

先進空力設計等研究開発プロジェクト (航空機関連)終了時評価 補足資料

平成29年3月

製造産業局航空機武器宇宙産業課

目次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. 当省(国)が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果
8. 外部有識者の評価等
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. 事業の概要

概 要

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。

実施期間

平成20年度 ～ 平成27年度 （8年間）

実施形態

国からの直執行（三菱航空機への補助事業）

予算総額

211.7億円（補助（補助率：1／2））

（平成20年度：41億円 平成21年度：41億円 平成22年度：33.3億円 平成23年度：33.3億円
平成24年度：33.3億円 平成25年度：10.4億円 平成26年度：9.9億円 平成27年度：9.5億円）

実施者

三菱航空機株式会社

プロジェクト リーダー

岸 信夫 取締役副社長執行役員

2. 事業アウトカム

事業アウトカム指標 (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)
<p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>小型航空機に適用して、本事業を行うことにより、燃費向上及び騒音低減については、ほぼ達成することができた。</p> <p>一方、管理システムについては、設計不良発生数及び設計変更処置時間で目標を大幅に上回る成果が得られたが、技術指示作成工数については、目標達成には至らなかった。これは目標設定時には想定していなかった技術指示への一部製造指示反映を行ったためであり、この要因を取り除き、当初の条件下で実施した場合は、数値上の目標を達成できる見通しが得られ、一定の成果を上げることができた。</p> <p>今後、量産機体製造の中でさらなる向上を図っていく。</p>	<p>技術をしては完成したが、量産機体が未完成であり、多業種への適用に至っていない。</p>

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)
<p>・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</p> <p>(「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。)</p>	<p>・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</p>	<p>①燃費効率向上:4% ほぼ達成 ②機外騒音低減:1.8dB 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)</p>	<p>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。</p>

個別要素技術のアウトプット指標・目標値及び達成状況(1/3)

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。	達成 <ul style="list-style-type: none"> • 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。	達成 <ul style="list-style-type: none"> • 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。 	

【MOD】多分野統合最適化技術(multi design optimization)の略。空力や構造など領域の異なる分野を同時に最適設計すること。

【CFD】数値流体力学(Computational Fluid Dynamics)の略。風洞試験や飛行試験をと共に必要な航空機空力設計ツールのこと。

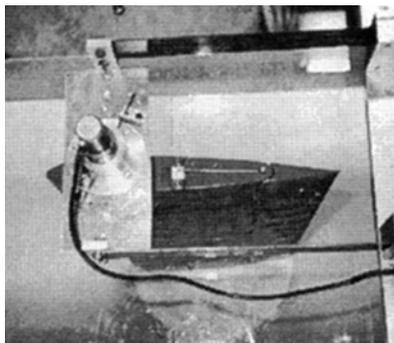
個別要素技術のアウトプット指標・目標値及び達成状況(2/3)

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)
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。	<p>達成</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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。	<p>達成</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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。 	

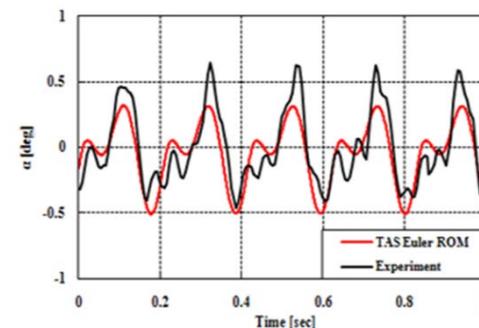
(1) MDO技術開発

- 空力非線形と舵面ガタの双方を組み込んだ舵面LCO解析ツールを開発し、公知風洞試験データを用いた検証を行い、舵面ガタに起因するLCOを高精度に予測できることを確認した。
- 解析ツールの有効性確認のため、フラッタ風洞試験を行い、精度検証のためのデータを取得した。

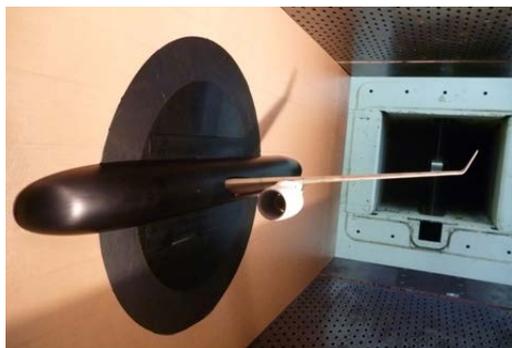
LCO: Limit Cycle Oscillation



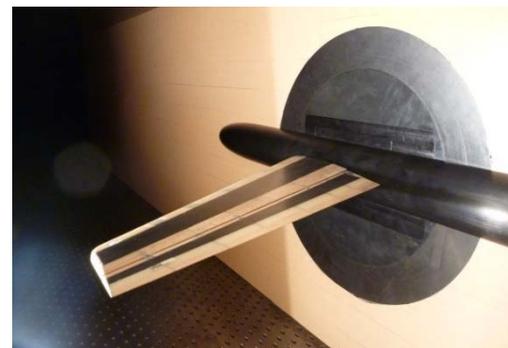
公知風洞試験模型(舵面ガタを含む)



LCO振幅の比較(解析 vs. 試験)



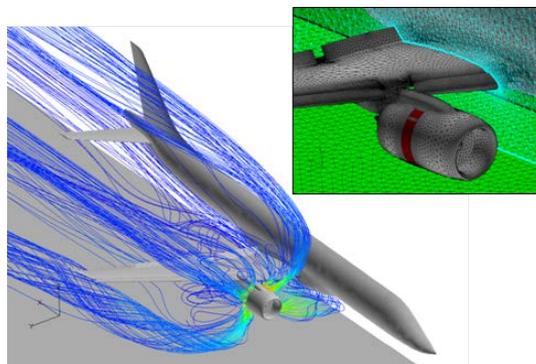
主翼フラッタ風洞試験



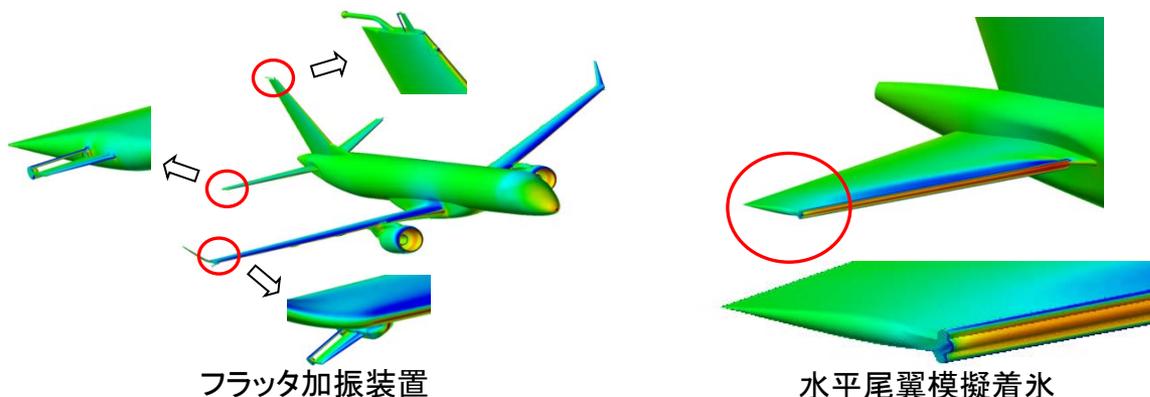
尾翼フラッタ風洞試験

(2) CFD解析技術高度化

- 空気の流れが複雑な着陸後の制動装置であるスラストリバーサに対する解析を実施した。
- 飛行試験計装が空力特性に及ぼす影響や計装品の計測精度検討についてもCFD解析技術を適用して、飛行試験における安全の確保や確実な評価の実施を図った。



スラストリバーサ作動時の解析結果



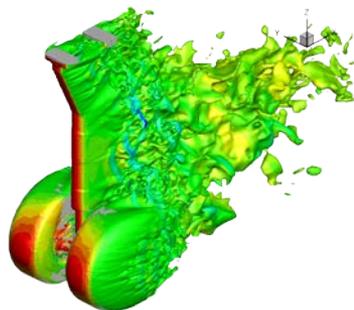
フラッタ加振装置

水平尾翼模擬着氷

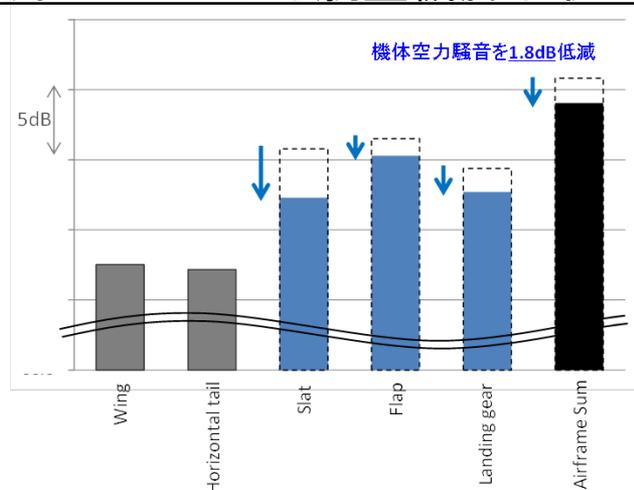
飛行試験計装形状での解析結果

(3) 機外騒音低減設計技術開発

- 騒音発生メカニズムの解明を目的として騒音源となる圧力の時間変動を解析するための非定常空力予測ツールを新たに開発した。
- スラット、フラップ、脚に対して騒音低減デバイス案を策定し、風洞試験により機体空力騒音を約1.8dB低減可能であることを確認した(目標2dB)。



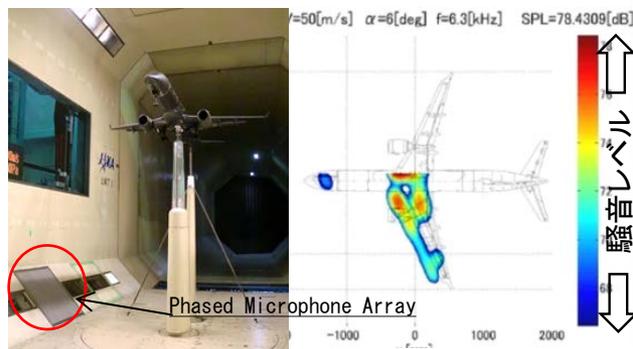
非定常空力予測ツールによる航空機脚形状の解析結果



騒音低減デバイス 騒音低減効果

(4) 先進空力計測技術開発

- 光学的流れ場計測技術(PSP/PIV(Particle Image Velocimeter))の技術開発を実施し、試作機の設計と風洞試験に適用した。
- 機外騒音の騒音源の把握を目的とした音源探査技術の開発に取り組み実機での計測を実施した。



MRJ全機10% 模型風洞試験

(提供：朝日新聞)

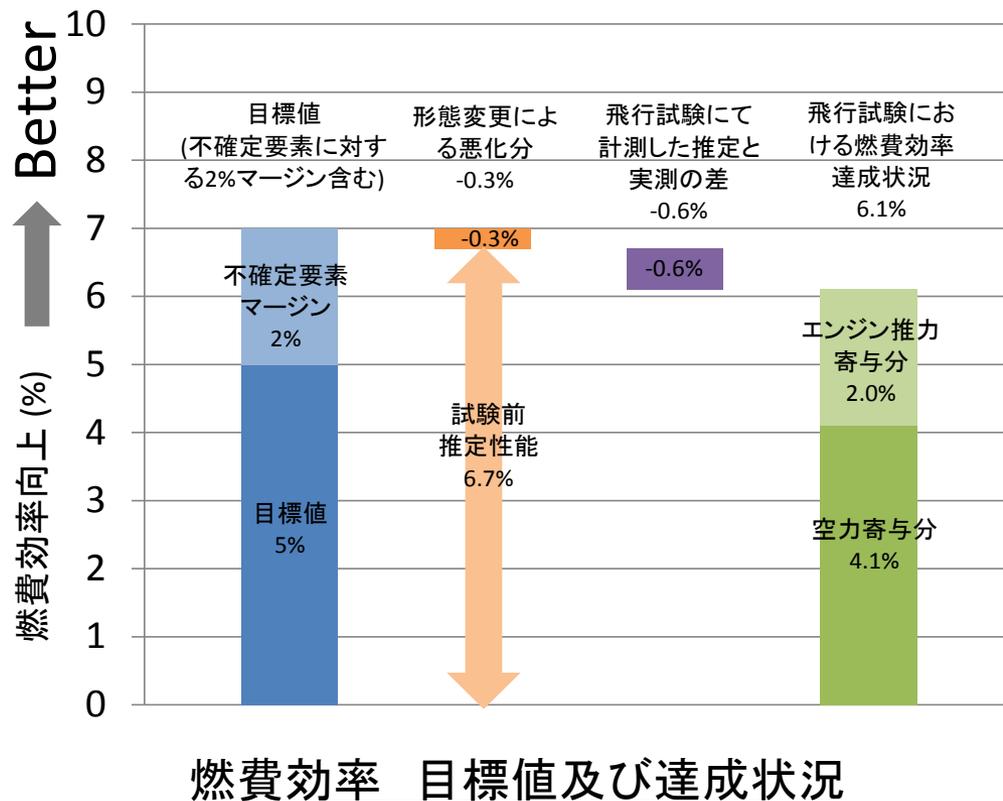


MRJ実機飛行試験

機外騒音 音源探査技術

(5) 試作機への適用

- 飛行試験結果から、空力設計・空力性能・飛行性・フラッタ(空力弾性)等がほぼ予測通りであることを確認した。
- 巡航速度・高度・形態での飛行試験結果から、燃費効率向上における空力寄与分の分析を行い、空力寄与分(本開発の成果)が約4%であることを確認した(目標5%)。



個別要素技術のアウトプット指標・目標値及び達成状況(3/3)

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)
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。	<p>未達</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3D モデルと部品表の一元管理化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。 	<p>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%の工数削減が図れたが, 30%の目標には到達しなかった。</p> <p>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。</p>

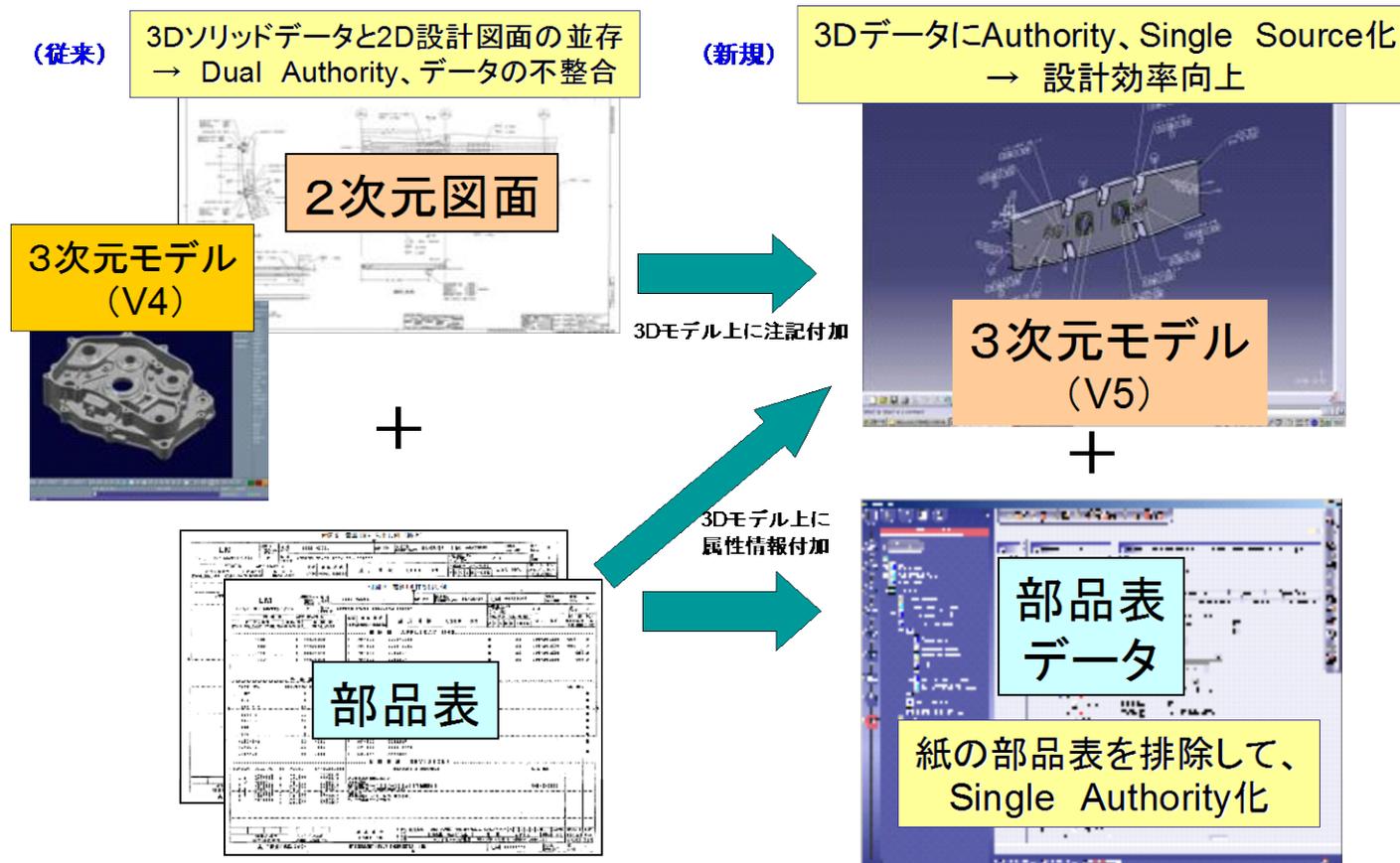
個別要素技術のアウトプット指標・目標値及び達成状況(3/3)

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)
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。	達成 <ul style="list-style-type: none"> • 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。	達成 <ul style="list-style-type: none"> • 関係する設計文書間のトレーシング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。 	

(1) 設計/技術指示リリース分野

◆ 設計部品表管理システム

- 3Dモデルと部品表を一元管理する仕組みを構築。
- 1機ごとに仕様が異なる民間旅客機に対応できる号機定義手法を構築。



従来手法から新手法への移行

(2) 製造計画・生産管理分野

◆ 統合BOM管理システム

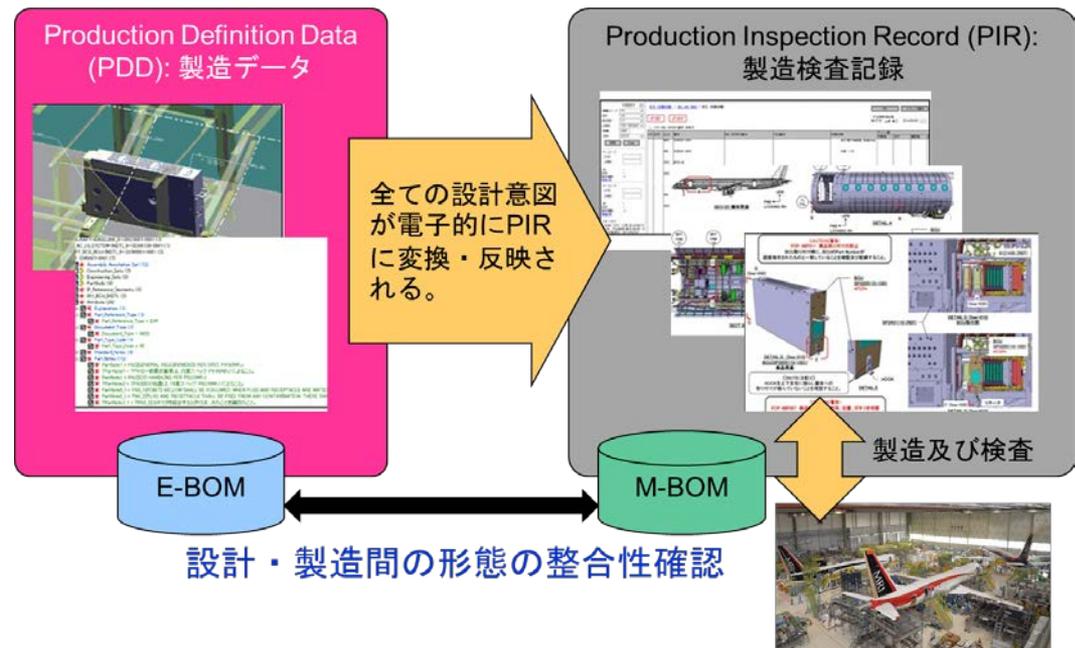
下記の3つの機能を有するシステムを開発。

- 設計／生産技術両部門での製造図面の事前共有を通じ、作業効率向上と設計・製造品質を向上。
- 図面リリース後しかできなかったE-BOM／M-BOM不整合を事前検証可能。開発期間短縮、設計変更削減に効果が見込める。

(*)BOM;Bill of Material＝部品表(E-BOMは設計部品表, M-BOMは製造部品表)

◎3つの機能

- ①E-BOM精度向上(系列切れ撲滅)
- ②E-BOM／M-BOMの整合性確認
- ③機体別BOMデータ作成

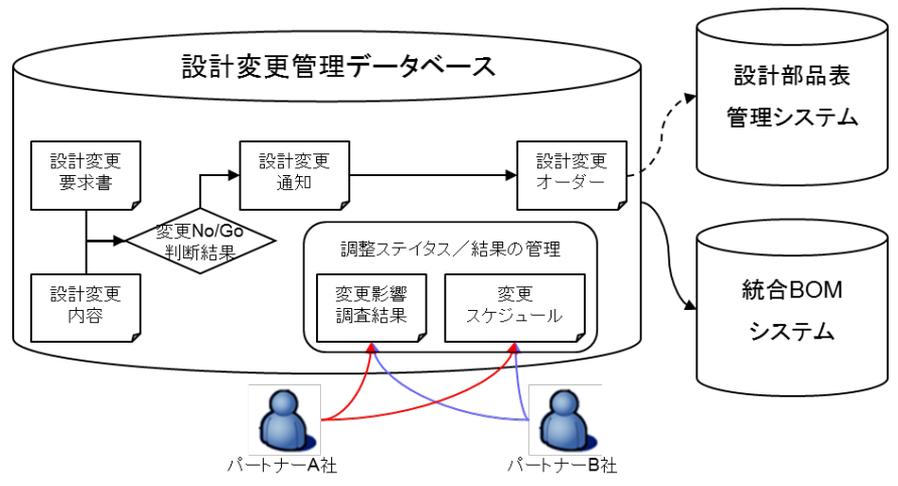


統合BOM管理システムの概要

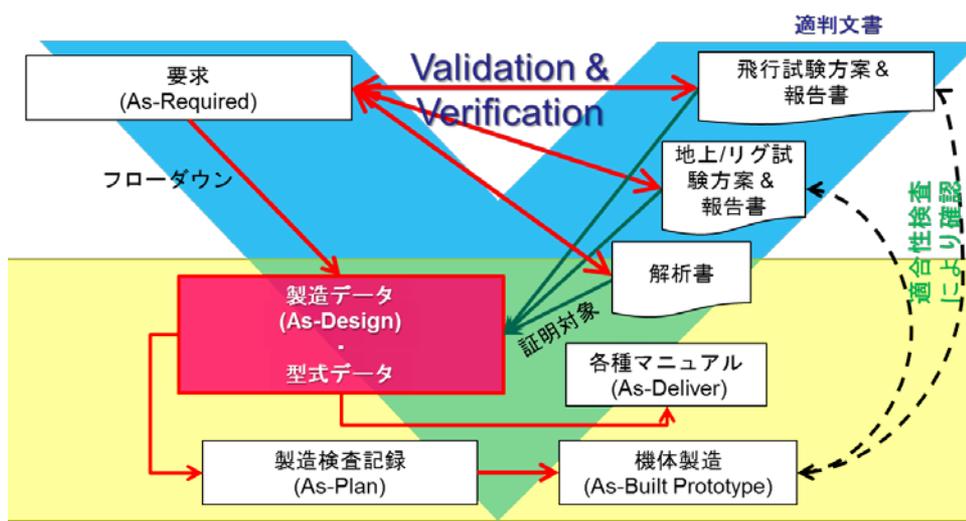
(3) 開発管理分野

◆ 設計変更管理・統合的形態管理

- 過去の航空機開発経験等を踏まえて、設計変更プロセスを制定。
 - ・ 設計変更プロセスの標準化・システム化
 - ・ 世界各国に分散する共同開発パートナーと的確に設計変更情報を共有
- 設計変更が発生した際に、適合性証明活動に対する影響を統合的に分析する仕組みを統合的形態管理のプロセス・システムとして構築。
 - ・ 仕様(要求やスペック)と機体CAD情報やその構成BOM及び試験方案・報告書の関係性をリンク情報としてデータベース上で管理
 - ・ 変更時の影響分析はデータベース上のリンク情報をたどって瞬時にリストアップが可能に



設計変更管理システムの概要

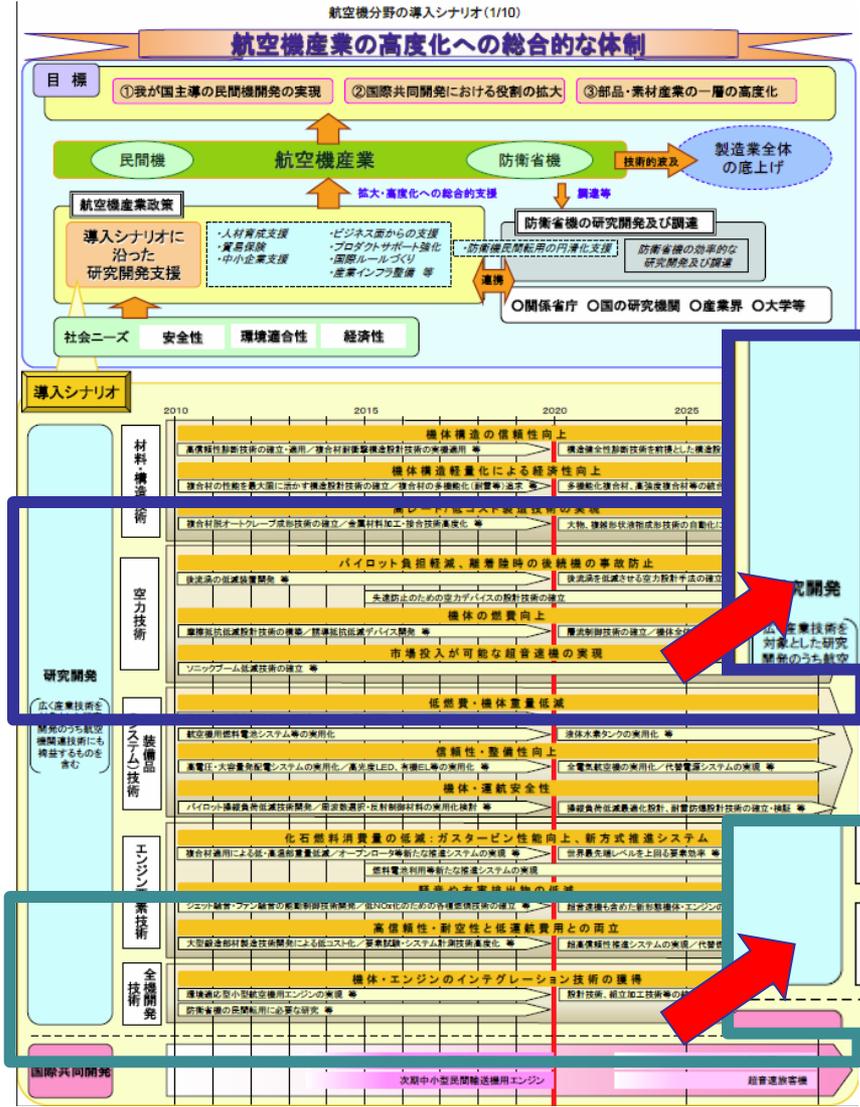


統合的形態管理のプロセス・システムの概要

4. 当省(国)が実施することの必要性

・我が国では、YS-11以来、国産民間旅客機の開発を実施してきておらず、技術戦略マップに従って、航空機分野の導入シナリオである「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」を実施していくためには、多額の研究開発活動費が必要であり、さらにこの研究開発活動費を回収するためには長期間の活動が必要となる。

5. 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。



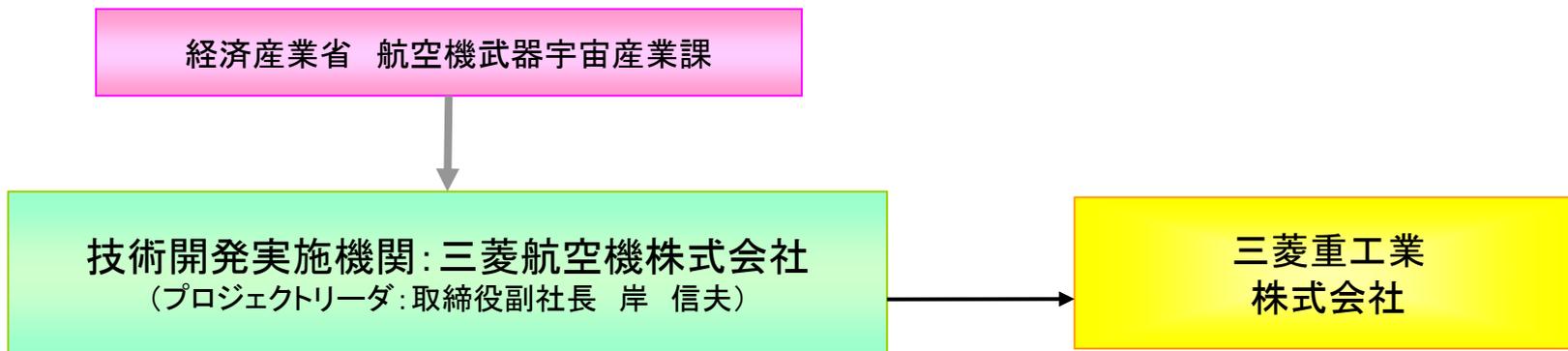
航空機分野の導入シナリオ(出所:技術戦略マップ2010)

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

本研究開発は、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補助を受けて実施している。

三菱航空機株式会社において本研究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の外注先を活用しながら本事業を実施している。

【体制図】



7. 費用対効果

- 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）が、従来機1,000機と置き換わるとすると、20年間で約2,310億円の燃料費節減となる。
- 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の売上拡大も期待でき、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。

8. 外部有識者の評価等

8-1. 評価検討会

評価検討会名称

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

評価検討会委員

委員

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

8-2. 総合評価

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、アウトカムの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】

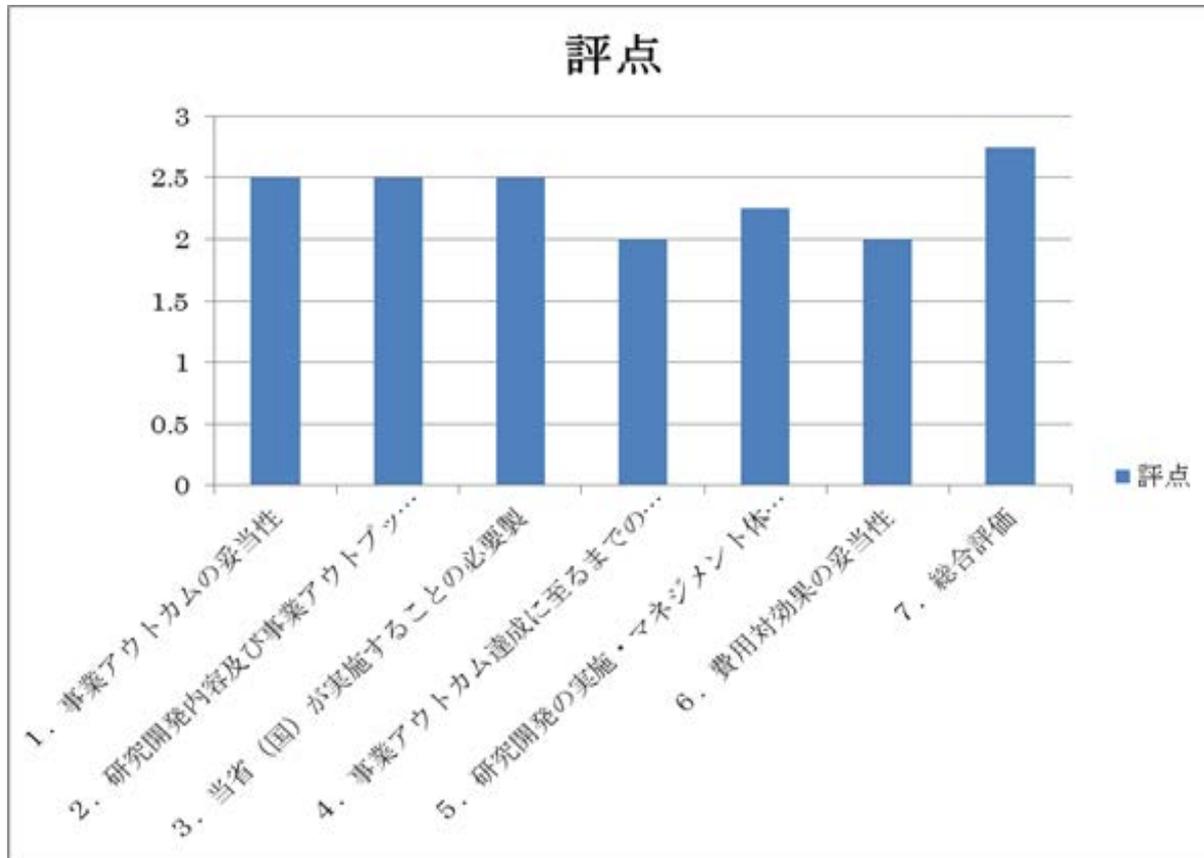
- ・今後の機体開発を念頭においた大変重要な取り組みである。よく練られた計画、真摯な取り組み、優れたアウトプット等いずれも高いレベルにある。
- ・空力と生産という航空機事業において最も重要なテーマに挑戦している。
- ・航空機の製品開発・生産性の大幅な向上を図ることを目的として、成果をあげている点は評価できます。
- ・MDOといった先駆的研究を機体開発での実用化に活用した点は、高く評価できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・アウトプット、アウトカムの具体案と定量データ
- ・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。
- ・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。
- ・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。

8-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト終了時評価において、
評点法による評価を実施した。



【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

7. 総合評価

(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。

9. 提言及び提言に対する対処方針

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こと、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。
- 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。
- 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。

提言に対する対処方針

- 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おり、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きたい。
- 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。また、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。