価

バーナ単体での
性能計測



水素バーナ構造例

水素バーナ燃焼試験

TRL 6

水素タンク、燃料供給系統との
統合システム地上試験

液化水素燃料タンク
(タンク内圧制御含む)

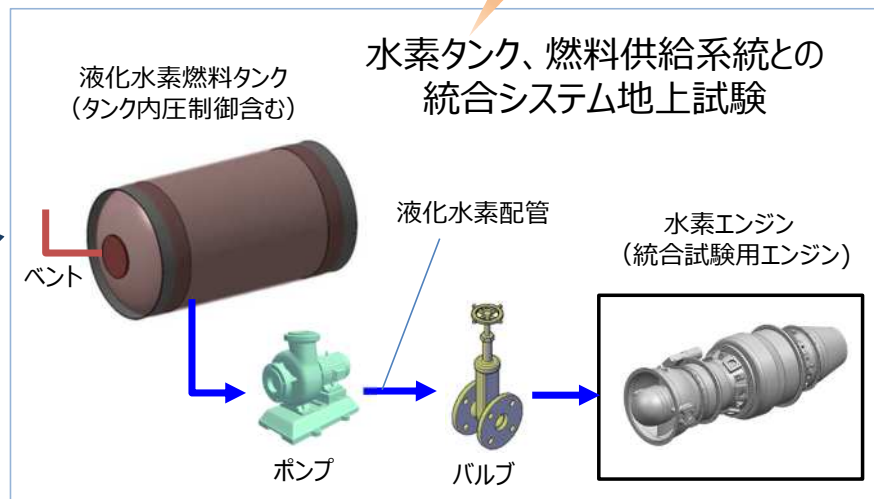
液化水素配管

水素エンジン
(統合試験用エンジン)

ベント

ポンプ

バルブ



2. 研究開発計画／（2）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

地上用水素ガスタービン開発の知見を活かして、気化器・燃料制御システム等の補機を含めてエンジンシステムとしての成立性を満足させる。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

当該技術（水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発）の位置づけ

- 独自性：弊社地上用水素ガスタービンにて知見を蓄積した燃焼方式を活用するため、独自性あり
- 新規性：燃焼方式の原理自体は既知の技術だが、出力変動や最大出力への要求が厳しい航空エンジンへの適用実績はなく、新規性あり
- 優位性：他の燃焼方式に比べて逆火が発生しにくく安定している点で技術的優位性あり
また、自社技術の開発・運用実績を活用できる点でも優位性あり
- 実現可能性：70%（航空エンジン用としての構成品の成立性及び性能を確保することが特に重要な技術課題）
- 残された技術課題の解決の見通し
 - ✓ NOx低減
高温・高圧下でのNOx排出量を早期に予測し、技術課題を抽出する
地上用水素ガスタービンでの知見を基にバーナ形状の調整を行うことで解決可能と想定している
 - ✓ 安定燃焼性
水素燃焼時は燃焼振動が発生しやすい
要素試験・数値解析による流れの可視化、振動評価を行い、広い作動範囲で安定燃焼を維持するための検討を行う
 - ✓ 小型・軽量化
航空エンジンでは空間的な制約が多く、バーナの適正な配置と低NOx化の両立が難しい懸念がある
研究初期では複数の燃焼方式を視野に入れて、航空機エンジン燃焼器に相応しいバーナ構造を選定・開発する
 - ✓ 安定供給
航空機エンジンの出力変動に応じた流量、圧力、温度の燃料を供給する必要がある
JAXAの水素用ポンプの開発経験及び弊社の既存航空機の供給システムの知見を利用することで解決の見通しがある
 - ✓ 水素航空機に対する規格／設計基準
当該技術に関連する国際標準化活動への参加、認証取得に向けた安全性を示すためのロジック・方針の検討を進める

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-0】実施計画書 中項目・年度毎のマイルストーン

項目	2023年度	2024年度	2025年度
A-1 航空エンジン用水素燃焼器の開発	・バーナ単体性能の改善 ・部分燃焼器の構造検討実施	・部分燃焼器供試体の設計完了	・部分燃焼器試験装置製作 ・部分燃焼器試験準備開始(※)
A-2 水素燃焼器試験用水素供給設備の整備	・高温高圧燃焼試験設備の工事着手	・環状燃焼器試験設備の計画見直し	・高温高圧燃焼器試験設備の整備完了
B-1 水素エンジン補機システムの開発	・制御模擬装置の構築 ・基本的燃料制御ロジックの設定	・燃料制御装置の詳細設計完了 ・燃料制御装置単体試験の準備着手	・燃料制御装置単体試験の実施完了
B-2 燃料供給システムの開発	・燃料供給システム試験の構想検討完了 ・液化水素配管要素試験の実施完了 ・ポンプ・コントローラの設計完了	・燃料供給システム試験条件の検討完了 ・液化水素配管/継手の設計完了 ・ポンプ・コントローラ製作/評価試験完了 ・システム・コントローラの設計完了	・液化水素配管/継手試験の実施完了 ・システム・コントローラ製作/評価試験完了
B-3 燃料ポンプの開発(JAXA共同実施)	・BBMブースタ・ポンプの液化窒素試験の実施完了 ・試験用エンジンポンプの設計完了	・BBMブースタ・ポンプの性能評価完了 ・試験用エンジンポンプの液化窒素試験の実施完了	・試験用エンジンポンプの性能評価完了
B-4 燃料ポンプの開発(日機装再委託)	・EMブースタ・ポンプ(1次試作)の液化窒素/液化水素試験の実施完了、性能評価完了	・EMブースタ・ポンプ(2次試作)の液化窒素/液化水素試験の実施完了、性能評価完了	・EMブースタ・ポンプ(供試体用)の液化窒素/液化水素試験の実施完了、性能評価完了
B-5 水素用バルブの開発(キット再委託)	・重要機能部試作品試験の完了	・実バルブ試作品設計、試験の完了	・バルブ試作品耐久試験の完了 ・システム試験用バルブの製作完了
B-6 水素用熱交換器の開発(住友精密再委託)	・熱交換器要素の設計完了 ・評価試験用供試体の詳細設計着手	・試作熱交換器の環境試験の着手	・試作熱交換器の性能検証完了 ・統合地上試験用熱交換器の製作完了
B-7 地上実証用エンジンの開発	・拡散燃焼型水素燃焼器の設計完了 ・エンジン単体試験の主要部品集結完了	・第1回エンジン単体試験の実施完了	・エンジン改良設計の実施 ・第2回エンジン単体試験の準備開始
B-8 極低温燃料供給設備の整備(JAXA共同実施)	・極低温燃料供給試験設備水素系統の工事着手、窒素系統の計画見直し	・極低温燃料供給試験設備水素系統の計画見直し ・JAXA能代能力増強設計の完了	・極低温燃料供給試験設備(水素系統、窒素系統)の供用開始 ・JAXA能代能力増強の改修工事完了

(※)NOx排出量: 目標である「ICAO CAEP/8比54%低減」を達成していることを2028年度に環状燃焼器試験で確認する。(数値目標)

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-1】エンジン燃焼器開発

【これまでの開発進捗】

- 水素バーナの改良設計に資するデータ取得のため、形状パラメータを振った水素バーナを複数製作
低圧燃焼試験にてNOx排出量のデータを取得し、形状感度の調査を実施
NOx排出量が低かった形態を高圧燃焼試験に供試し、入口圧力に対するNOx排出量の感度を取得予定。高圧燃焼試験の準備中
- 部分燃焼器試験に向けた、燃焼器構造検討（ライナ、バーナ、燃料配管、整流構造）を実施。燃料配管の構造や水素燃焼器の周方向の分割構造を検討し、基本形状を設定。数値解析にて燃焼器内の流れ場を確認し、課題を抽出中

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-1】エンジン燃焼器開発（つづき）

【残された技術課題】

- さらなるNOx排出抑制、燃焼振動抑制
- 実機条件におけるNOx排出量予測精度の向上
- 試験環境の整備

【解決の見通し】

- 低圧燃焼試験で絞り込んだ水素バーナを高圧燃焼試験に供試し、NOx排出量を確認する
試験結果を評価してNOx低減に資するバーナ形状を設定し、部分燃焼器用水素バーナ的设计に反映する
- 引き続き試験データを蓄積し、予測精度検証に活用する
- JAXA調布航空宇宙センターの燃焼試験設備に水素供給設備を整備し、部分燃焼器試験の実施環境を整える
(環状燃焼器試験に向けて、海外設備の利用も視野に入れて調査を継続する)

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-2】エンジン補機システムの開発

【これまでの開発進捗】

- ソフトウェア的にシステムの作動状態を再現できる制御模擬装置（システム・シミュレータ）を構築
- 作動シミュレーションの結果、これまでに設定した基本構成に対し、水素温度を調整するためのバイパス機構と圧力や流量の変動を抑制するためのバッファタンクの追加が必要と判断し、基本構成を更新した
- 熱交換器への熱衝撃を緩和する起動方法や熱交換器からの水素漏洩に対する制御ロジックとこれを実現するための詳細なシステム構成を設定した

【残された技術課題】

- 2025年度に実施する燃料制御装置試験の詳細計画策定と供試体や試験器材の設計
- 制御模擬装置への前項検討結果の反映と、過渡状態を含むシステム作動状態の最適化検討（制御ロジックとシステム構成の更新）

【解決の見通し】

- 燃料制御装置試験の詳細計画と供試体や試験装置の設計は、地上用ガスタービンなどの先行事例の知見も反映して、コンポーネントレベルでの技術課題に的確に対応できるようにする
- システム構成の変更に応じたシステム・シミュレーションを綿密に行うことで、設計段階におけるシステム構成の成熟度（安定性と信頼性）を高め、試験検証段階からの出戻りリスクを減じる

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-3】水素熱交換器の開発

【これまでの開発進捗】

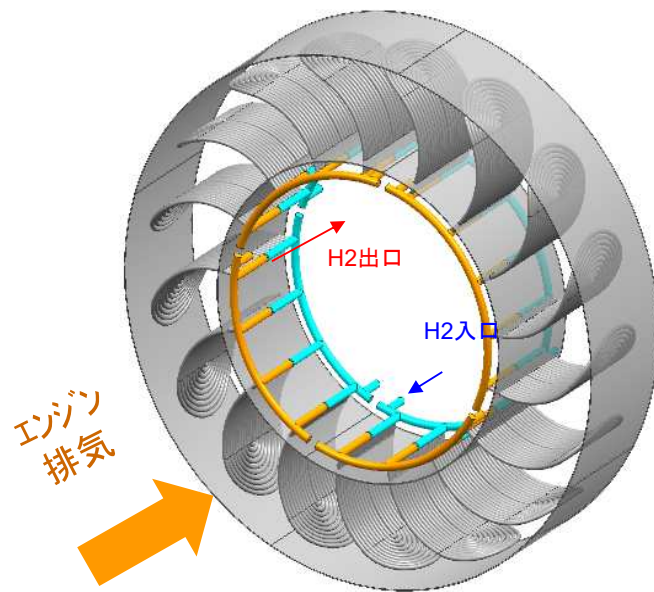
- 2022年度に選定した基本形態に対して、詳細設計に向けたデータ取得試験と数値解析（超臨界水素の特性、部分熱交換器の液化水素試験、溶接部の健全性確認試験、フラッタの解析と部分モデル試験、過渡状態の熱応力解析等）を実施
- 地上実証用エンジンに搭載する熱交換器のサイズを決定
- システム安全対策と連携して、熱交換器の基本構造を設定

【残された技術課題】

- 環境試験及び性能試験用熱交換器供試体（試作品）の詳細設計
- 環境試験及び性能試験の詳細条件設定と試験器材の設計・手配
- 熱応力の回避と振動剛性を両立できる構造の成立性検証

【解決の見通し】

- 溶接試験、フラッタ試験、過渡状態の熱応力解析等で明らかになった技術課題に対応しながら、詳細設計の実施中
- B-1エンジン補機システムと連携して、環境試験及び性能試験の詳細条件設定と、JAXA能代実験場との調整を進める
- 環境試験の結果を反映して、性能試験用供試体は再製作する計画



熱交換器 基本形態のイメージ

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-4】地上実証用エンジンの開発

【これまでの開発進捗】

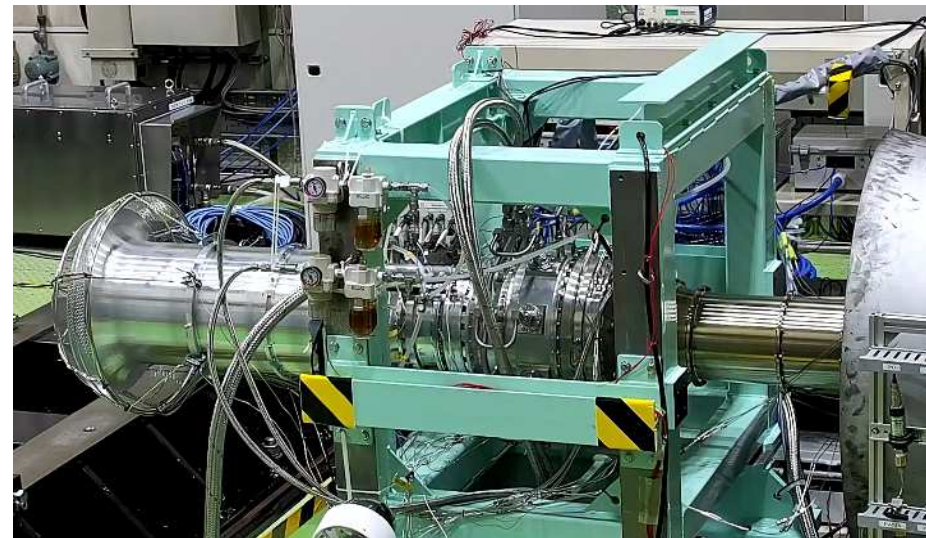
- 地上実証用エンジン部品調達および組立完了
- 試験用の補器・計測・制御装置の設計・調達し、社内試験場への設置完了
- 地上実証用エンジンの都市ガスを用いた社内試運転完了
- 10月のJAXA能代での水素運転試験の準備中

【残された技術課題】

- JAXA能代ロケット試験場での水素運転試験の試験方案詳細検討
- 地上実証用エンジンへのドライ低NOx燃焼方式の適用
- 熱交換器の組み込みを可能とするための地上実証用エンジンの改修
- 地上実証用エンジンポンプの開発（B-3b項として実施）

【解決の見通し】

- JAXA能代担当者との調整を密に行い、試験計画に反映する
- 地上実証用エンジン用のドライ低NOx燃焼器は、A-1項の開発成果を展開しながら、小型化の検討を行う
- 熱交換器開発（B-6項）と連携して、熱交換器の搭載形態を検討する
- 試験用エンジンポンプは、B-3項のBBMブースターポンプを多段化して対応する。今年度から供試体の製作に入る



地上実証用エンジン 社内試運転（都市ガス運転）

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-5】水素燃焼器試験設備／極低温燃料供給試験設備（JAXA共同実施）

【これまでの開発進捗】

- JAXA調布航空宇宙センターの高温高圧燃焼器試験設備の整備中。環状燃焼器試験設備については、安全対策上、当初の計画を見直し、高温高圧燃焼器試験設備で小規模の予備試験、海外設備を借用して本試験を実施する方向で計画の見直し中
- 極低温燃料供給試験設備は、液化窒素系統は環状燃焼器試験設備の計画見直しに伴い、JAXA角田宇宙センターの既存建屋に設置場所を変更して詳細設計作業中。液化水素系統の現計画は、他プロジェクトの影響により不確実なため、設置場所の再検討中

【残された技術課題】

- 環状燃焼器試験設備と極低温燃料供給試験設備（液化水素系統）の計画確定

【解決の見通し】

- 試験スケジュールへの影響が最小化できるよう、代替設備の状況も踏まえながら、計画中

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-6】燃料供給システム開発

燃料供給システム

【これまでの開発進捗】

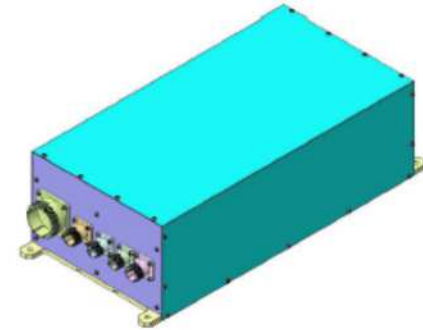
- 燃料供給システム試験の構想検討完了、試験実施場所候補選定、インターフェース調整実施
- 液化水素配管及び継手 断熱構造の検討及び妥当性評価試験実施
- 真空二重配管の液化水素要素試験実施
- 燃料供給システム・コントローラの仕様設定完了及び設計着手、評価試験用器材の設計着手
- 燃料ポンプ・コントローラ試作機能確認試験及び設計完了、製作開始

【残された技術課題】

- 燃料供給システムの詳細検証方法の確立
- 液化水素配管及び継手の製造性向上、飛行荷重による航空機構造変位吸収、高振動等の航空機適合性確保

【解決の見通し】

- 一次元解析モデルと試験結果との比較検証プロセスを詳細検討することにより、解決の見通しあり
- 要素試験結果に基づいた設計改良により基本性能を確保の上、航空機環境(飛行荷重による航空機構造変位吸収、高振動等)に適用可能な液化水素配管及び継手に改良することにより解決の見通しあり



燃料ポンプ・コントローラ設計 - 外観図



断熱構造の妥当性評価試験

2. 研究開発計画／（2）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

【資料①-7】燃料供給システム開発

ブースタ・ポンプ

【これまでの開発進捗】

- BBMブースタ・ポンプの試験用配管系統の製作を完了し、液化窒素試験(初期確認)を完了
- EMブースタ・ポンプ(1次試作)の液化窒素試験及び液化水素試験(性能確認)を完了
- EMブースタ・ポンプ(2次試作)の設計を実施中

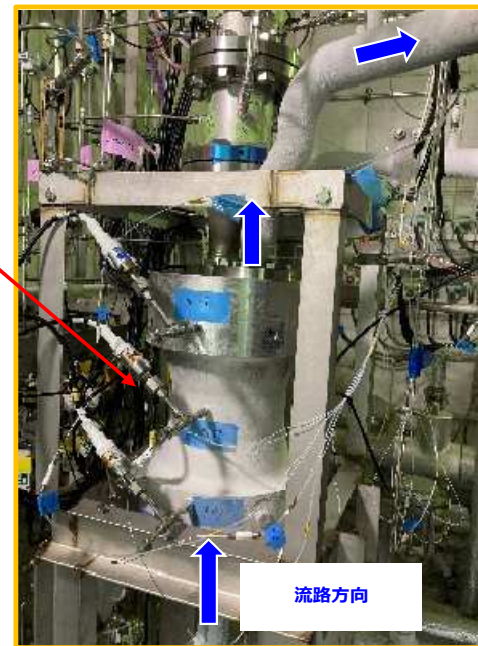
【残された技術課題】

- EMブースタ・ポンプのキャビテーションの抑制

【解決の見通し】

- キャビテーション発生状況の評価のための可視化(水)試験による段階的な技術確認を通して技術成熟度を向上させることにより、解決の見通しあり
- EMブースタ・ポンプ(2次試作)にて、液化窒素及び液化水素試験で検証することにより、解決の見通しあり

EMブースタ・
ポンプ(1次試作)



EMブースタ・ポンプ(1次試作)の液化水素試験

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

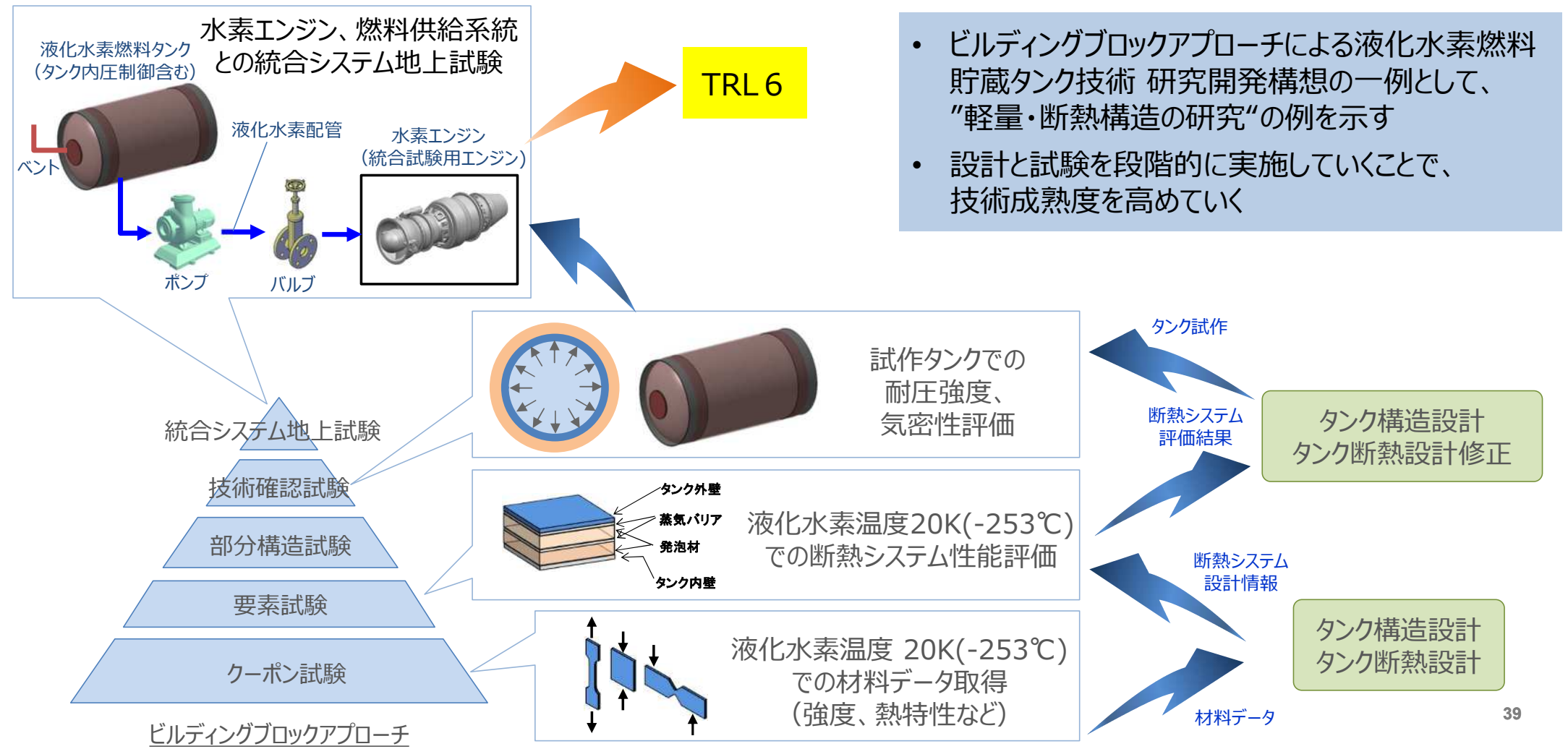
②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

- 研究開発実施内容を下表に示す
- 本研究では、タンク構造軽量化に必要な薄型断熱構造等の研究開発に取り組む
なお、本技術は、水素航空機だけでなく、液化水素を使用する他の用途（燃料電池を使用した電動航空機など）にも適用できる
- 次ページに、“軽量・断熱構造の研究”を例に、研究の進め方を示す

研究開発実施項目	研究開発実施内容
軽量・断熱構造の研究	- クーポンレベルの試験を通して、設計に必要な強度および熱特性データを取得する - 水素を液化状態に保持することができる軽量断熱構造を設計し、重量を推算する - 要素、試作タンクレベルの試験で断熱性能、強度、長期耐久性の目途を得る
燃料供給艀装構造の研究	- 燃料タンク内の艀装（燃料揺動防止のためのスロッシングバッフルや気密性に優れた点検孔、燃料配管など）を設計し、重量を推算する - 要素、部分構造、試作タンクレベルの試験で燃料揺動抑止や気密性確保の目途を得る
タンク支持構造の研究	- 航空機の運動や非常着陸等を考慮した大きな慣性荷重（加速度による）に耐荷できる支持構造を設計する - 支持構造からのタンク入熱を低減するための断熱構造を設計する - 要素、部分構造、試作タンクレベルの試験で支持構造強度と断熱性能の目途を得る
タンク内の温度・圧力制御システムの研究	- 航空機の運用に必要なタンク内の温度・圧力等を計測するシステムを設計する - 液化水素のボイルオフやエンジンの燃料消費によるタンク内の圧力変動を防止し、エンジンへの供給燃料を適切な温度・圧力範囲に制御するシステムを設計し、試作タンクを使用した試験でシステム成立性の目途を得る

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発



2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

当該技術（航空機向け 液化水素燃料貯蔵タンク技術）の位置づけ

- 独自性、新規性：液化水素を対象とした航空機は実用化されておらず、このタンク開発自体に独自性、新規性あり
- 優位性：弊社保有の水素総合技術力（液化水素製造技術、地上および船舶用液化水素貯蔵技術）と航空機開発能力に優位性あり
- 実現可能性：80%（航空機に要求される高度な安全性の確保が特に重要な技術課題）
- 残された技術課題の解決の見通し

弊社の開発知見（航空機、水素運搬船、地上水素貯蔵設備、地上水素ガスタービン発電設備）を活用して、以下の技術課題を解決していく

✓ タンク構造軽量化

設計から試験による技術確認を段階的に進めて技術成熟度を高めていくことで解決の見通しあり

✓ 断熱システム軽量化

宇宙用途の事例も参考にし、軽量の断熱構造の解を探っていくことで解決の見通しあり

✓ 長期運用

設計から試験による技術確認を通して技術成熟度を高めていくことで解決の見通しあり

✓ 安全性、信頼性（気密性、漏洩対策、火災防止）

航空機の安全性、信頼性を考慮した設計を進めていく

認証当局の水素航空機向けの安全性要求規格化はこれからであり、本研究の中で規格案を検討しつつ設計を進める

✓ エンジンへの適切な温度・圧力での燃料供給

設計から試験による技術確認を通して技術成熟度を高めていくことで解決の見通しあり

✓ 水素航空機に対する規格／設計基準

当該技術に関連する国際標準化活動への参加や、認証取得に向けた安全性を示すためのロジック・方針の検討を進める

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-0】実施計画書 中項目・年度毎のマイルストーン

項目		2023年度	2024年度	2025年度
A-1	液化水素貯蔵タンクの設計	・支持構造取付位置の設計完了	・断熱システム構成の設定完了 ・断熱システム施工方法の設定完了	・候補材料の最終選定 ・タンク推算重量の評価完了※
A-2	規格調査、安全性ロジックの検討	・規格動向調査および安全性証明のための試験方法更新	・規格動向調査および安全性証明のための試験方法更新	・規格動向調査および安全性証明のための試験方法更新
A-3	液化水素貯蔵タンク用金属材料の評価	・試作によるタンク製造上の課題抽出	・試作タンク溶接条件の設定完了 ・配管、支持構造取付部の製造プロセス設定完了	・点検孔取付部の製造プロセス評価完了
A-4	液化水素貯蔵タンク用複合材料の評価	・要素試験による強度データ取得完了 ・試作によるタンク製造上の課題抽出	・タンク製造プロセス設定完了	・構造試験による模擬タンク評価完了
A-5	液化水素貯蔵タンク 要素・部分構造評価	・断熱システムの熱特性評価完了	・断熱システムの耐久性評価完了	・タンク外殻強度の評価完了
B	燃料供給艙装構造の研究	・点検孔シール部材試作評価完了 ・スロッシングバッフルおよび配管取付構造の基本構成設定完了	・点検孔取付部 設計検討完了 ・スロッシングバッフルおよび配管取付構造の設計完了	・点検孔取付部 気密性評価完了
C	タンク支持構造の研究	・支持構造強度試験による評価完了	・支持構造の改良設計完了	
D-3	タンク内の温度・圧力制御システムの仕様設定、製作、評価試験	・タンク内の温度・圧力制御システム試験用供試体に対する要求仕様設定完了 ・タンク内の温度・圧力制御システム試験用供試体の設計完了	・タンク内の温度・圧力制御システム試験用供試体の製作完了	・リリーフ・バルブ、制御コントローラの機能・性能評価試験の実施完了
D-4	水素用バルブの開発(キット再委託)	・重要機能部試作品試験の実施完了	・実バルブ試作品設計、試験の実施完了	・バルブ試作品耐久試験の実施完了 ・システム試験用バルブの製作完了
D-5	タンク内の温度・圧力制御システムの設計	・タンク内の温度・圧力制御システムの制御則の設定完了	・タンク内の温度・圧力制御システムの制御則パラメータの設定完了	・タンク内の温度・圧力制御システムの制御則へのシステム構成品特性反映完了
E	試作タンク技術確認試験	・タンクスロッシング試験の試験条件の設定完了	・タンクスロッシング試験の供試体を製作完了	・タンクスロッシング試験/解析(水及び液化窒素)の実施完了

補足)タンク開発は競争が厳しい分野であるため、競合他社の開発状況等の調査を適時行い、必要に応じ本プロジェクトへフィードバックを行う予定

※貯蔵水素燃料の2倍以下であることを確認する(数値目標)

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-1】液化水素貯蔵タンクの設計

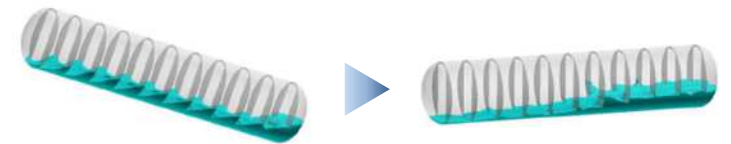
真空断熱二殻構造タンク設計

【これまでの開発進捗】

- 真空断熱二殻構造タンクの内殻と外殻を繋ぐ支持構造の取付部材に対し、軽量化設計を実施
- 液化水素充填により収縮する内殻と、常温状態の外殻の間に発生する熱変形の不マッチを吸収可能な支持構造配置を検討。FEM解析を実施し、熱変形後に有害な応力発生がないことを確認
- 試作タンク相当サイズのタンクダミーを製作し、支持構造の耐振動特性を試験で評価
- 不燃性MLIを用いた断熱材施工トライを実施。破れやすいMLIの施工手順を確認
- カロリメータ装置による断熱システムの断熱性能評価試験を実施
- 点検孔シール部材を試作し、常温下で気密試験を実施。十分な気密性を有することを確認
- 姿勢変化で生じる燃料揺動を抑えるバッフル配置を検討。簡易な姿勢変化パターンを設定し、スロッシング解析で効果を確認



支持構造 振動試験
試験架構およびタンクダミー 外観



姿勢変化を考慮したスロッシング解析 結果代表例

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-1】液化水素貯蔵タンクの設計（つづき）

真空断熱二殻構造タンク設計

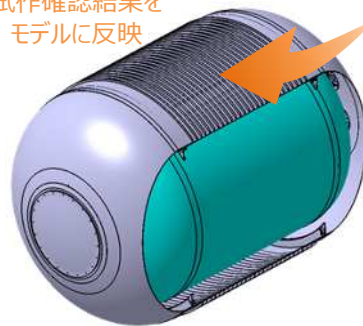
【残された技術課題】

- タンク構造、断熱システムの軽量化及び安全性等の確保
- 内殻-外殻支持構造の低入熱、強度、耐振動性の両立
- 支持構造やタンク配管等の突起部の断熱材施工方法と断熱性能への影響
- タンク内艀装詳細検討
（点検孔 極低温下の気密性、タンク内バッフル配置）

【解決の見通し】

- タンク軽量構造については、弊社の航空機開発知見や複合材構造、金属構造の高度なFEM解析技術を活用した設計と、2024年度に実施する各種試作（次ページ以降参照）を通した軽量構造案の製造面での成立性確認を促進することで解決可能
- 支持構造については、2023年度までの試作や試験結果をもとに、2024年度は詳細設計を進めていく計画。本作業を通して軽量、低入熱、耐振動性の両立解を探っていくことで解決可能
- 断熱システムについては、2024年度に、金属タンク二次試作に対して断熱システム施工を実施し、液化窒素を充填して断熱性能評価を実施する計画。当該試験を通して課題抽出を進めていくことで解決可能
- 艀装については、2024年度に、点検孔シール部材の極低温下気密試験を計画。試験を通して技術確認と課題抽出を進めていく予定。バッフル検討については、2024年3月から共同実施先として東京大学 姫野教授に参加していただき、共同で実施していくことで解決可能

試作確認結果を
モデルに反映



タンク構造設計 最新状況
（2023年度 金属試作等の結果を反映）

2023年度 外殻リング試作



2023年度 点検孔シール気密性
評価試験試験治具

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-2】液化水素貯蔵タンクの設計

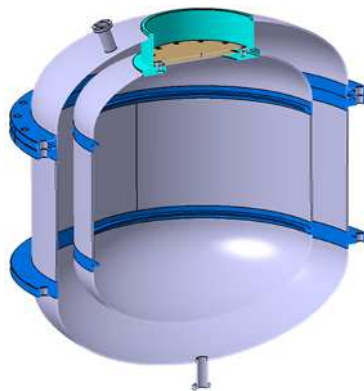
タンク用金属材料評価

【これまでの開発進捗】

- 溶接は気密性確保に有利な接合技術であるが、強度が低下する。2219アルミ合金による軽量化構造を目指して溶接箇所を極力少なくするため、ドーム部の一体化成形試作を実施し、成形可能なことを確認
- 2219アルミニウム合金に対し、模擬タンク一次試作を実施。試作後にヘリウムリークチェックを実施し、溶接部から漏れがないことを確認。また、溶接実施前後の寸法変化を計測し、溶接による変形収縮傾向を把握。データは2024年度二次試作に活用予定
- 薄板リブ補強を有する軽量高剛性の外殻リング構造試作を実施し、製造可能なことを確認



金属 外殻リング試作 (Φ2m相当)



金属模擬タンク一次試作 構想図



2023年度 金属模擬タンク一次試作 外観
(サイズΦ1.2m x 1.5m)

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-2】液化水素貯蔵タンクの設計（つづき）

タンク用金属材料評価

【残された技術課題】

- 溶接による入熱量のコントロールが難しいアルミ合金に対し、熱変形や熱収縮をコントロールし、高い寸法精度を確保できる溶接技術の確立
- タンク組立工程の課題抽出
- 溶接部の強度（タンク溶接組立時）、溶接品質と内殻-外殻組立精度の両立
- タンク配管取り出し部 熱変形吸収構造の製造性

【解決の見通し】

- 2023年度の一次試作を通して、溶接による曲面板の変形傾向や熱収縮量のデータを取得し、改良案を検討して2024年度に二次試作で検証する予定
試作と検証を段階的に実施して技術構築していくことにより解決の見通しあり
- 2024年度の金属模擬タンク二次試作で、タンク組立の全工程をトレースし早期に課題を抽出しておくことで解決の見通しあり
- 2024年度の金属模擬タンク二次試作において、液化窒素を充填して極低温暴露し、溶接部の健全性を評価して課題を抽出していくことにより解決の見通しあり
- 2024年度にタンク配管取り出し部の部分試作を実施し、製造性を事前に評価して早期に課題を抽出しておくことにより解決の見通しあり

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

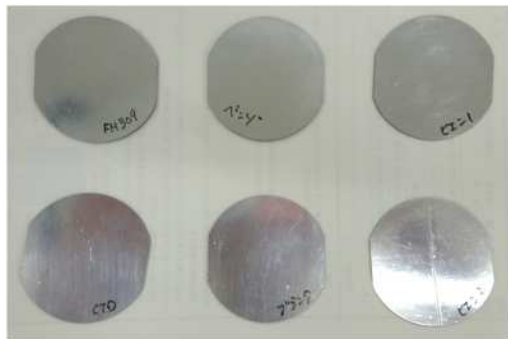
②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-3】液化水素貯蔵タンクの設計

タンク用複合材料評価

【これまでの開発進捗】

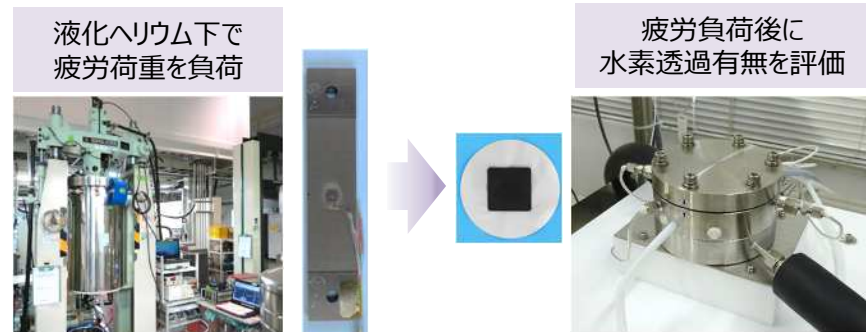
- 2022年度に選定した極低温強度の高い複合材料を用いて、内圧変動を想定した疲労荷重負荷と水素透過による評価試験を実施
模擬タンク一次試作を実施。ヘリウムリークチェックによりリークがないことを確認
- タンク接着接合部の極低温強度試験を実施
- 水素透過対策の要素技術検討を実施



2023年度 CFRP アルミライナ施工確認



2023年度 複合材タンク一次試作 外観



2023年度 複合材 疲労荷重負荷、水素透過評価試験の手順

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-3】液化水素貯蔵タンクの設計（つづき）

タンク用複合材料評価

【残された技術課題】

- 複合材製タンクの水素透過対策、アウトガス対策
- バリア性等の確保および気密性維持のために極力継ぎ目が少ない複合材一体成形技術の確立

【解決の見通し】

- アウトガス対策を兼ねて、アルミライナもしくは金属めっきを併用する技術を継続して検討していく計画。並行して、ライナ材を併用しない場合も視野に、航空機適用の可能性のある運用方法を検討していく
- 複合材成形技術については、2024年度も引き続きタンク二次試作を実施する計画。弊社航空機複合材部材一体成形の技術知見を活用するとともに、試作検証を重ねることで解決の見通しあり。



2024年度 複合材タンク二次試作 構想

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-4】タンク内の温度・圧力制御システムの研究

タンク内の温度・圧力制御システム

【これまでの開発進捗】

- タンク内の温度・圧力制御システムの圧力センサ等のシステム構成品及びシステム・コントローラの要求仕様設定及び設計作業を完了
- 燃料容量計及びベント・ヒーターの要求仕様設定完了、設計作業を実施中
- 圧力リリーフ・バルブの試作品製作及び評価試験を完了
- タンク内の温度・圧力制御システムの基本制御則の設定を完了

【残された技術課題】

- タンク内の温度・圧力制御システムの制御則の最適パラメータの確立

【解決の見通し】

- タンク内の温度・圧力制御に対する解析評価及び2025年度に実施するシステム・コントローラとヒーターを接続した評価試験により制御則パラメータを最適化することで解決の見通しあり



圧力リリーフ・バルブ試作品



圧力リリーフ・バルブ - 評価試験状況

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発

【資料②-5】タンク内の温度・圧力制御システムの研究

水素用バルブ

【これまでの開発進捗】

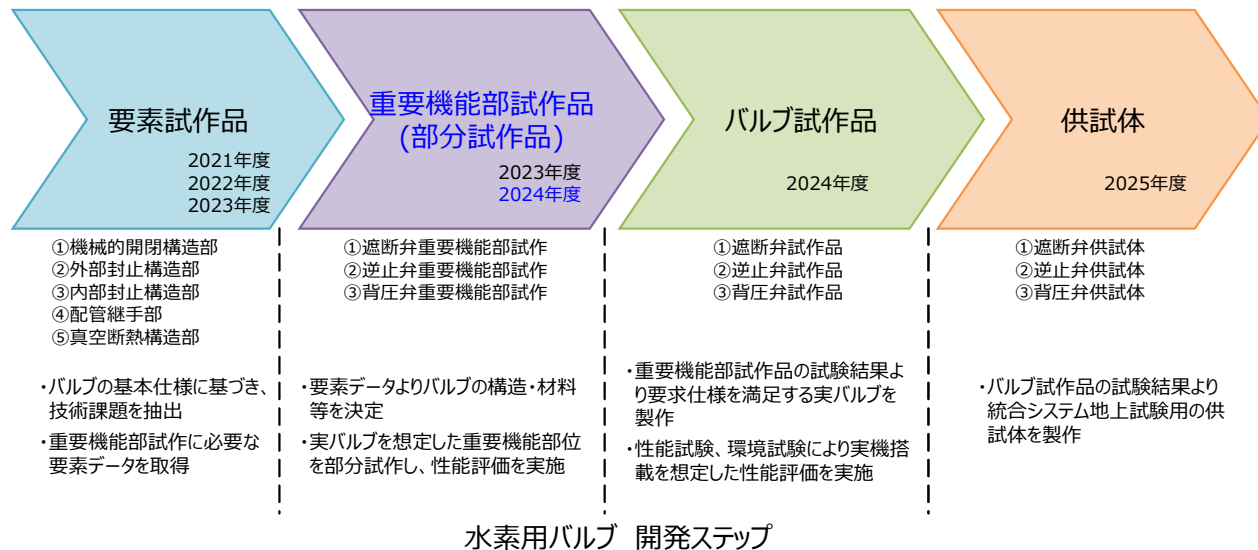
- 重要機能部試作品(部分試作品)の設計を完了
- 重要機能部試作品(部分試作品)の液化窒素試験及び液化水素試験を実施済
- 重要機能部試作品(部分試作品)の液化水素試験で判明した技術課題に対する対策品の設計を完了
- 対策品の液化水素試験により、技術課題解決に向けた対策の有効性を確認済
- 重要機能部試作品(部分試作品)で得られた知見に基づいて、バルブ試作品設計に着手

【残された技術課題】

- 航空機環境への適合

【解決の見通し】

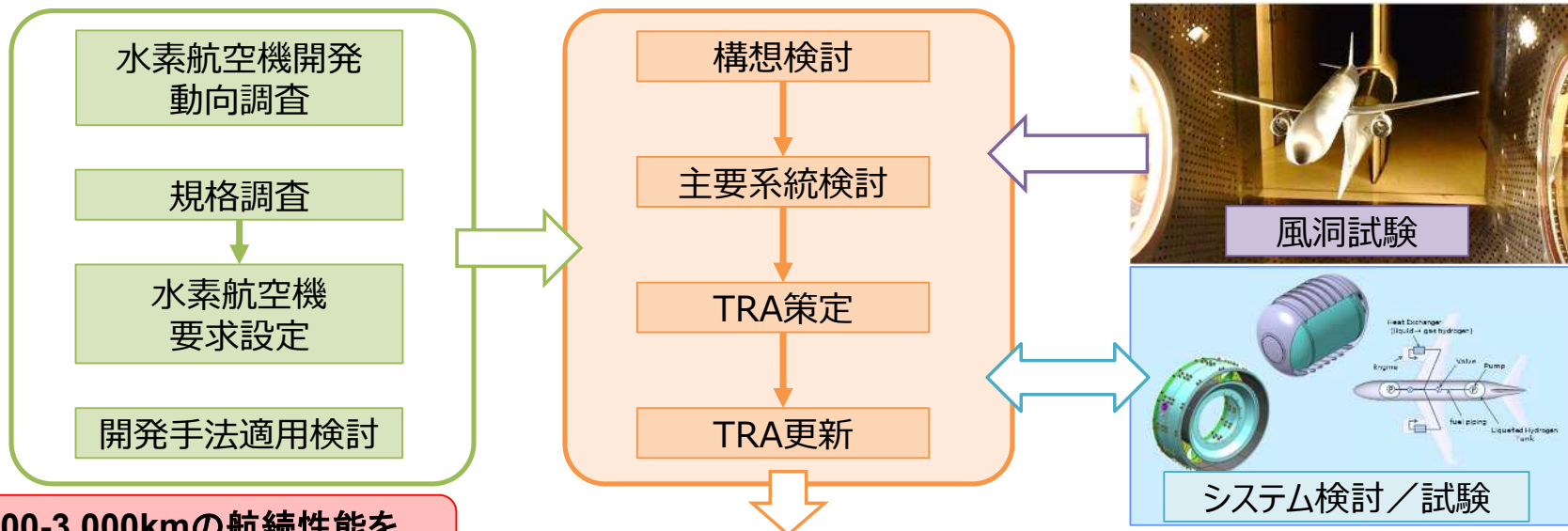
- 設計段階での解析及びバルブ試作品における環境試験等による段階的な技術確認を通じて技術成熟度を向上させることで解決の見通しあり



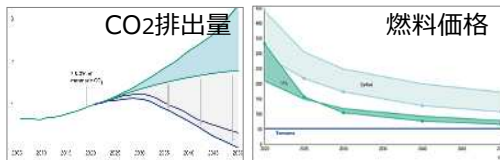
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

③水素航空機機体構造検討

航空機の開発経験と一貫通貫の水素総合力を活用しCO₂削減に貢献する水素航空機の技術開発目標と社会実装時のイメージを示す開発する技術の成立性を示すため、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



2,000-3,000kmの航続性能を有する水素航空機ベース機体TRA



実現性のある水素航空機の具体化

- 主要要素技術の開発目標値
- 成立性のある最適な機体仕様（構造／システム仕様含む）
- 社会実装時のCO₂削減量

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

③水素航空機機体構造検討

当該技術（水素航空機機体構造検討）の位置づけ

- 独自性、新規性：水素価格など経済性に関わる項目も機体性能と同時にシミュレーション検討を行うことで、運用成立性も満たす機体仕様を設定する点に、独自性／新規性あり
 - ①エンジン燃焼器／②液化水素燃料貯蔵タンクへの要求設定、またそれらの成果活用など、水素航空機全体として一気通貫で検討できる点に、独自性あり
- 優位性：機体全機開発能力／エンジン技術／水素総合技術力を有し、水素航空機に対して総合的検討能力に優位性あり
- 実現可能性：70%（①、②の成果を活用して水素航空機として成立させるには、運用成立性や適合性等を整合させる必要がある）
- 残された技術課題の解決の見通し
弊社の開発知見（航空機、水素運搬船、地上水素貯蔵設備、地上水素ガスタービン発電設備）を活用して、以下の技術課題を解決していく
 - ✓ 2,000-3,000kmの航続性能を有する水素航空機としての成立性
風洞試験や各種システム試験を活用し、機体レベルからシステムレベルまで段階的に検討／検証作業を進め成熟度を高めていくことで解決の見通しあり
従来航空機と大幅に形状の異なるBWB※等の航空機形態も視野に入れ機体構想案を検討する
 - ✓ 運航／社会実装成立性
シミュレーションを用いた全体成立性を検証しながら作業を進めることで解決の見通しあり
 - ✓ 水素航空機に対する規格／設計基準
認証当局の水素航空機向けの安全性要求規格化はこれからであり、本研究の中で規格案を検討しつつ設計を進める
 - ✓ 水素航空機としての適合性／安全性検証
全機開発知見を活用し、既存航空機との比較による妥当性確認を行うことで解決の見通しあり

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

③水素航空機機体構造検討

【資料③-0】実施計画書 中項目・年度毎のマイルストーン

項目		2023年度	2024年度	2025年度
A	水素航空機機体構想検討	・主要系統(※1)の適合性／安全性検討完了	・主要系統(※1)のシステム仕様設定完了 ・機体仕様案の策定完了	・運用成立性検討完了 ・TRAの一次検討完了
B	水素航空機風洞試験	・1次風洞試験(2022年度機体仕様ベース案)実施	・1次風洞試験(2023年度の課題反映)完了 ・2022年度機体仕様ベース案の航続性能評価(※2)完了	・2次風洞試験(2024年度機体仕様案)完了 ・2024年度機体仕様案の航続性能評価(※2)完了
C-1	市場／社会動向調査	・CORSIAの制度調査完了	・水素航空機開発の最新動向調査完了	・運用成立性関連調査完了
C-2	規格調査	・適合性／安全性検討(項目A)を受けた想定規格の更新完了	・システム仕様設定(項目A)を受けた想定規格の更新完了	・研究開発内容①②の結果(エンジン単体試験等)を受けた想定規格の更新完了

(※1) 主要系統：燃料供給システム等の研究開発内容①②とも連携する

(※2) 航続性能評価：KPIである2,000-3,000kmの航続性能を有する機体であることを確認する(数値目標)

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

③水素航空機機体構造検討

【資料③-1】機体構想検討

【これまでの開発進捗】

- 海外認証当局主催の水素安全に関するワークショップやSAE主催の会合に参加し、規格策定の最新動向調査を実施 安全面
- エンジン、燃料供給システム、燃料タンクの各系統担当と連携し、燃料供給配管周りの水素漏洩や水素火災に対する安全対策構想案を策定 安全面
- 水素航空機の運用シナリオの具体化に向けて、CORSIAの制度調査やエアラインとの意見交換を実施 運用面

【残された技術課題】

- 安全面と性能面の両立 安全面 性能面
- 運用シナリオの具体化、運用面と性能面の両立 運用面 性能面

【解決の見通し】

- 安全対策構想案に基づくシステム仕様が飛行性能に与える影響を風洞試験等で取得したデータを用いて評価する 安全面 性能面
- 水素航空機に関する規格策定の最新動向を継続して調査し、安全要求（想定規格）の見直しと機体仕様の更新を繰り返すことで、段階的に成立性を向上させる 安全面 性能面
- 継続してエアラインや空港等から情報収集を行い、顧客ニーズと社会動向を踏まえた運用シナリオを検討し、その結果を踏まえて運用成立性のある機体仕様に更新する 運用面 性能面

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

③水素航空機機体構造検討

【資料③-2】風洞試験

【これまでの開発進捗】

- 2022年度に策定した機体仕様ベース案(非従来型航空機形態は2023年度に詳細化)の風洞試験模型を設計・製作し、風洞試験を実施。取得データを用いて飛行性能を推定し、従来型航空機形態が航続性能要求を満足することを確認 性能面

【残された技術課題】

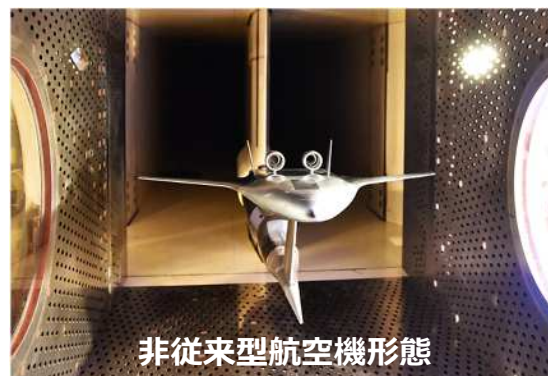
- 非従来型航空機形態の揚抗比改善 性能面
- 従来型航空機形態と非従来型航空機形態の飛行性評価 性能面

【解決の見通し】

- 非従来型航空機形態の推進部まわりの形状修正による気流剥離抑制(抵抗低減)と、平面形の見直しによる揚抗比改善を図り、風洞試験で確認する 性能面
- 各種舵面の空力特性データを風洞試験で取得し、飛行性を評価する 性能面



従来型航空機形態



非従来型航空機形態

風洞試験の様子（KHI 岐阜工場 遷音速風洞）

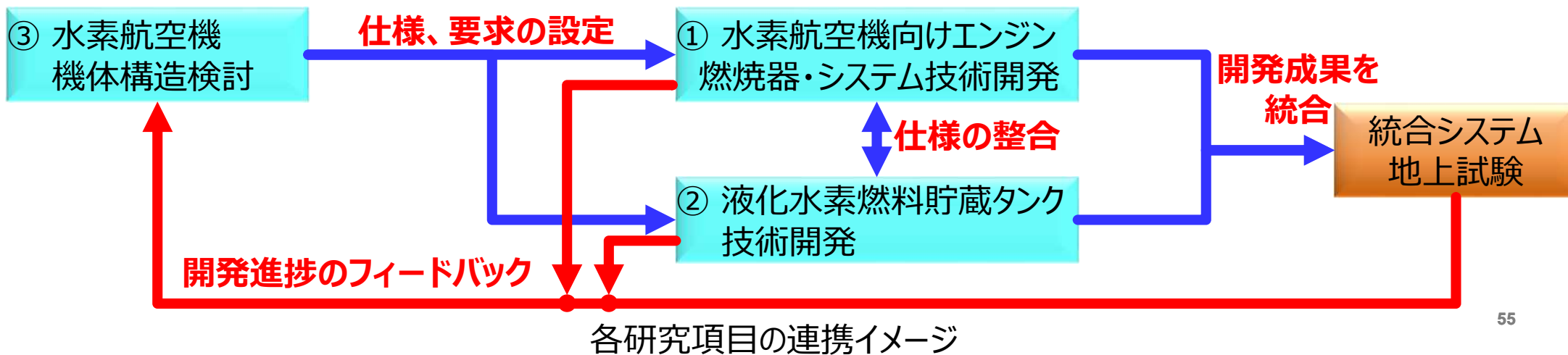
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

水素航空機の社会実装に向けた統合技術検討

研究項目①エンジン燃焼器技術開発、②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発、③機体構造検討は、それぞれ水素航空機実現におけるコア技術であるが、わが国としての技術優位性を確立し、水素航空機の社会実装を早期に実現するためには、これらのコア技術を統合してシステム全体として完成させ、機体OEM及びエンジンOEMに、インテグレーション能力も含めた圧倒的な技術力を示すことが不可欠である

この実現に向け、以下のように研究開発を進める

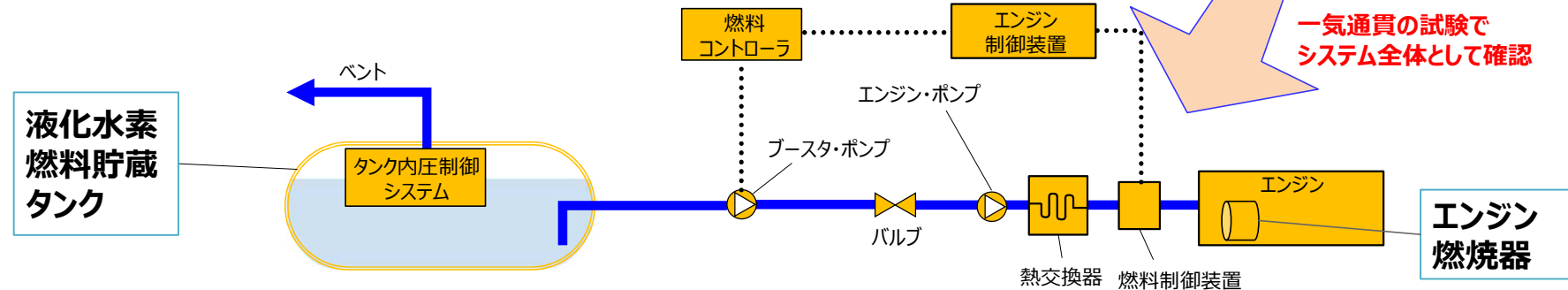
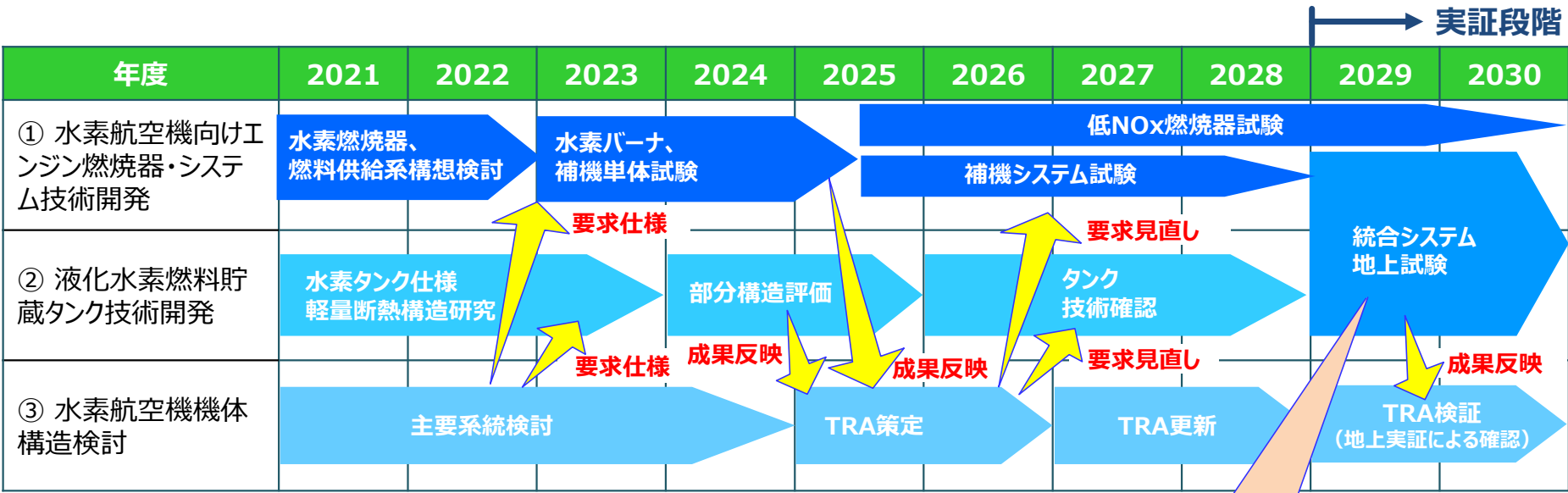
- ③機体構造検討において、水素航空機としての運用まで想定した機体をTRAとして定義し、これを基に①エンジン燃焼器及び②液化水素燃料貯蔵タンクに必要な仕様、要求を設定して、これらを考慮した研究開発を進める
- 液化水素燃料貯蔵タンク（極低温）から水素燃焼エンジン（高温燃焼）までの適切な熱マネジメント及び圧力制御を考慮した液化水素燃料供給システムを検討し、その各構成要素を一気通貫で開発する
- これらを統合した統合システム地上試験によりシステム全体としての実証を行う
- 各研究項目の連携イメージを以下に示す



2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

統合システム地上試験

水素航空機の実現に向けたコア技術を同時並行で開発し、これらを統合して一気通貫の統合システム地上試験を実施する

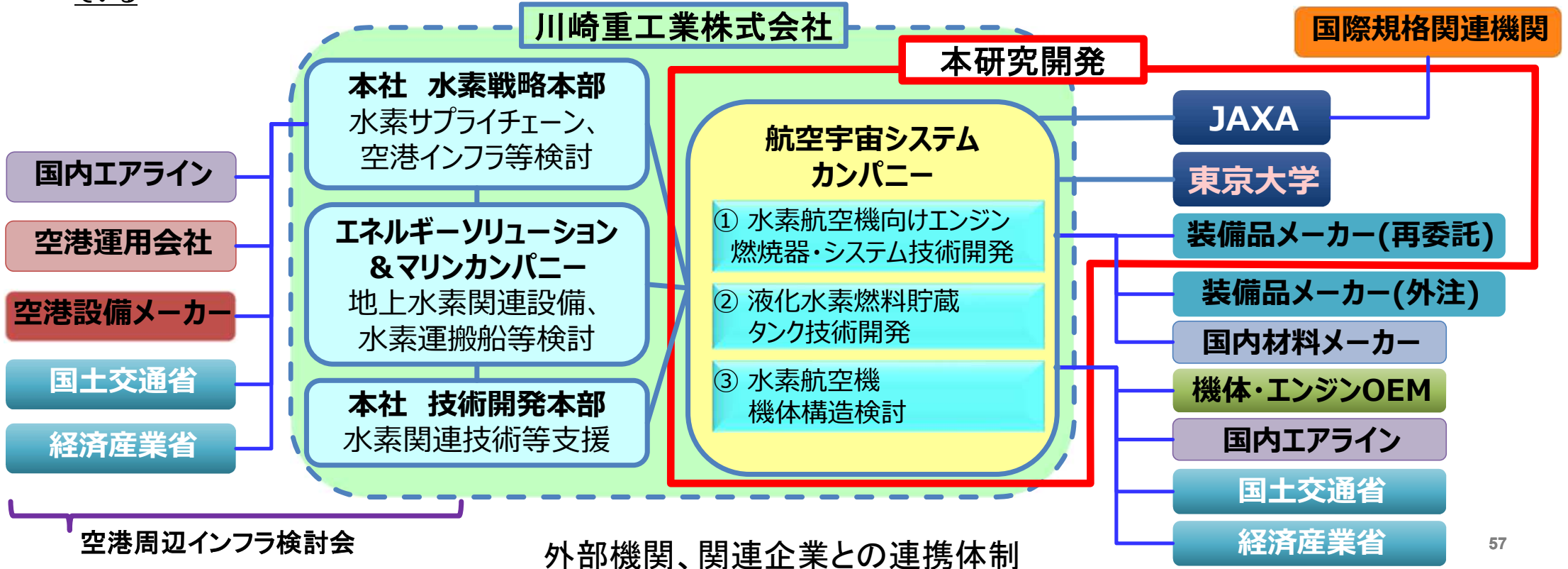


統合システム地上試験の概要

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

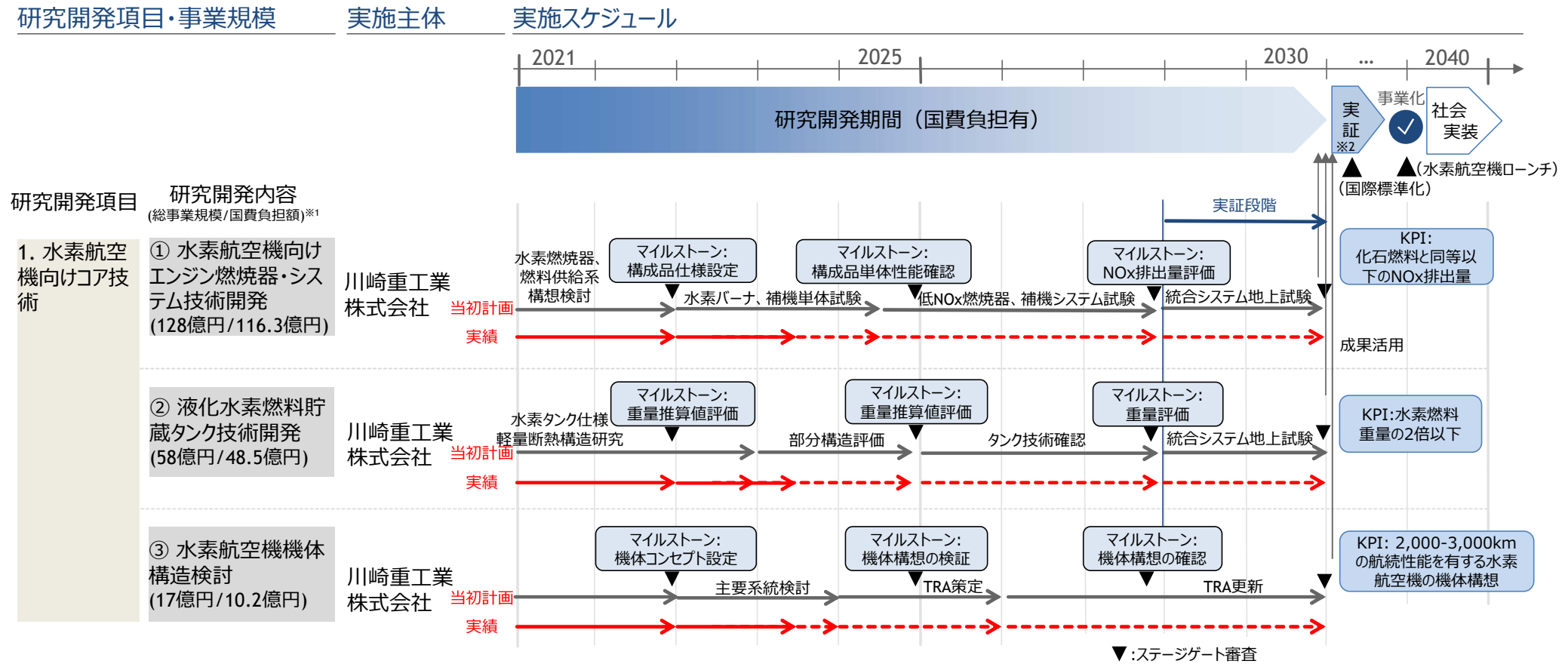
外部機関、関連企業との連携

水素航空機の社会実装を早期に実現するためには、機体OEM、エンジンOEM、エアライン、各種装備品メーカー、材料メーカー、研究機関等との密接な連携が不可欠である。また、航空機の機体だけでなく、併せて、その機体を運用するための空港インフラ、水素供給サプライチェーン等の検討との連携、また水素航空機関連の国際標準化活動に積極的に参加し、わが国が主導していくためには、国際規格関連機関とも連携が必要である。以上を考慮して、効率的かつ的確な方向性をもって研究開発を進めるために、以下のような連携体制を構築し、検討を進めている



2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画

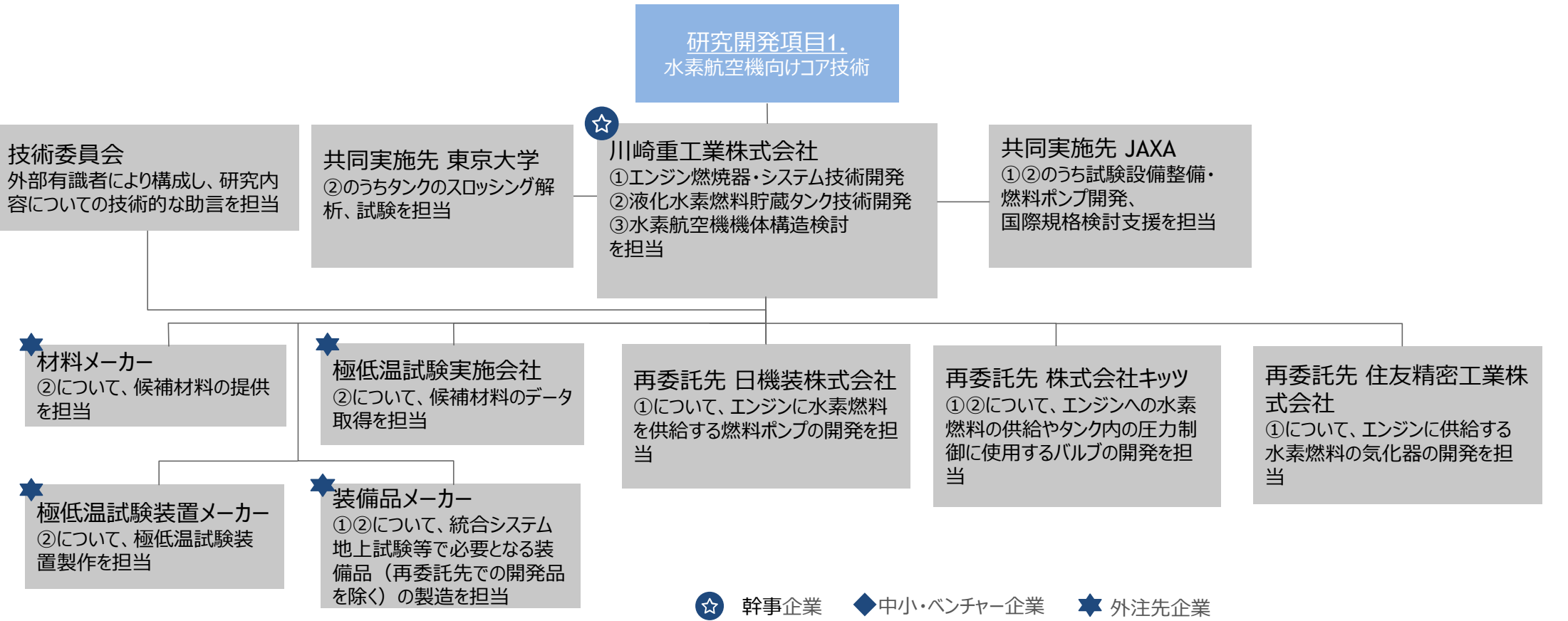


※1 総事業規模は、実施者の自己負担も含めた総投資額、国費負担額はNEDOからの委託費・補助金の額
※2 飛行試験による実証（OEMと共同実施）

2. 研究開発計画／（４）研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図 ※金額は、総事業費/国費負担額



2. 研究開発計画／（４）研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目 1 全体の取りまとめは、川崎重工業株式会社が行う
- 川崎重工業株式会社は、①②③の技術開発、技術検討、試験を担当する
- 東京大学は、②において、タンクのスロッシングに係る解析、試験を担当する
- JAXAは、①②において、試験設備の整備、燃料ポンプ等の開発、及び国際規格検討支援を担当する
- 日機装株式会社は、①において、エンジンに水素燃料を供給する燃料ポンプの開発を担当する
- 株式会社キッツは、①②において、エンジンへの水素燃料の供給やタンク内の圧力制御に使用するバルブの開発を担当する
- 住友精密工業株式会社は、①において、エンジンに供給する水素燃料の気化器の開発を担当する

研究開発における連携方法

- JAXA調布航空宇宙センターに設置予定の水素供給設備及び極低温試験設備を使用し、水素エンジン構成品（燃焼器、燃料供給系統）の性能試験、環境試験を実施する
- JAXA能代試験場を使用し、エンジンシステム、タンクの統合システム地上試験を行う
- JAXAの水素ポンプ開発経験を利用して水素航空機用の燃料ポンプの開発を実施する
- JAXA及び各再委託先とは定例会を年数回開催し、情報共有、知的財産の有効活用に努める

中小・ベンチャー企業の参画

- 液化水素燃料タンクから水素燃焼エンジンに至るシステムの構成要素において、十分な技術を有する機器メーカー等を調査中
- その他にも有望な企業があれば、再委託や外注先として採用を検討する

その他企業との連携

- 極低温環境下に適用可能な材料について、国内材料メーカーと情報交換、候補材料の供給を受ける
- 極低温等の環境下での材料データ取得について、国内試験実施会社にて試験を外注する
- 極低温環境下での断熱システム評価試験装置の製作を国内試験装置メーカーに外注する

技術委員会によるレビュー

- 大学、研究機関、他カンパニー等の外部有識者で構成される技術委員会を組織し、各研究内容についての技術的な助言を得て、これらを適宜考慮しながら研究開発を実施する。

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1. 水素航空機向けコア技術	1 水素航空機向けエンジン燃焼器・システム技術開発	- 低NOx燃焼器開発技術 - 地上用水素ガスタービン開発技術	→ 国家プロジェクトでの燃焼器開発担当実績多数。民間航空機エンジン全体での開発経験なし → 水素ガスタービン発電設備において、水素専焼での運転実績あり。航空機適用可能な燃焼器・エンジンシステム確立が課題
	2 液化水素燃料貯蔵タンク技術開発	- 航空機軽量構造 開発技術 - 液化水素貯蔵技術（地上向け）	→ 民間機、防衛省機の構造開発実績多数 → 地上液化水素貯蔵技術は世界トップクラス 航空機適用可能な軽量断熱システムが課題
	3 水素航空機機体構造検討	- 航空機全機開発能力（空力／構造／システム等の設計技術） - エンジン技術 - 水素総合技術 - CFD解析技術、風洞試験技術／設備	→ 防衛省機の開発、民間ヘリの認証実績あり 民間固定翼の認証経験なし → 各種エンジン開発実績あり。大型ジェットエンジン全体の開発経験なし → 船舶等のサプライチェーン関連技術あり → 国際共同研究など実績多数あり 低速～遷音速まで風洞試験能力あり

※CFD: Computational Fluid Dynamics

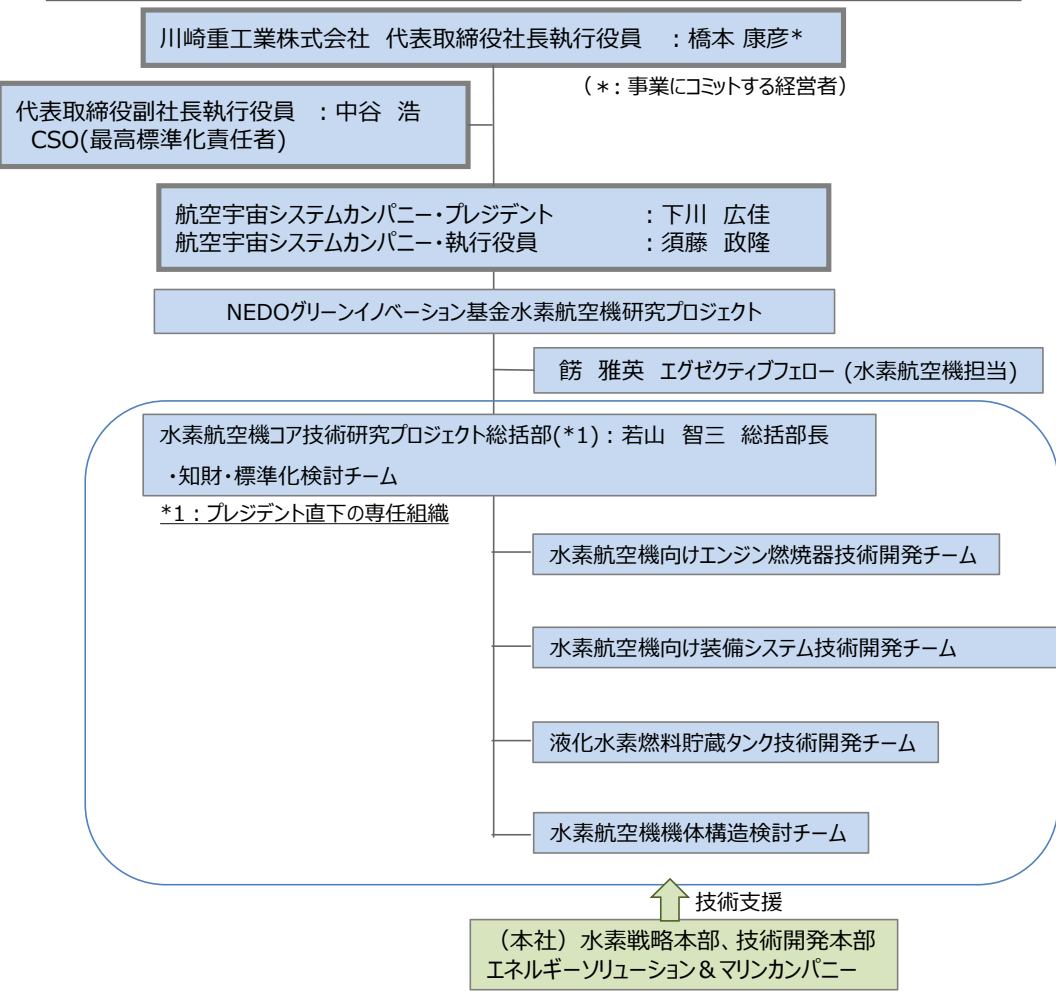
3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

組織内体制図



組織内の役割分担

- 研究開発責任者と担当部署
- 研究開発責任者
 - 飮 雅英：研究取り纏め
 - プロジェクト総括部
 - 水素航空機コア技術研究プロジェクト総括部：専任8人、併任9人規模
 - プロジェクト総括部長
 - 水素航空機コア技術研究プロジェクト総括部：若山 智三
 - 担当チーム
 - 水素航空機向けエンジン燃焼器技術開発チーム：23人規模
 - 水素航空機向け装備システム技術開発チーム：14人規模
 - 液化水素燃料貯蔵タンク技術開発チーム：12人規模
 - 水素航空機機体構造検討チーム：11人規模
 - 知財・標準化検討チーム：6人規模
- 部門間の連携方法
- 社長連絡会：社長への定期報告（2回/年）
 - 水素航空機プロジェクト推進会議：カンパニー上層部への定期報告（2回/年）
 - 水素航空機情報共有会議：プロジェクト全体連絡会（1回/週）
 - 水素航空機担当者連絡会：担当間の連絡会（1回/週）

3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

経営者等による水素航空機開発事業への関与の方針

経営者等による具体的な施策・活動方針

- 経営者のリーダーシップ
 - 弊社は経産省の主導するGXリーグに、基本構想段階から賛同しており、適格カーボン・クレジットWGへの参画を中心に活動を実施している。
 - 弊社のグループビジョン2030で、カーボンニュートラル、水素関連事業への取り組みを発表済みであり、本プロジェクトもその一つと位置付けている。環境変化（物価高騰等）には、問題の早期認識や計画見直しによるコストダウン等の検討を行い、リスクを最小限に抑えるように対応している
 - 弊社社長は、株主、投資家をはじめとする社内外に、広く本プロジェクトへの参画を発信している
 - グループビジョン2030は、弊社の社会向け各種ソリューションを提示したもので、マーケットインの発想とスピード感を重視したビジョン実現を重視している。経営者等が着実かつスピーディーに進めるため、グループ全体でのベストプラクティスを追求している
- 事業のモニタリング・管理
 - 社長連絡会及びプロジェクト推進会議で半期ごとにフォローおよびモニタリングを行う。そこで経営層から事業の進め方・内容に対して必要な指示が出され、管理される
 - 研究推進のための技術委員会を設置（第6回を2月に開催）し、水素や航空機等に知見を持つ外部有識者からの意見を頂くとともに、別途社内でもカンパニーの垣根を超えた社内の有識者からの意見を頂く会議体を設定し、社内外から幅広い意見を取り入れる体制を構築
 - 本プロジェクトを通じて技術開発を進めるとともに、事業化に関する調査も継続して進め、必要となるKPI・条件を検討する

経営者等の評価・報酬への反映

- 従来は、本プロジェクトの進捗が直接反映される体系にはなっておらず、本プロジェクトの進捗状況が弊社の株価等に反映されて、間接的に大きな時間軸の中で経営者の評価・報酬に反映されてきた
- グループビジョン2030では、役員報酬制度は“ペイ・フォー・ミッション”の考え方を重視と明示されており、今後はプロジェクトの進捗が経営者等の評価・報酬へ反映されていく方向である

事業の継続性確保の取組

- プロジェクト推進会議の中で体制見直しや追加的な対応も判断されるため、経営層が交代しても事業は継続実施されるように対応している

3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

経営戦略の中核に水素航空機開発事業を位置づけ、企業価値向上とステークホルダーとの対話を推進

取締役会等コーポレート・ガバナンスとの関係

- カーボンニュートラルに向けた全社戦略
 - 弊社は、2010年にカーボンニュートラルに向けた水素事業への取り組みを公表し、NEDOプロジェクトも活用して事業推進を継続してきた
 - グループビジョン2030として、全社的なカーボンニュートラル、水素関連事業への取り組み、及びその拡大方針を策定済み。水素サプライチェーン商用化に向けた技術実証等の進捗に加え、水素発電、船舶用水素ガスエンジンに関する取り組みを説明。本プロジェクトは、水素燃料を航空機分野へ展開として推進中
- 経営戦略への位置づけ、事業戦略・事業計画の決議・変更
 - 本プロジェクトへの取組は、弊社の2023年1月の取締役会相当の会議において報告済
 - 本プロジェクトの進捗を半期ごとにフォローする社内経営層レベルのプロジェクト推進会議を設置（第6回を2025年3月20日に開催）
 - 本プロジェクトへの取り組みについては、年頭あいさつや社内報等で社内に広い周知を継続
- コーポレートガバナンスとの関連付け
 - 弊社では、上記のグループビジョン2030の目指す成果が取締役の選任、評価、報酬等に反映される仕組みとなっている

ステークホルダーとの対話、情報開示

- 中長期的な企業価値向上に関する情報開示
 - グループビジョン2030で、カーボンニュートラル、水素関連事業への取り組み拡大を発表済み。水素サプライチェーン商用化（液化・積荷基地、液化水素運搬船）に向けた技術実証は2022年度末に開発を完了し、スケールアップした商用規模の機器開発を開始。水素航空機開発については、水素燃料を航空機分野へ展開として説明。同ビジョンは統合報告書にも記載
 - 本プロジェクトの研究開発計画は、NEDO事業への採択時に对外公表済み
- 企業価値向上とステークホルダーとの対話
 - グループビジョン2030で、「成長性の追求」、「適正な利益」(営業利益率5～8%等)、「安定性・シナジー」の方針のもと、成長事業に投資しつつ、弊社を時代の求める姿に変容させて持続的な成長を追求と説明。水素関連事業は、インフラ、船舶等に加えて水素燃料をマリン分野、航空分野へ展開することを2021年12月のグループビジョン2030の進捗報告会にて説明済み
 - 水素航空機コア技術開発は航空宇宙システムカンパニーの重点施策として「2022年度決算説明資料」に記載し、説明会でステークホルダーに説明



2021年12月のグループビジョン2030の進捗報告会資料

3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

機動的に経営資源を投入し、社会実装、企業価値向上に繋ぐ組織体制を整備

経営資源の投入方針

- 全社事業ポートフォリオにおける本事業への人材・設備・資金の投入方針
 - 弊社では、全社的にカーボンニュートラルに向け水素事業を推進しているが、本プロジェクトの関連技術である空港インフラに関する検討にも着手。統合報告書でも本プロジェクトについて記載
 - カンパニー内で60人規模の技術人材を活用しつつ水素関連の知見を有する本社人材との連携を図り、必要な人材を確保した。今後の検討の進捗に応じて適宜増員を考慮し、要すれば外部人材の獲得も検討する
 - 試験設備は、社内に限らず、JAXAの土地・設備を最大限活用させて頂く。外注業者等の設備も調査の上、必要に応じて活用し、効率的に研究開発を進めていく
 - 国費以外では、研究員等への資金を投じ、研究開発を推進していく
 - 長期事業戦略ビジョンに沿って、必要な資金・人材を投じる計画である。ただし、短期的な経営指標が大きく悪化する場合があれば、METI、NEDOとプロジェクトの進め方について協議させていただきたい
- 機動的な経営資源投入、実施体制の柔軟性の確保
 - OEMとの継続的に意見交換を行い、社会実装に向けた連携についての調整が進捗。その状況を踏まえ、本連携への投入資源を確保
 - 弊社は社内に水素関連部門を有するが、外部リソースは積極的に活用中である。JAXA、岩谷産業などの著名なリソースに限らず、中小企業も含めて貴重な技術を有するリソースを継続して調査、活用している
 - 将来の顧客であるエアライン等と積極的に意見交換を行い、技術開発のみならず事業として魅力的なものにすべく情報収集と発信を継続中

専門部署の設置等と人材育成

- 専門部署の設置
 - 弊社社長をトップとし、水素航空機担当フェローのもと、航空エンジン、航空宇宙の技術部門が開発に参画。カンパニープレジデント直下の本プロジェクト専任のプロジェクト総括部において組織的マネジメントによるプロジェクト推進の強化を図った分担を明確化。毎週連絡会を開催して密な情報交換と機動的な意思決定を図り、適宜上層部への報告を行っている
 - 弊社では、事業環境の変化に合わせ、柔軟な体制構築を行っている。例として、マリン事業でエネルギーソリューション＆マリンカンパニーを発足させ水素関連事業／コア・コンポーネント・エンジニアリング事業を推進、等
 - 機動性が必要な社長直轄プロジェクト等では、全社からメンバーを選出し、カンパニーの枠を超えたシナジーを発揮している例もある
- 人材の育成(含む標準化戦略人材)
 - 本プロジェクトには担当技術者の半数近い30人規模の若手技術者を積極的に投入しており、技術開発とともに人材育成の場としても活用していく。航空機の開発は足が長く、若手がベテランとなる頃に水素航空機技術の成熟度も増すと考えられ、システム全体を把握できる総合的な技術者を目指した育成を行う
 - 現在の人事制度は「チャレンジ＆コミットメント」のコンセプトで、実力のある若手社員に重要職務／ポジションでチャレンジさせる方針である。研究の進捗に伴う作業の本格化をうけ、新入社員を含む若手を追加投入
 - JAXA等との連携や学会発表、標準化等に関する議論の場等も活用し、若手技術者を育成していく

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、不測の事態に陥った場合には事業中止も検討

研究開発（技術）におけるリスクと対応	社会実装（経済社会）におけるリスクと対応	その他（自然災害等）のリスクと対応
• ステージゲート目標未達によるリスク 外部有識者、研究機関等との連携による検討の方向性確認、作業効率化等を実施 • 研究リソース不足によるリスク 研究効率化等を適宜実施 • ワーキンググループにて改善要望を受けるリスク 社内レビューによる研究開発の内容、事業推進体制等の点検・見直しを適宜実施 • 半導体不足、紛争、疫病蔓延等の影響によるコスト高騰、スケジュール遅延のリスク 資材、試験場所等の先行手配、スケジュール管理の強化等を適宜実施	• 水素普及の遅れによる水素利用困難のリスク 水素インフラ、水素運搬事業の促進等を実施 • SAF、電動化等の急速な普及による航空分野での水素燃焼エンジン需要喪失のリスク 船舶、鉄道等の他のモビリティ分野における水素燃焼エンジン適用の検討、及び燃料電池向け液化水素タンク、供給システムの活用検討を実施	• 統合システム地上試験場の天候、災害等により試験実施不可となるリスク 状況に応じ、代替試験場（海外含む）の検討等を実施



- 事業中止の判断基準：ワーキンググループにてプロジェクト中止が決議される