

先進空力設計等研究開発プロジェクト 技術評価結果報告書（終了時評価）

（案）

平成29年3月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「先進空力設計等研究開発プロジェクト」は、我が国の航空機産業の将来を見据えた航空機産業政策の実現を目指すため、平成20年度より実施している（平成20年度から平成27年度まで実施した）ものである。

今般、省外の有識者からなる先進空力設計等研究開発プロジェクト終了時評価検討会（座長：李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科教授）における検討の結果とりまとめられた、「先進空力設計等研究開発プロジェクト技術評価結果報告書」の原案について、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（座長：小林 直人 早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究院長 教授）において、審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成29年3月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

委員名簿

座長	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究 院長 教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所政策・経済研究センター長
	齊藤 栄子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部主任研究員
	高橋 真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント 研究科教授
	津川若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所上席主任研究員
	浜田 恵美子	元・名古屋工業大学大学院教授
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授

(敬称略、座長除き五十音順)

先進空力設計等研究開発プロジェクト

終了時評価検討会

委員名簿

座長 李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科教授

岩田 拓也 産業技術総合研究所主任研究員

岡部 朋永 東北大学大学院航空宇宙工学専攻教授

奥田 章順 株式会社三菱総合研究所参与・チーフコンサルタント

山田 圭一 株式会社ANA総合研究所航空・産業政策グループ主席研究員

(敬称略、座長除き五十音順)

事務局：経済産業省製造産業局航空機武器宇宙産業課

先進空力設計等研究開発プロジェクト

技術評価に係る省内関係者

【終了時評価時】

(平成28年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課長 畑田 浩之 (事業担当課長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

【中間評価時】

(平成24年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課長 飯田 陽一 (事業担当課長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

先進空力設計等研究開発プロジェクト

終了時評価の審議経過

【終了時評価】

◆産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（平成29年3月23日）

- ・技術評価結果報告書（終了時評価）について

◆「先進空力設計等研究開発プロジェクト」評価検討会

第1回評価検討会（平成28年12月13日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回評価検討会（平成29年2月22日）

- ・技術評価結果報告書（終了時評価）について

【中間評価】

◆産業構造審議会産業技術分科会 第59回評価小委員会（平成25年3月26日）

- ・技術に関する施策・事業の評価について（航空関連分野）

◆「事業」評価検討会

第1回航空機関連分野技術に関する施策・事業評価検討会（平成24年11月29日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回航空機関連分野技術に関する施策・事業評価検討会（平成25年2月22日）

- ・評価報告書（案）について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

委員名簿

先進空力設計等研究開発プロジェクト 終了時評価検討会 委員名簿

先進空力設計等研究開発プロジェクト 技術評価に係る省内関係者

先進空力設計等研究開発プロジェクト 終了時評価の審議経過

目次

	ページ
I. 研究開発課題（プロジェクト）概要	1
1. 事業アウトカム	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	3
3. 当省（国）が実施することの必要性	7
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップ	8
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	9
6. 費用対効果	9
II. 外部有識者（評価検討会等）の評価	
1. 事業アウトカムの妥当性	1 1
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	1 1
3. 当省（国）が実施することの必要性の妥当性	1 2
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップの妥当性	1 3
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	1 3
6. 費用対効果の妥当性	1 4
7. 総合評価	1 5
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	1 5
III. 評点法による評点結果	1 8
IV. 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等	1 9

**先進空力設計等研究開発プロジェクト
技術評価結果報告書（終了時評価）**

プロジェクト名	先進空力設計等研究開発プロジェクト																							
行政事業レビューとの関係	行政事業レビューシート番号（平成２７年　００４４）																							
上位施策名	ものづくり産業振興																							
担当課室	製造産業局　航空機武器宇宙産業課																							
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 遺伝的アルゴリズムを用いた空力・構造同時最適化技術、空力特性推定技術等の最先端の空力設計技術を開発するとともに、設計、材料加工、部品製造、組立等の図面・工程等のデータを一元管理する開発・生産プロセス技術を開発する。開発したシステムを大規模・複雑系の代表である航空機分野に試適用し、実大規模の航空機の供試体を用いた実証を通じてその成立性・有効性を実証することで、製品開発・生産の大幅な生産性向上を実現し、幅広い製造業の高度化に資することを目的とする。これにより、航空機・鉄道・自動車等の輸送機器、風車等のエネルギー機器等の性能向上、環境負荷低減、また、CAD／CAM(Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing)を軸とする最新情報技術を活用した設計／生産及び管理システムによる幅広い製造業における設計効率・生産効率の大幅向上を狙う。 本事業は最先端の空力設計技術を開発し航空機の燃費向上を目指すとともに、図面等の各種データを電子化することのメリットを最大限に活かせる高効率の開発・生産プロセス（システム）の構築を目指しており、経済産業省が策定している『技術戦略マップ２０１０』の航空機分野の導入シナリオ（図１－１）において、それぞれ「機体の燃費向上」、「機体・エンジンのインテグレーション技術の獲得」として記載されている研究開発分野に含まれる研究開発テーマであると位置づけられる。																								
予算額等（補助（補助率：１／２）） （単位：百万円） <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 20%;">開始年度</td><td style="width: 20%;">終了年度</td><td style="width: 20%;">中間評価時期</td><td style="width: 20%;">事後評価時期</td><td style="width: 20%;">事業実施主体</td></tr> <tr> <td>平成２０年度</td><td>平成２６年度</td><td>平成２４年度</td><td>平成２７年度</td><td></td></tr> <tr> <td>H22FY 予算額</td><td>H23FY 予算額</td><td>H24FY 予算額</td><td>総予算額</td><td>総執行額</td></tr> <tr> <td>3, 330</td><td>3, 330</td><td>3, 330</td><td>18, 190</td><td>12, 918</td></tr> </table>					開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体	平成２０年度	平成２６年度	平成２４年度	平成２７年度		H22FY 予算額	H23FY 予算額	H24FY 予算額	総予算額	総執行額	3, 330	3, 330	3, 330	18, 190	12, 918
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体																				
平成２０年度	平成２６年度	平成２４年度	平成２７年度																					
H22FY 予算額	H23FY 予算額	H24FY 予算額	総予算額	総執行額																				
3, 330	3, 330	3, 330	18, 190	12, 918																				



出所:技術戦略マップ2010

図1-1. 航空機分野の導入シナリオ

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
航空機・鉄道・自動車等の輸送機器、風車等のエネルギー機器等の性能向上、環境負荷低減、またCAD/CAMを軸とする最新情報技術を活用した設計／生産及び管理システムによる幅広い製造業における設計効率・生産効率の大幅向上を狙う。		
指標目標値 小型航空機に適用し、燃費向上、騒音低減、設計・生産工数を削減する。		
事業開始時（20年度）	計画：0	実績：0
中間評価時（24年度）	計画：0	実績：0
終了時評価時（28年度）	計画：5	実績：4 量産機体には未適用だが、風洞試験、試作機等の実績
目標最終年度（航空機量産時）	計画：小型航空機の量産機体に適用し現目標値を達成、更なる向上を図る。	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

本研究開発事業では、先進空力設計技術および開発・生産システム技術を開発し、当該技術を小型航空機の設計・製造・飛行試験に適用して成果を実証する。

はじめに各技術開発と実機実証の概要を記す。

（1）先進空力設計技術開発

自動車や航空機等の輸送機にかかる燃料消費量削減と機外騒音低減は運航経済性及び利便性確保の観点から重要であるのみならず、環境負荷低減に不可欠な要素となっている。燃料消費量は空力効率、即ち空力抵抗に依存し、エンジン以外の機外騒音の大小も空力形状に依る所大である。

本技術開発では、小型航空機を想定し、極めて高水準の空力設計技術が要求される航空機分野で実用に耐える空力・構造同時最適化技術、空力特性推定技術等の最先端の空力設計技術の開発を目指す。

本技術開発テーマは大きく以下の4つのサブテーマに分けられる。

- ①MDO(Multidisciplinary Design Optimization)技術開発
- ②CFD(Computational Fluid Dynamics)解析技術高度化
- ③機外騒音低減設計技術開発
- ④先進空力計測技術開発

以下に各分野（サブテーマ）の概要を記す。

①MDO 技術開発

航空機の設計は、空力特性と構造強度や重量、装備品搭載スペースの確保等、互いに相反する設計拘束条件を満足させる必要がある。従来はそれらをシリーズで実施（設定した空力条件に基づいて構造設計／装備設計／艤装設計を行い、空力特性や重量、性能を算出して要求或は目標との適合性を評価する）していた為に、限られた時間・コストの元では設計改良に要するサイクルを十分な回数だけ確保することは困難であった。

拘束条件を数学的にモデル化し、遺伝的アルゴリズム等を用いて同時最適化を図ることにより、設計期間・コストの制約のもとで最適な空力形状を導く技術（多分野統合最適設計（Multidisciplinary Design Optimization = MDO）技術）の実用化を図る。我が国の多分野統合最適設計技術は世界のトップレベルにあり、これを実設計に適用して一層の実用性向上を図る。

②CFD 解析技術高度化

MDO 技術を活かし、迅速に最適な空力形状を発見するためには、計算処理方法の高速化等も活用しながら、実施環境や実施条件に制約のある地上試験では模擬し得ない様々な物理現象を CFD (Computational Fluid Dynamics) によって予めシミュレートし、設計リスクの事前解消と設計サイクルの高速化を図ることが必要である。

複雑形状への適用性に優れた非構造格子による CFD 解析ツールと世界トップレベルの計算機リソースを活用して上記課題の解決を図る。本手法を実設計に適用して一層の実用性向上を図る。

③機外騒音低減設計技術開発

航空機の機外騒音は、エンジンの低騒音化に伴って低減しつつあるが、より一層の低減を図るには、スラット風切り音等の空力騒音を低減する必要がある。

空力騒音の物理的発生メカニズムである非定常圧力変動は計算機の大型化、高速化に伴って解析可能となっており、LES (Large Eddy Simulation) 技術を実設計に適用して実用化を図る。

④先進空力計測技術開発

航空機の燃料消費効率や静粛性（騒音低減）をより一層高めるためには、高度化が進む画像計測／処理技術を活用して、地上試験で発生している物理現象を正確に把握し、CFD 技術と組み合わせて実設計に適用することが必要である。

感圧塗料 (Pressure Sensitive Paint ; PSP) を始めとする本邦の画像計測技術は世界トップレベルにあり、実設計・試験への適用を通じて信頼性向上と適用範囲拡大を図り、当該技術の実用性向上を図る。

(2) 開発・生産システム技術開発

コンピュータネットワーク、3次元 CAD や PDM (Product Data Management) システム等の進化・普及により、情報のデジタル化、データベースの一元化／相互連携は進みつつあるが、製造メーカーにおける設計～製造作業工程には、図面や作業指示書など紙による情報伝達も残り、それらと電子データとの整合性確保に多大な時間・労力を要するなど、電子化のメリットを最大限に享受できる仕

組みができているとは言い難い。設計・製造業務の効率化を実現するためには；

- ・ 上流工程である技術指示定義の速度向上
- ・ 技術指示定義確度の向上
- ・ 正確、且つ、定量的な状況把握
- ・ 変更影響の定量的推定
- ・ 各作業工程関係者間の確実な情報共有

等が必要である。

本技術開発では、航空機開発・生産を対象に、コンピュータ技術・情報の電子データ化のメリットを最大限に活かした業務プロセス／フローとシステム（コンピュータ・アプリケーション）を開発する。図２－１ に航空機（民間旅客機）の受注から開発完了に至る業務の全体像を、図２－２に航空機（民間旅客機）の開発時の情報の流れを示す。

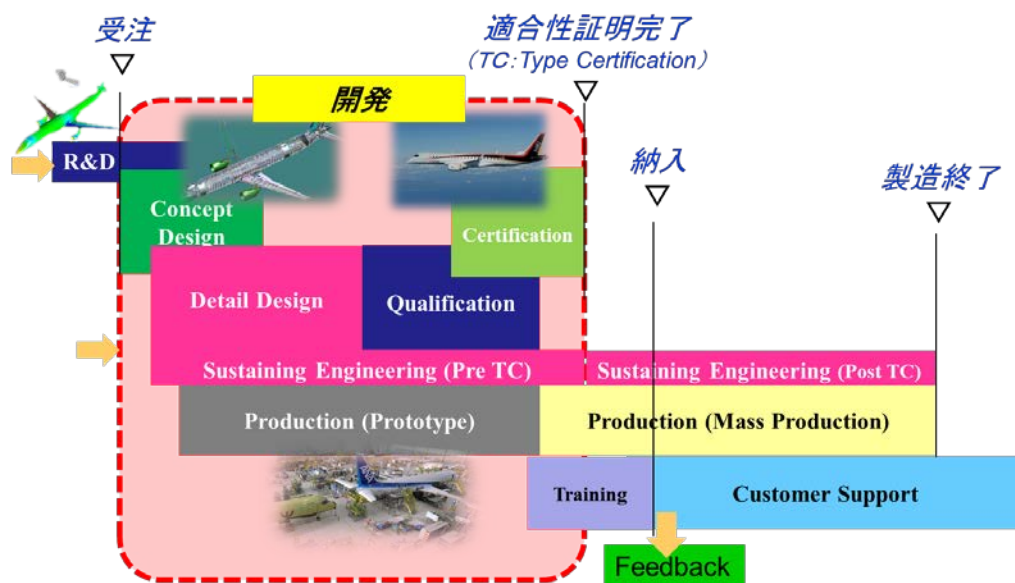


図２－１． 民間旅客機の受注から納入までの業務の全体像

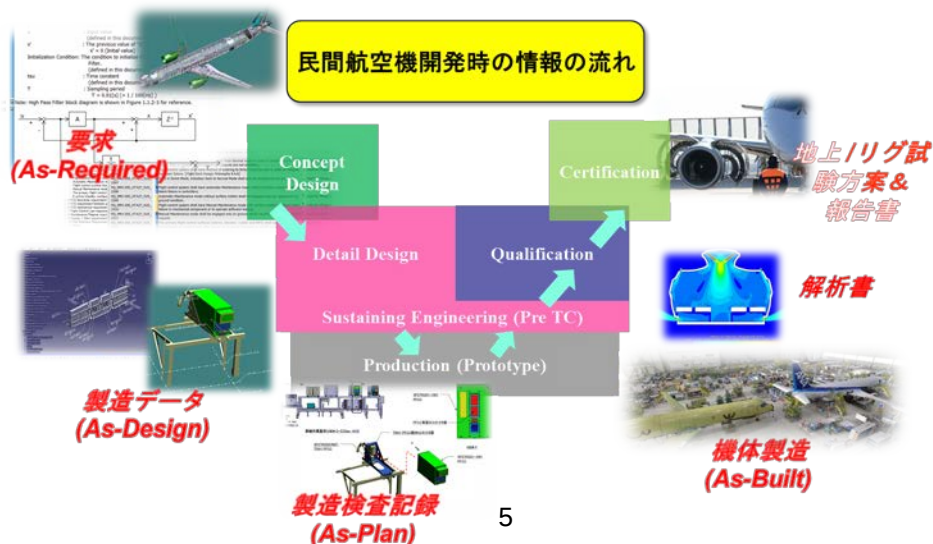


図 2－2 航空機（民間旅客機）の開発時の情報の流れ

図 2－1 航空機（民間旅客機）の開発時の情報の流れ

情報の流れに着目すると、受注から納入までのプロセスには、大きく分けて仕様確定のための Concept Design、詳細設計（Detail Design）、Prototype 製造（Production）、仕様と Prototype 製品の整合性検証（Qualification/Certification）の 4 つの工程がある。航空機の部品点数は極めて多く、国内外メーカーが設計・製造を分担している。加えて、民間旅客機の客先仕様（オプション含む）は段階的に決まる為、全ての仕様が決まる前に製造を始める必要がある事、設計変更が並行して発生する事、製造工程での不具合処理（改修）を要する事、認証を得た型式設計を明確化し、その型式設計に対する適合性を保証する必要がある事等から、これら 4 つの工程間を流れる情報量は膨大且つ複雑に連携する。これらを効率的且つ必要な精度で扱える開発・生産システムの開発を狙う。

本事業では、全体プロセスのうち以下の 3 つのサブテーマに重点的に取り組む。

- ①設計／技術指示リリース分野
- ②製造計画・生産管理分野
- ③開発管理分野

以下に各分野（サブテーマ）の概要を記す。

①設計／技術指示リリース分野

3 次元 CAD ツールを用いた機体モデリング業務に係る各種ルールの検討／最適化を行うと共に、技術指示へのオーソライズ付与手法、下流工程への電子的伝達手法（システム）等を開発する。並行して、3 次元モデル及びこれに紐付くデータを一元管理するデータベースを開発し、解析データベース、重量・重心データベース、製造プランニングシステム等の周辺データベース等との最適な連携手法を検討／構築し、データベース間の連携プログラム／業務プロセスを開発する。

②製造計画・生産管理分野

上流工程で定義された 3 次元 CAD モデル／付属属性を共有し、効率的に製造プランニングを実行できるシステムを検討・構築する。併せて、多くの機種が混在する製造現場作業を混乱させず、且つ、一機ごとに形態が異なる機体を正しく製造する為に必要な、作業指示プロセス／システムを検討・構築する。材料・標準部品の手配システム、製造記録等の手順／システムも含まれる。また、機体形態の源泉となる技術形態が製造形態へ適切にフローダウンされているかを確認する仕組みとして、形態監査を実施するプロセスを構築する。

③開発管理分野

また、上記①及び②で構築するシステムとの連携を前提に、効率的に変更を管理する仕組みを検討・構築する。変更管理システムは国内外パートナーと共有し、会社間、国家間の壁を超えた機動的コラボレーションを実現する。

併せて、開発プログラムのスケジュールや進捗、成果物、リスク、発生した問題等を一元的に管理するデータベース・システムを構築する。他システム／データベースと連携させ、必要な時に必要な情報が「見える」仕組みを実現する。

(3) 実機実証

開発成果の成立性・有効性を実証するために、これら2つの技術で大規模・複雑系の代表である航空機分野に試適用し、実大規模の航空機の供試体を用いて実証する。

延いては、航空機・鉄道・自動車等の輸送機器、風車等のエネルギー機器等の性能向上、環境負荷低減、また、CAD／CAMを軸とする最新情報技術を活用した設計／生産及び管理システムによる幅広い製造業における設計効率・生産効率の大幅向上を狙う。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
・ 5 %の燃費効率向上 ・ 2 d Bの機外騒音低減 ・ 3つのサブテーマ ○「技術指示作成工数」○「設計不良発生数」○「設計変更処置時間」についてそれぞれ従来手法と比較し30%の改善		
指標目標値（計画及び実績） ・ 5 %の燃費効率向上 ・ 2 d Bの機外騒音低減 ・ 「技術指示作成工数」、「設計不良発生数」、「設計変更処置時間」についてそれぞれ従来手法と比較し30%の改善		
事業開始時（20年度）	計画：0	実績：0
中間評価時（24年度）	計画：0	実績：0
終了時評価時（27年度）	計画：5	実績：4

<共通指標実績>

論文件数	対外発表件数	特許等件数(出願を含む)
5	20	3

〈事業アウトプット〉

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・ 根拠等)	目標値 (計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
・ 5%の燃費効率向上 ・ 2dB の機外騒音低減 ・ 「技術指示作成工数」、「設計不良発生数」、「設計変更処置時間」についてそれぞれ従来手法と比較し 30%の改善 (「技術戦略マップ 2010」の導入シナリオにおけるテーマ 「機体の燃費向上」及び「機体・エンジンのインテグレーション技術の獲得」より選定。)	・ 5%の燃費効率向上 ・ 2dB の機外騒音低減 ・ 「技術指示作成工数」、「設計不良発生数」、「設計変更処置時間」についてそれぞれ従来手法と比較し 30%の改善	①燃費効率向上：4% ほぼ達成 ②機外騒音低減：1.8 dB ほぼ達成 ③技術指示作成工数：17%減 (未達) 設計不良発生数：67%減 (達成) 設計変更処置時間：50%減 (達成)	③3D モデルによる技術指示作成工数は従来の二次元図面＋部品表の作成工数と比較し、17%の工数削減が図れたが、30%の目標には到達しなかった。 これは、製造指示の一部を技術指示化し 3D モデルに含めたことに伴う結果であり、製造指示追加として約 1 割の工数増となっているため。この目標設定時点では想定していなかった 1 割分の作業工数を除外して考えた場合、目標値近傍の 27%の削減効果が得られる見通しである。

〈個別要素技術のアウトプット指標・目標値及び達成状況〉

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
MDO 技術開発	拘束条件を数学的にモデル化し、遺伝的アルゴリズム等を用いて同時最適化を図ることにより、一定の設計コストと期間の制約条件の下で最適な空力形状を発見する技術 (多分野同時最適化技術) の実用化を図る。	<u>達成</u> 航空機遷音速空弾解析ツールの効率化、高度化を実施した。フラッタ風洞試験を行い上記ツールの有効性を確認した。飛行試験により空力性能評価を実施し、燃費向上の目標値をほぼ達成した (目標値 5%に対して 4%)。	

		飛行試験により、飛行特性、フラッタ特性がほぼ予測通りであることを確認した。	
CFD 解析技術 高度化	複雑形状への適用性に優れた非構造格子による CFD 解析ツールと世界トップレベルの計算機リソースを活用して様々な物理現象を CFD によって予めシミュレートし、設計リスクの事前解消と設計サイクルの高速化を図る。	<u>達成</u> スラストリバーサ解析技術を開発、簡易風洞試験でその精度を検証した。 飛行試験計装に対し CFD 解析を適用し、飛行特性等への影響を評価した。 飛行試験により、飛行特性がほぼ予測通りであることを確認した。	
機外騒音低減設計技術 開発	騒音発生メカニズムを把握した上で、スラット風切り音等の機外騒音低減対策を開発する。	<u>達成</u> 航空機非定常空力予測ツールを開発し騒音発生メカニズムの把握に用いた。 解明した高揚力装置騒音発生メカニズムを踏まえ騒音低減デバイスを考案し、風洞試験により騒音低減目標をほぼ達成する見込みであることを確認した（目標 2dB に対して 1.8dB）。	
先進空力計測技術開発	世界トップレベルにある画像計測技術等の先進空力計測技術を実設計・試験に適用し、信頼性向上と適用範囲拡大を図る	<u>達成</u> JAXA 6.5m×5.5m 大型低速風洞で音源探査を実施し、騒音源の特定に有効であることを確認した。 実機に対する音源探査技術を開発し、飛行試験機での計測を実施した。	
設計／技術 指示リリース分野	Single Authority を持つ統合データベースで一元管理する仕組み、当該データを正確且つ効率的に下流工程にリリース／管理する仕組み、国内外パートナーとの同時並行設計を	<u>未達</u> 3D モデルと部品表の一元管理の実現により計設計技術指示の冗長度が大幅に減少し、設計効率／設計品質向上に資する業務プロセス／シス	3D モデルによる技術指示作成工数は従来の二次元図面＋部品表の作成工数と比較し、17%の

	効率的に進める仕組み等を構築し、試作機開発に適用する。	テムが実現した。 統合データベースの適用、Viewer やリリース管理システムの導入により、パートナーとの同時並行設計が実施可能となった。 開発の初期から 3D モデルによる情報共有が進み、製造側でも十分な検討が可能となった。また、組立精度向上の観点から、組立基準穴情報の共有が早くから行われ、技術指示への反映も行われた。 技術指示作成工数の削減目標値 30%に対し、削減効果は 17%に留まった。	工数削減が図れたが、30%の目標には到達しなかった。 これは、製造指示の一部を技術指示化し 3D モデルに含めたことに伴う結果であり、製造指示追加として約 1 割の工数増となっているため。この目標設定時点では想定していなかった 1 割分の作業工数を除外して考えた場合、目標値近傍の 27%の削減効果が得られる見通しである。
製造計画・生産管理分野	3 次元 CAD モデル／部品表情報（データ）等を用いて、確実且つ効率的に製造プランニングを実行できる業務プロセス及びシステムを構築する。	<u>達成</u> 部品間の親子関係や号機・型式の関係をデータベース化し、3 次元 CAD モデル／部品表情報（データ）を、データベース上で設計・製造間で共有する仕組みを構築したことで、製造段階で問題となる系列切れによる設計不良の撲滅を図ることができた。 設計不良発生数削減目標 30%に対し、67%削減という結果が得られた。	
開発管理分野	正確且つ効率的に設計変更を管理する業務プロセス／システムを構築する。	<u>達成</u> 関係する設計文書間のトレースリンクをデータベース上で構築し、変更の影響分析がシステム上で容易にできるようになったため、設計変更プロセスの主体となる影響分析作	

		業が軽減され、処置時間の短縮が可能となった。 設計変更処置時間の削減目標30%に対して、50%削減の結果を得ることができた。	
--	--	---	--

3. 当省(国)が実施することの必要性

空力特性や構造重量の最適化も含めた機体の空力設計は、日本が国際競争力を有する空力設計技術をさらに向上させるものであり、航空機設計の基盤を固める上でも意義がある他、他分野を含め応用範囲は広い。また、開発・生産システムの開発成果として期待される情報フローの高効率化は、航空機を始めとする大規模・複雑システムの将来の設計インフラストラクチャ構築のための重要課題である。

他方、環境問題に関する社会的なインパクトの観点からも、近年、自動車や航空機等の輸送機器の低燃費・低騒音に対する社会ニーズが増しているが、低燃費・低騒音を実現するには本事業における開発目標となっている高度な空力設計技術等が必要である。

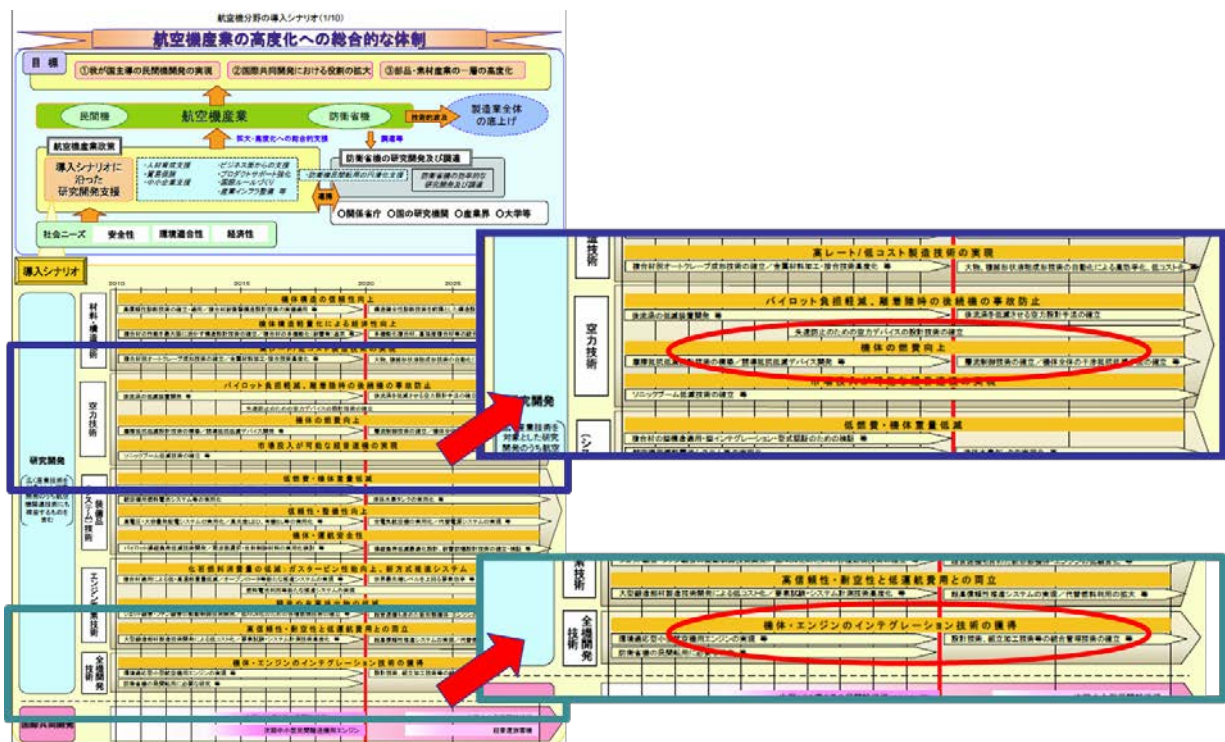
一方、本事業においては“机上の技術”ではなく真に実用的な技術とすべく、開発した空力設計技術等を実大規模の供試体（航空機）の設計に適用し、飛行試験等による実証を行うこととしている。このような実機での検証（設計・製造・試験）を含む開発においては、開発期間が長期に渡る上、多大なリソースを要するため、民間企業が単独で実施するには特に資金面において非常にリスクが大きい。

また飛行試験の実施にあたっては国土交通省を始めとする関係省庁との調整が必要となり、国が関与することによるメリットが見込まれる。

以上のような観点から、本事業については国の関与、資金面での支援が不可欠である。

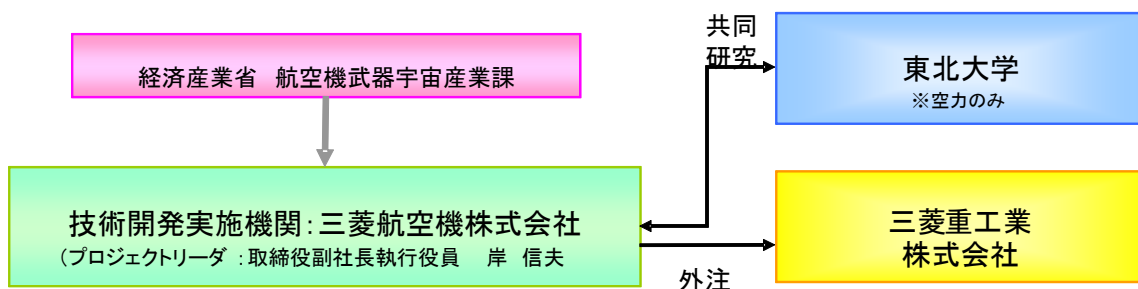
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

本事業で開発する空力設計技術及び開発・生産システム技術はそれぞれ、『技術戦略マップ2010』の航空機分野の導入シナリオにおける「機体の燃費向上」、「機体・エンジンのインテグレーション技術の獲得」と位置づけられる。



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

本技術開発は、公募による選定審査手続きを経て、三菱航空機株式会社が経済産業省からの助成を受けて実施した。



三菱航空機株式会社に於いて本技術開発の管理者として統括責任者、推進責任者としてプロジェクトリーダーを置き、三菱重工業株式会社等と連携しながら本事業を実施した。

当社の親会社である三菱重工業株式会社は、社内試験研究、JADC 委託研究、航工会委託研究等を通じて高精度空力解析ツールの開発と実用化を推進してきており、経験、成果ともに国内他社を大きく凌駕する。

また、防衛省（防衛庁）プログラムを通じて、多種多様な風洞試験の経験を有しており、特に機体と推進系の干渉に係る風洞試験技術に関しては国内随一の経験を有している。

さらに、感圧塗料に代表される先進画像計測技術の開発に国内でいち早く取り組み、航空宇宙技術研究所（当時）との共同研究を通じて基礎技術を確認し、日本航空宇宙学会の学会技術賞を受賞す

る成果を挙げている。

また、同社は旅客機等の開発において常に最先端のコンピュータ技術／CAD 技術を活用してきた。また、種々のコンピュータ・アプリケーションの導入や自社開発も進め、設計・製造各部門におけるデジタル化を着実に進めてきた。整備の過程で、コンピュータ・アプリケーションの実業務への適用に伴う諸課題を解決してきた事がノウハウの蓄積をもたらしている。

今後、量産機体での実証等での結果と更なる改善等については、論文や対外発表等を行う予定。

6. 費用対効果

本事業で得られた空力設計技術の成果を適用し、小型航空機を開発・市場投入した場合に期待される効果を試算し、本事業の費用対効果を評価する。

本事業で開発した空力設計技術を適用して設計した機体（新設計機）と従来機の燃料消費量を比較する。一回の飛行距離が 400nm（およそ 740km；全世界のリージョナル機の平均運航距離）とした場合、新設計機の燃料消費量は従来機よりも 30USG (US Gallon) 少ない。1 年間に 2,500 回、20 年間運航した場合、新設計機の燃料消費量は従来機よりも 150 万 USG 少ない。

この新設計機が全世界で 1,000 機運航されると想定すると、20 年間で 15 億 USG を節約できる。燃料消費量削減は CO2 などの温室効果ガスの排出抑制にも大きく寄与する。また、1,000 機を 20 年間飛ばして節約できる燃料を燃料費に換算すると、その差は US\$ 21.0 億（単価：US\$ 1.4/gal.）であり、日本円にすると約 2,310 億円（※）になる。

上記の節約効果はエアラインにとって極めて大きく、新設計技術を適用した機体は需要・売上が拡大し、本邦航空機産業の発展につながる。また、航空機産業の拡大に伴い関連産業／新規産業の発展も予測され、これらの産業の売上拡大も期待することができる。航空機産業の技術波及効果は一般に自動車産業の数倍とも言われ、本邦航空機産業の発展はわが国の経済発展に大きく寄与すると考えられる。

上述のとおり、本事業には十分な費用対効果が期待できると言える。

※為替レートを US\$ 1.00=¥110 とした場合

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 事業アウトカムの妥当性

先進空力設計技術については、航空機産業独特の国際競争力強化に直結するのみならず自動車、船舶、工業プラント、都市設計、室内空調等に応用の見込みがあり評価出来る。加えて生産プロセス技術の向上は、開発時のコスト低減・高品質高効率製造という観点から日本の強みとなり、国際競争力を発揮する。両者ともに日本の産業の発展・維持には不可欠な技術である。

一方、①定量的なアウトカム、②アウトカムまでの手段、③他産業領域における本技術の位置づけ、④他業種への適用結果等が示されていないことは要改善とすべき点である。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）数値計算の積極導入と形態管理のデジタル化は航空機分野に限らず、日本の産業の発展・維持には必要不可欠な技術である。
- ・（Ｂ委員）航空産業独特の国際競争力に直結する技術である空力技術と、日本の強みである生産プロセス技術の向上がもたらす事業アウトカムは、航空機製造技術が自動車の部品点数を桁で上回る大型システムを扱うものであることも相まって、自動車産業がトヨタ方式などと呼ばれ最先端の世界の製造技術を先導しているのと同様、より大型なシステムの高品質高効率製造においても国際競争力を発揮する今後の日本経済において重要なアウトカムが期待される。
- ・（Ｃ委員）先進空力設計技術を鉄道、自動車、船舶、工業プラント、都市設計、室内空調等に応用する方向性は評価できます
- ・（Ｄ委員）小型航空機に特定し、その燃費改善、騒音低減といった機体本体で一番重要な性能値２点と、設計生産時の工程削減といった開発時のコスト削減につながる項目を選択して、それらすべての点に対して定量的な向上を目指した点は評価できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ａ委員）もし可能であれば、もう少し定量的なアウトカムが提示してもらえればさらに良かった。
- ・（Ｂ委員）スタティックな領域の国際競争力は比較的高いが、ダイナミックな領域となると特に航空産業分野においては経験が少ない分これから挑戦すべき課題である。また、アウトカムをどうやって起こすのかの How の部分は、これからどれだけ航空機製造分野が日本にサプライチェーンを築けるかにかかっている。
- ・（Ｃ委員）自動車では MDO や CFD 技術等は既に適用されています。また、建設分野でも空気流れ等のシミュレーション等は実施されていると認識しております。波及効果の部分がそれぞれの産業分野での現状や実態把握や十分でない印象があります。本技術の適用が、それぞれの産業領域でどれほど重要で、どのくらいのインパクトがあるかがよく分からないため、定量的に波及効果を示していただけることが必要かと考えます。
- ・（Ｄ委員）他業種への適用に至っていない点は、残念であるが、今後量産機体が完成した暁には、この点が大きく進捗することを期待する。

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

研究開発項目・目標・指標等はきわめて明確であり、これは日本のプレゼンス向上につながるものである。成果も多少の未達が見受けられるものもほぼ達成されており、妥当である。

一方で、①定量的な事業アウトプット指標の明示、②具体化、③目標・指標と成果の関連性等に課題がある。

【肯定的所見】

- ・（A委員）研究開発項目はきわめて明確であり、これは日本のプレゼンス向上につながるものである。成果も多少の未達が見受けられるものも妥当なものである。
- ・（B委員）研究開発内容は明確で、期待できる事業アウトプットも明確である。特に、生産プロセス開発の部分では、定量的な数値の達成に成功している。
- ・（C委員）・研究開発の目標・指標は分かり易いです。・成果もひとつを除き達成しています。
- ・（D委員）機体性能に関する燃費効率向上、機外騒音低減について定量的計測により目標値をほぼ達成したことは評価される。この目標値達成により市場での優位性は未だ確保されていると判断できる。

【問題あり・改善とする所見】

- ・（A委員）定量的な事業アウトプット指標がそれほど明示されているとは感じなかった。
- ・（B委員）今後直接の競争力の表現となる燃費効率や騒音低減値の評価方法やデータの正規分布などを定量化していくと、カスタマーへのメリットの見える化が促進する。
- ・（C委員）・目標・指標と成果の関連性が分かり難いです。
- ・世界的に本研究がどれほどの位置づけにあるかが明確でない印象があります（国内外他社との比較がほとんど記されていないことも一因と考えます）。例えば、Embraer、Bombardier はどこまでやっているのか、そこと比較して本研究の競争優位性は何か？ここらへんを明確にしていきたいです。
- ・一部、実施内容の説明が不十分な印象がありました。例えば、CFD 解析の技術高度化はスラストリバーサ解析について言及していますが、何故、スラストリバーサに絞って説明されているかの理由がわかると良いと考えます。
- ・（D委員）機体開発時の工数等の改善については、目標設定時に想定されていなかった項目を除外すれば、目標をほぼ達成するということであるが、今後は今回の経験を適切に伝承し、このような想定外の項目が発生しないようにするべきである。

3. 当省(国)が実施することの必要性

国内航空機産業の基盤強化、他産業への波及、他省庁との調整の必要性などを考慮すると妥当である。

一方で、他産業への波及の推進、他省庁との円滑な連絡調整は今後必要となってくることである。

【肯定的所見】

- ・（A委員）①、②および⑤を満たしており、妥当である。
- ・（C委員）・国内航空機産業の基盤強化、他産業への波及を勘案すれば、経済産業省で実施すべき内容です。

・（Ｄ委員）経済産業省が策定した技術戦略マップ 2010 の航空機分野導入シナリオに従って研究開発テーマが選定されており、国が関与する必要性は十分に認められる。また運航や飛行試験のためには主に国土交通省との調整が必要であり、この点でも国の関与が必須である。

【問題あり・要改善とする所見】

・（Ｃ委員）・研究成果をいかに他産業などに波及させていくか、仕組みを含めて考える必要があります。

（何もしなければ、おそらく波及はなかなか進まないです）

・（Ｄ委員）一方で、複数の官庁が関与する事業であるので、これらの組織間での連絡調整等の付加業務が多かったと思われ、今のところそれが問題になっていないようではあるが、今後も注意して円滑な連絡調整をお願いしたい。

４．事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

実用化・事業化に向けた真摯な取り組みは大変すばらしいもの。実機による実証、認証取得取得も含めたアウトカム達成に至るまでのロードマップが作成されていることに評価。

一方で、①認証からアウトカムまでの具体化、②実機実証にあたっての情報蓄積体制の構築、③他産業への適用、については言及されておらず課題である。

【肯定的所見】

・（Ａ委員）実用化・事業化に向けた真摯な取り組みは大変すばらしいものであり、既に社内での業務に十分に活かされている。

・（Ｂ委員）航空産業は、他の産業と大きく異なり、機体の安全基準、操縦の安全基準、空港や管制など国が実施することが定められていることから、世界のニーズと自国の産業を鑑み自国の航空産業を国が育成支援をすることが求められる分野である。

・（Ｃ委員）・実機による実証は極めて有効で、高く評価されます。

・（Ｄ委員）通常の事業とは異なり国際認証を取得することが事業成功のために必須であり、この点も十分に配慮に入れながら、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップが作成されていることは評価できる。

【問題点・改善とする所見】

・（Ａ委員）アウトカムとして、FAA 等の認証と今後どのようにリンクさせるのかについては記載および説明がなかった。

・（Ｂ委員）従来、民間航空機産業は航空機部品産業にしかプレーヤーが存在しなかった分、経験を積んでいなかったプロセスの蓄積を構築する必要がある。

・（Ｃ委員）・実機実証情報をいかにデータベース化し、活用していくかを示していただけると良かったと思います。

・本技術が基準・標準化とどこまでなじむかがやや不明です。他産業への適用も考えれば、なんらかの標準化方策は必要かと考えます。

・（Ｄ委員）他業種への適用の面では、細かい検討は進んでおらず、今後はこの面でも作業を進めていただきたい。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

事業と研究開発に溝が少ないマネジメント体制であり、よく整理されていると判断される。
一方で、①より長期的な研究開発に関するマネジメント、②製造計画・生産管理システムに関するマネジメント、③アウトカム達成に向けてのマネジメントが今後必要となってくる。

【肯定的所見】

- ・（A委員）マネジメント体制は大変よく整理されていた。
- ・（B委員）現在の航空機製造事業を軌道に乗せる活動だけでも大変なチャレンジであるが、並行して研究開発を実施しており、事業と研究開発に溝が少ないマネジメント体制が感じられる。
- ・（C委員）空力シミュレーション等に強い東北大学との連携は、日本全体として有効と考えます。
- ・（D委員）量産が開始されておらず、未だ事業アウトカムが達成されるまでは時間がかかるが、これまでの進捗状況に鑑みると、研究開発計画やマネジメント体制はここまで適切であったと判断できる。

航空機開発という通常の消費財等とは異なる製品の特徴をしっかりと把握した上で、適切な知財取扱の戦略が立てられていると判断される。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（B委員）今後の国際競争力の強化のためには、近未来技術の研究開発のみにならないマネジメントが必要になってくる。
- ・（C委員）製造計画・生産管理システム関連の体制が若干分かりづらいところがありました。
- ・（D委員）事業アウトカムの達成に向けて、量産機体の製造も含めて、今後更なる事業を続けていってほしい。

6. 費用対効果の妥当性

投入された資源量に対してきわめて大きな効果が得られる見込みであると判断され妥当である。
一方で、①今後の研究開発の積み重ね、②1機あたりのコスト低減の提示、③他産業への波及効果が必要となってくるはずであり、言及されていない点は課題である。

【肯定的所見】

- ・（A委員）国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。
- ・（B委員）他の産業と比較にならないほど安全上のコストがかかる分野であるが、本研究開発の挑戦があるからこそその進歩は重要で、将来の事業アウトカムが期待できる選択枝を我が国が有していることの価値も費用対効果と考えることができる。
- ・（C委員）エアラインの燃料削減効果が定量的に示されている点は評価されます。
- ・（D委員）長い間我が国で製品が存在しなかった小型航空機分野において、この新設計機が今後量産されていくことは、我が国の航空機産業の発展に多大な貢献を行うことになり、投入された資源量に対してきわめて大きな効果が得られる見込みであると判断される。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（B委員）今後の研究開発の積み重ねで、徐々に費用対効果も高まるが、まずはその時点でのコストパフォーマンスを最大化する改善の継続がその効果を生み出す。

- ・（Ｃ委員）・上記の削減額が、例えば１機あたりどのくらいのコスト低減になるかを示していただけると効果が分かり易いと思います（それなりの効果があると認識していますが）
- ・他産業への波及効果がふれられていない点が課題です。むしろこちらのほうが重要かと考えます。

7. 総合評価

空力技術と生産性の大幅な工場を図ることを目的とした非常に重要なテーマの研究開発であり、計画・取組・結果において成果をあげていることに高く評価できる。

一方で、①アウトプット、アウトカム of 具体案と定量データ、②安全上のコストはかけつつコストパフォーマンスを最大化する挑戦、③世界に先駆けた研究開発、④他業種への適用、といった観点に課題を残している。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）今後の機体開発を念頭においた大変重要な取り組みである。よく練られた計画、真摯な取り組み、優れたアウトプット等いずれも高いレベルにある。
- ・（Ｂ委員）空力と生産という航空機事業において最も重要なテーマに挑戦している。
- ・（Ｃ委員）・航空機の製品開発・生産性の大幅な向上を図ることを目的として、成果をあげている点は評価できます。
- ・（Ｄ委員）MD0 といった先駆的研究を機体開発での実用化に活用した点は、高く評価できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ａ委員）アウトプット、アウトカム of 具体案と定量データ
- ・（Ｂ委員）安全上のコストはかけつつコストパフォーマンスを最大化する挑戦が競争力を生む。
- ・（Ｃ委員）既に欧米や航空機産業は勿論、他産業ではデジタル・トランスフォーメーションへの取り組みが積極的に進められています。そのことを考えると今回の内容が先進的に欠けていると考えます。
- ・（Ｄ委員）他業種への適用に関しては、量産機体が完成次第、至急検討を始める必要がある。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

本研究開発については、構造解析、強度解析、生産技術を組み入れた体系的な取り組みになると、また航空機特有の技術開発であるからこそ他産業への適用を図り、定性的だけでなく、定量的に示すことへ期待したい。

また、技術の伝承を含めたノウハウの維持、生産管理システムの維持管理、知財管理などは事業終了後の重要な課題であるため、しっかりと取り組んで頂きたい。

なお、航空機産業に関する研究開発への提言としては、今後狭義の「ものづくり」ではなく、アフターサービスや新しい顧客価値の創造など、バリューチェーン全体にわたる視点で、研究開発の目標、内容、取組方を考えることが不可欠であり、加えて空力、構造、装備品という従来のカテゴリーではなく、それぞれを融合したり、ICT・IoT（ソフトウェア、セキュリティ等を含め）、User Experience、ブロードバンドの新たな航空インフラなど新しい考え方を取り入れることが重要である。

【各委員の提言】

- ・（Ａ委員）本事業では空力と形態管理であったが、いささか設計・開発のフェーズとしては距離がある。今後は、構造解析、強度解析、生産技術を組み入れた体系的な取り組みになると更に良い。
- ・（Ｂ委員）我が国の航空産業振興は、製造事業の立ち上げと国際競争力の向上の２つを同時にこなす芸当が要求されている。しかし、自動車産業の次は崖っ淵であると危惧される我が国の産業構造を鑑みると、航空機製造産業への挑戦には国家的規模で立ち向かう必要があることが明白である。これは航空機製造産業自体の産業生産の話に留まらず、航空機という部品点数が桁違いの大型システムの製造を１０の９乗分の一という天文学的な安全性を備えた上で成し得る高度で競争力のある技術の、他の産業への波及効果も考慮した上で評価すべきである。これらの技術は、高度な技術の新規開拓とそれを厳しく精査しレギュレーションに取り込む活動のサイクルによって蓄積されている。このサイクルへの参入こそ真の航空産業の構築であり、今後取り組むべき研究開発の方向である。このことから、現在はキャッチアップ型の研究開発要素が支配的であるが、徐々に革新的研究開発要素も組み入れられていくことが期待される。
- ・（Ｃ委員）重要な事項が３つあると考えます。

①ポジショニング

研究開発が世界（特に欧米との比較）で、どの水準にあり、その成果が日本の航空機産業にもたらす効果を定性的・定量的に明確化すること

欧米に遅れていたとしても、それは事実ですので問題ではありません。日本航空機産業の戦略においても、本研究がその優位をいかに縮め（あるいは拡大し）、何を航空機産業にもたらすのか？を、まず明らかにして頂けると良いと考えます。同時に、戦略のベースとなる将来の方向性と、単に航空機の製造という狭義の「ものづくり」ではなく、アフターサービスや新しい顧客価値の創造など、バリューチェーン全体にわたる視点で、研究開発の目標、内容、取組方を考えることが不可欠と考えます。

②成果の波及

費用対効果の視点から、他産業や社会への波及は研究開発の何が、どのような価値を、誰に提供できるかを、定性的だけでなく、定量的に示すことが重要と考えます。また、定量的に示された波及効果は必ずしもそのとおりなるとは限りませんが、少しでも波及効果を現実化させるための仕組みについても考える必要があります（それではないと絵に描いた餅に終わります）。

③大きな流れの中での先進性・革新性のリード

航空機産業は製造業、運航業、MRO等のサポート、いずれも従来の狭義の「ものづくり」で考えていては、時代に取り残されると考えております。IoT等に代表されるDigital Transformationへの転換に、研究開発がいかに寄与し、それを実現するかを勘案することは必須と考えます。

航空機製造業も、空力、構造、装備品という従来のカテゴリーではなく、それぞれを融合したり、ICT・IoT（ソフトウェア、セキュリティ等を含め）、User Experience、ブロードバンドの新たな航空インフラなど新しい考え方を取り入れることが、これからのインテグレータにとっては重要ではないかと考えております。例えば、既にご存じと思いますが、BOMではハード以上にソフトウェアを

どうするかが大きな課題です。

将来の見極めた戦略と、それに基づいた研究開発とその成果に期待いたします。

・(D委員) 本事業を通じて、多くのノウハウが蓄積されたと思われるが、事業終了に伴い、それらが散逸して失われないように、技術の伝承を含めて、ノウハウの維持に是非努めてもらいたい。

この点に関連して細かい事になるが、生産管理システムを活用して事業が進められてきたが、この生産管理システムに関係するソフトウェア製品はしばしばバージョンアップがあり、その度に管理者が対応しなければならない。本事業に関する製品は、長期的に製造されるため、その間のシステムの維持管理に最大限の注意を払っていただきたい。

知財戦略について、しっかりした方針を立てられているが、世界展開される製品に関する事業ということで、この関連で予測されないような自体が今後起こる可能性を十分認識されているものの、万一来て備えて出来るだけの準備をお願いしたい。

<上記提言に係る担当課室の対処方針>

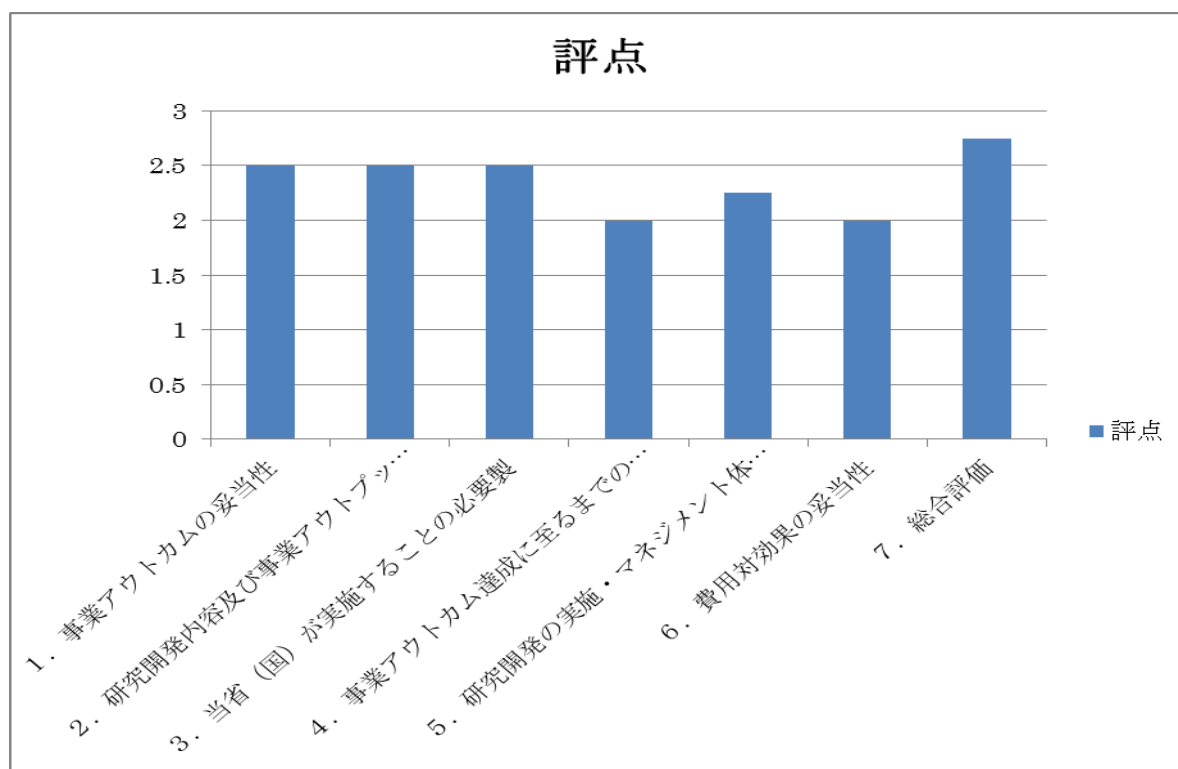
他産業への適用について、当課における研究開発事業（NEDO事業）では、費用対効果という観点から他産業への裨益の検討も求めている。四半期に1回程度、検討状況についてフォローしている。検討状況については引き続きフォローするとともに、中間評価や事後評価においては、航空機産業以外に知見のある有識者を委員に選定する等、幅広い視野で成果の普及の可能性を探っていく。

技術の伝承を含めたノウハウの維持、知財管理等については、研究開発を推進するにあたって作成した知財合意書の中で、研究開発終了後も一定期間、適切に知財管理を行うよう定めている。研究開発終了後、定期的に追跡調査を実施して、事業化に向けた状況の確認を行っている。

従来カテゴリーの融合や新しい考え方の導入について、例えばエンジン電動化についての研究開発を入り口に機体全体のシステム設計まで考える新規事業の立ち上げや、データ収集・分析というアフターマーケットの観点を取り入れた光ファイバーによる機体損傷検知システムの研究開発事業などを実施しており、既存のカテゴリーにとらわれない研究開発を推進している。今後も幅広い視点で積極的に新しい考え方を取り入れていき、新規プロジェクト立案に繋げていきたい。

Ⅲ. 評点法による評価結果

	評点	A委員	B委員	C委員	D委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.5	3	3	2	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.5	3	3	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要製	2.5	3	3	2	2
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2	2	2	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.25	3	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2	2	2	1	3
7. 総合評価	2.75	3	3	2	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

- 3点：極めて妥当
- 2点：妥当
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(中間評価の場合)

- 3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。
- 2点：事業は良好であり、継続すべきである。
- 1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。
- 0点：事業を中止することが望ましい。

(終了時評価の場合)

- 3点：実施された事業は、優れていた。
- 2点：実施された事業は、良かった。
- 1点：実施された事業は、不十分なところがあった。
- 0点：実施された事業は、極めて不十分なところがあった。

Ⅳ. 評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

評価ワーキンググループの所見【中間評価】
・他の産業も含めて幅広く成果の波及が期待できるよう、成果の横展開のあり方について十分に考慮すべき。
所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間時評価】
・技術開発の進展によって、今後、他の産業も含めて事業成果が幅広く波及することが期待される。

評価ワーキンググループの所見【終了時評価】
所見を踏まえた改善点（対処方針）等【終了時評価】