

## 先進パイロット支援システム(機体・システム統合化)

### 評価用資料

平成27年3月26日

経済産業省製造産業局航空機武器宇宙産業課

三菱重工業株式会社

## 目 次

1. 事業の目的・政策的位置付け.....	1
1-1 事業の目的.....	1
1-2 政策的位置付け.....	2
1-3 国の関与の必要性.....	5
2. 研究開発目標.....	6
2-1 研究開発目標.....	6
2-1-1 全体の目標設定.....	7
2-1-2 個別要素技術の目標設定.....	8
3. 成果、目標の達成度.....	10
3-1 成果.....	10
3-1-1 全体成果	
3-1-2 個別要素技術成果	
3-1-3 特許出願状況等	
3-2 目標の達成度.....	19
4. 事業化、波及効果.....	21
4-1 事業化の見通し.....	22
4-2 波及効果.....	23
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等.....	24
5-1 研究開発計画.....	24
5-2 研究開発実施者の実施体制・運営.....	25
5-3 資金配分.....	26
5-4 費用対効果.....	27
5-5 変化への対応.....	27

## 1. 事業の目的・政策的位置付け

### 1-1 事業目的

近年のエアラインからの低燃費、低整備コスト、高速化等のニーズに応えるため、完成機メーカーには機体の軽量化、抵抗低減、整備性の向上が求められている。一方、装備品メーカーにも装備品の軽量化や小型化及び高信頼性確保を実現した先進操縦システムの開発が求められている。

次期国際共同開発機プログラムでは先進的な機体・装備技術の採用が必須と考えられるため、当該プログラムへの参画には複合材等の新素材の特性を活かした先進的空力・構造設計、及びこれらの機体仕様に合致した小型／高性能アクチュエータの開発、それらを統合した技術の開発が急務となっている。特に、次世代旅客機の主翼は、燃費低減のため従来機よりも大きなアスペクト比で翼厚比は小さくなることから、相対的に薄翼化する傾向にあり、アクチュエータ等の操縦システムコンポーネントはより小型化することが必要となっている。同時に、次世代旅客機では、従来機に比べ 20%の燃費低減が要求されることから、軽量化による燃費低減への貢献が必要である。

ライセンス生産を中心としてきた日本の装備品メーカーは海外メーカーに比べ技術的な遅れがあり、更に完成機メーカーは新技術導入と共にシステムの高い信頼性を装備品メーカーに求めるため、日本の装備品メーカーが次期国際共同開発機プログラムに参画するためには、必要な技術の先行開発により新技術に対する事前の実証や実績を得ることが必要である。このためには、完成機メーカー／装備品メーカーの連携により、機体構造とシステム全体としての最適化及び技術の実証が重要であり、加えて、高度な知見を有する大学との連携も有効である。

以上から、本事業を通じ、完成機メーカー／装備品メーカー／大学が連携して先進操縦システムに関する機体構造・装備の同時最適化を実施し、次世代旅客機に適用する操縦システムの高信頼性確保・軽量化技術を開発する。本成果を基に、最終的には国際共同開発機プログラムでの機体構造と装備品の一括受注、我が国航空機産業の国際競争力強化、及び高付加価値化に貢献することを目的とする。

## 1-2 政策的位置付け

本事業は技術戦略マップ2010に沿ったものとなっており、政策上の位置づけは明確である。

図1-1に示すように航空機分野における目標として「国際共同開発における役割の拡大」が設定され、さらに「ボーイング社等との国際共同開発に主要なプレイヤーとして引き続き役割を維持・拡大する。特に、短期・中期的には2020年頃から開発が始まると見込まれる150席クラス後継機の開発において主要な地位を占めることを目指す」が具体的目標の一つとされており、本事業が目標で掲げるものはこれに合致している。

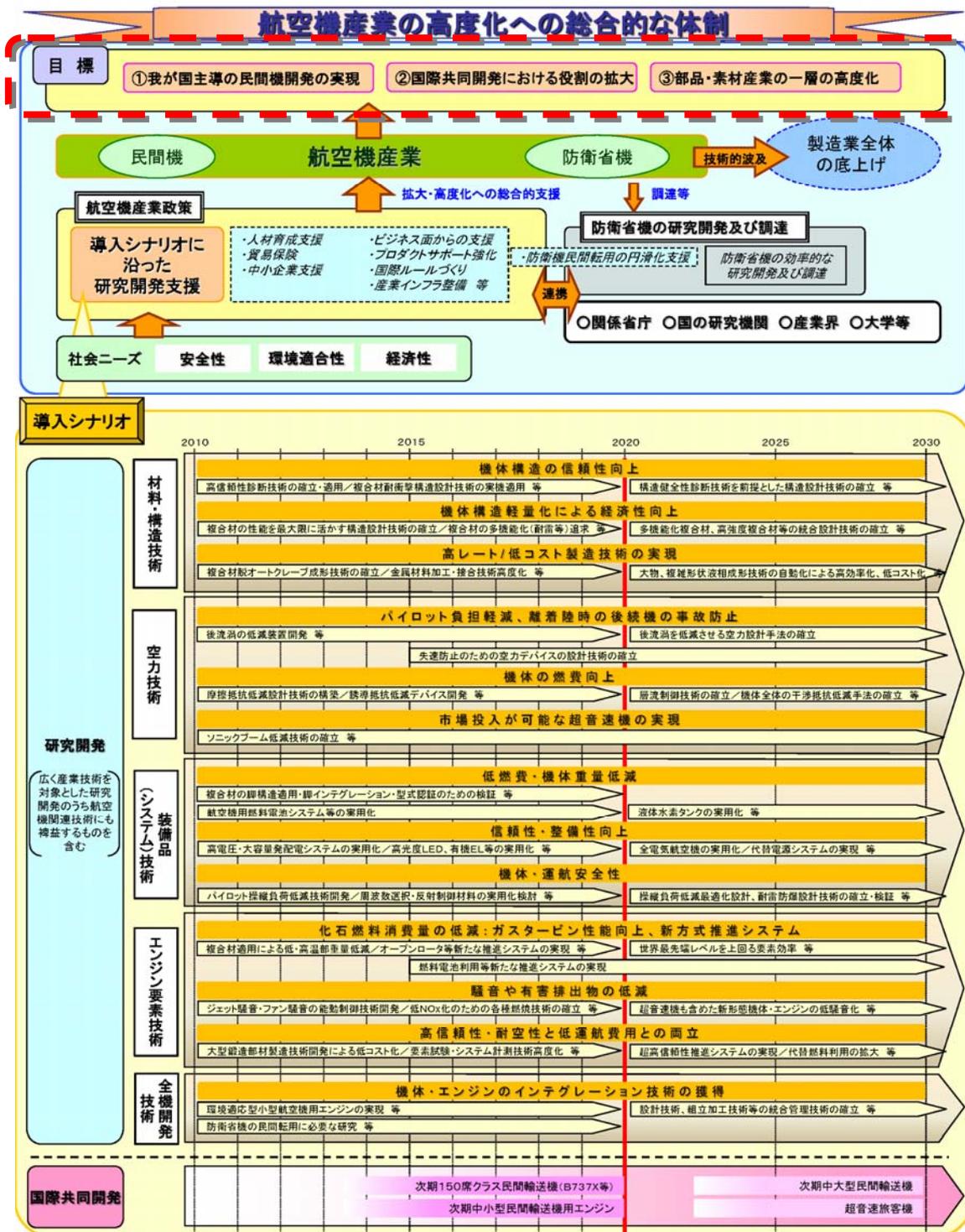
また、技術戦略マップにおいて目標達成のための主要技術課題として、図1-2に示すように「次世代飛行制御技術」に対応する「スマートアクチュエータを用いたFBW<sup>1</sup>システム技術の実現」、「全電気化技術」に対応する「モータ他主要部品の小型化・高性能化」「EMA<sup>2</sup>/EHA<sup>3</sup>、小型空調他の実用化・最適化技術開発」といったことが謳われており、本事業において研究開発に取り組む技術はこれらに合致したものとなっている。

---

<sup>1</sup> Fly-By-Wire

<sup>2</sup> Electro-Mechanical Actuator

<sup>3</sup> Electro-Hydrostatic Actuator



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

# 装備品(システム)技術分野 - 概要及び課題 -

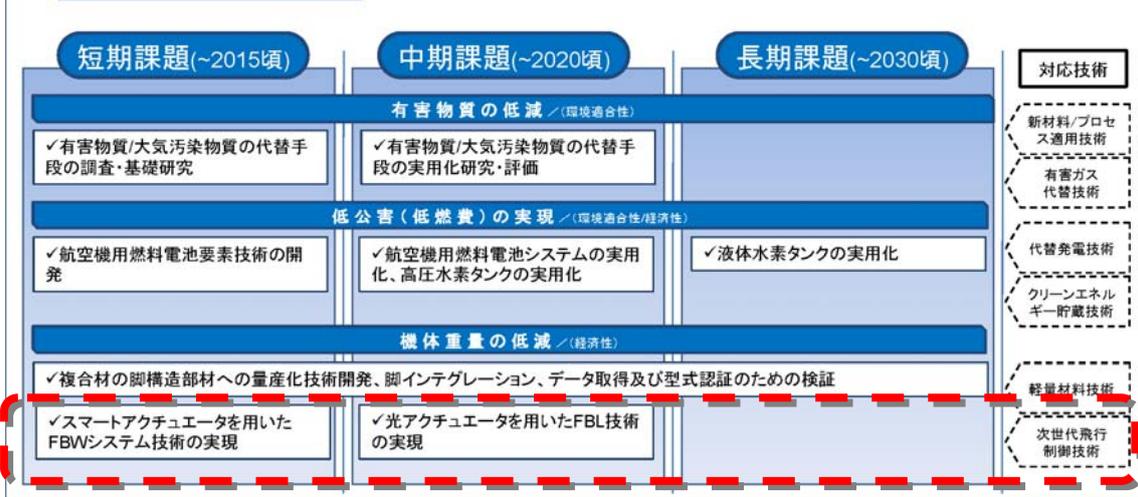
## 技術の概要

航空機用装備品の開発においては、航空機の利便性を向上させつつ、安全性、環境適合性、経済性を高度に両立しなければならない。その際、先進操縦/コックピットシステム等の飛行安全性向上技術、全電気化を主体とする低燃費化/整備性向上技術、代替発電/クリーンエネルギー貯蔵等の環境性適合技術、ならびに高い安全性と経済性を両立する設計・製造・試験基盤技術等の高度化を図る必要がある。

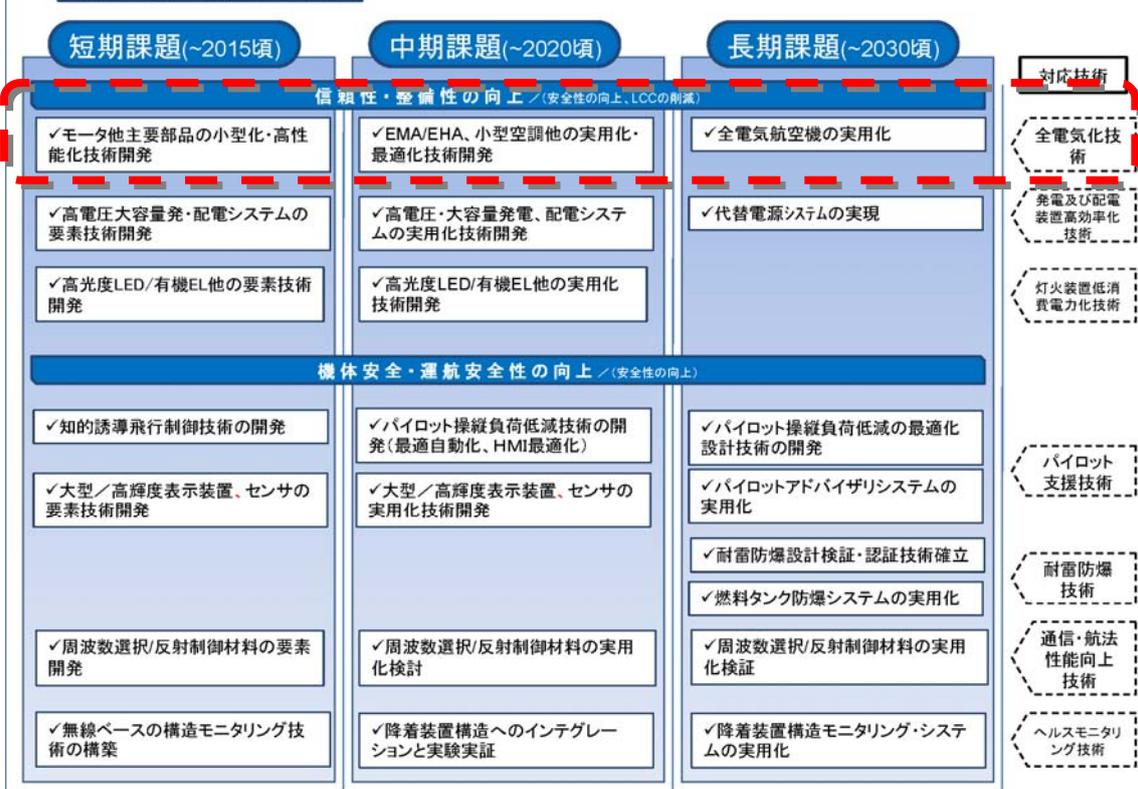
## 国際競争力

海外の装備品サプライヤはM&Aを繰り返し巨大な企業に成長してきている。その巨大なビジネスを背景にシステム単位で受注してきており、わが国のサプライヤは国際共同開発機においてもビジネス機会が縮小し、技術蓄積の面で不利になる状況が拡大している。さらに、EUでは、航空機の耐環境性改善を戦略的アイテムとし、全電気式航空機などの研究開発に国家レベルで巨額の予算を投入して推進しており、技術レベルの差がますます増大しつつある。

## 主要技術課題(1/3)



## 主要技術課題(2/3)



出所：技術戦略マップ2010

図1-2. 装備品(システム)技術分野 - 概要及び課題 -

### 1-3 国の関与の必要性

#### (1) 国の事業としての妥当性

航空機産業は今後特に新興国の経済発展を背景として、需要が大幅に増加していくことが確実視されている分野である。欧米をはじめとして、中国のような経済成長の著しい新興国でも国の基幹産業の一つとして位置付けられようとしており、その技術開発や産業育成には国が密接に関与している。たとえば欧州では、欧州委員会が7年間で総額80億ユーロを投じる大規模な航空関連技術開発プロジェクト CleanSky を実施中であり、国が巨額の予算を投じて研究開発を主導している一例を示すものである。

航空機技術は他産業への技術波及効果が大きく産業基盤全体の底上げにも繋がるため費用対効果が大きく、我が国においても航空産業を自動車産業に続く基幹産業の一つと位置付ける動きもあり、国が投資するに適した分野である。

一方で航空機のビジネスは投資から回収までの期間が他産業と比べて非常に長く、民間企業にとっては事業上の大きなリスクを伴う。経済面や制度面での国からの支援を含め、将来を見据えて官民一体となり継続的に技術開発に取り組むことが肝要であり、その意味でも国の関与は必須である。

#### (2) 国民・社会のニーズとの整合性

近年の化石燃料枯渇の懸念や世界的な環境保護の機運の高まりから、燃料消費・排出物の削減への取り組みが求められている。過去数十年間、技術革新によって燃費・排出量は大幅に削減されてきたが、今後もさらなる改善が必要である。また、航空機の安全性は、乗り物として基本的かつ普遍的な要求事項である。今後、航空需要の増大に伴い、重大事故の発生件数を抑制するためにもさらなる安全性の向上が求められている。本事業の成果は航空機の燃費改善及び安全性の向上につながるものであり、社会の人々はより安全な交通手段としての航空機を利用できることとなるとともに、航空機が持続可能な社会に適合した基幹的交通インフラとしてその役割を果たしていくことに貢献するものであると言える。

## 2. 研究開発目標

### 2-1 研究開発目標

本事業の研究開発の目標は、国内の完成機メーカー、装備品メーカー、及び大学が一体となり、次世代旅客機向け先進操縦システム及びその機体統合技術を開発することにより、次世代旅客機に適用する操縦システムの高信頼性確保・軽量化技術の開発・実用化の目処付けを行うことである。

次期国際共同開発機で求められる燃費低減を達成するためには、機体システム重量の軽量化が必要である。航空機製造業界における世界的動向は、油圧アクチュエータ、ポンプ、コントローラ、及び長大な油圧配管を機体各所に配置した旧来の油圧操縦システムから、電動アクチュエータの採用やシステムの簡略化により大幅な軽量化と高信頼性の確保を同時に実現しようとする方向へと進んでいる。

以上を踏まえ、本事業では下記を実施する。

#### 1. 機体構造と操縦システム関連要素技術の双方の設計目標・仕様の設定【平成 23 年度実施項目】

市場ニーズの最重要項目である低燃費化に応えるため、低抵抗化（薄翼化）、軽量化を実現する翼構造の構想検討を行い、構造仕様を設定する。設定した仕様に基づき、小型軽量かつ高信頼性を実現する操縦システムの構想検討を実施し、システム仕様を設定する。

#### 2. システムコンポーネントのキー要素詳細設計【平成 24 年度実施項目】

1. で設定したシステムに含まれるコンポーネントのキー要素について詳細設計を実施するとともに、一部については供試体による基本機能実証を行う。

なお、当初計画では平成 23～25 年度にかけて操縦システムの各コンポーネントについて開発・評価を実施する予定であったが、計画変更により平成 24 年度で本事業が終了となったことを受け、特にキーとなる要素に絞った開発・評価を実施するように見直しを行っている（5-1 項に関連記述）。キーとなる要素の選定にあたっては、構造検討とシステムアーキテクチャ検討の過程において実用化に向けてハードルとなる技術課題を明確化することで資源を集中投下すべき要素技術を絞り込み、削減予算・期間の下で最大限の成果が得られるようにしている。

## 2-1-1 全体の目標設定

全体の目標を表2-1に示す。

表2-1. 全体の目標

目標・指標 (事後評価時点)	設定理由・根拠等
<p>低燃費化に寄与する低抵抗化（薄翼化）、軽量化を実現する機体仕様に適合した操縦システムアーキテクチャを策定し、その実現に寄与する以下の要素技術の実用化の目途付けを行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可変斜板 EHA 技術（スポイラ用可変斜板 EHA のポンプ発熱抑制技術）</li> <li>2. LBHA 技術（Local Pump Unit の高効率モータ制御技術）</li> <li>3. 操縦システム用将来データバス規格</li> </ol> <p>各要素技術の目標については2-1-2参照のこと。</p> <p>また、システム全体としての定量目標値として以下を設定する。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 重量 25%削減（操縦、油圧、電源の各システム全体でのトータル）</li> <li>2. 破局的故障の発生確率 <math>10^{-12}</math> 回/時間以下を達成</li> </ol>	<p>市場ニーズの最重要項目である低燃費化に寄与する重量軽減、社会ニーズである安全性向上に因るため、搭載システムにおいても想定将来機体仕様に合致した革新が求められる。</p> <p>近年の航空機ではシステムの電動化が進みつつあり、将来操縦システムにおいては電動アクチュエータが一般的になると想定される。また、将来機では装備品間の通信ネットワークに適した新たな規格が求められると考えられる。この動向をふまえ、既存の電動アクチュエータに対して、発熱抑制の面で有利な可変斜板 EHA や信頼性の面で有利な LBHA を採用し、さらに新たな通信規格（データバス規格）による差別化を狙う。</p> <p>重量に関しては、燃費削減約 1%に相当するものとして操縦システム操縦システム全体で 25%減重量削減を目標とする。</p> <p>また、信頼性については法令要求である破局的故障の発生確率 <math>10^{-9}</math> 回/H に対して、大幅な改善を達成すべく <math>10^{-12}</math> 回/時間を目指す。</p>

## 2-1-2 個別要素技術の目標設定

前項の全体目標達成のための個別要素技術の目標として表2-2を設定した。

表2-2. 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	設定理由・根拠等
可変斜板 EHA 技術開発 (スポイラ用可変斜板 EHA のポンプ発熱抑制技術)	可変斜板 EHA について、150 席クラス将来民間機の想定仕様を所与として、操縦システムアーキテクチャ検討から得られた耐環境性、耐熱性といった各種要求事項を満足しつつ、キー要素技術について実現の目途付けを行う。具体的には、モータコイル温度 180℃以下、作動油温度 135℃以下(最酷条件下において)を目標とする。	可変斜板 EHA は、既存の EHA と比較すると原理的に高負荷時の発熱抑制が可能な新方式のアクチュエータであるため、発熱抑制効果の確認が最重要課題である。最酷条件である機体の緊急降下時を想定し、許容値を超えないことを目標として設定する。
LBHA 技術開発 (高効率モータ制御技術)	LBHA について、150 席クラス将来民間機の想定仕様を所与として、操縦システムアーキテクチャ検討から得られた耐環境性、耐熱性といった各種要求事項を満足しつつ、キーとなる要素技術について実現の目途付けを行う。具体的には、モータ制御における損失を従来比 20% 以上低減(駆動部発生損失)する。	LBHA は既存の EBHA と比較して、同一舵面に複数アクチュエータを装備した場合の同期が難しいという課題を克服できるため、将来性のある方式のアクチュエータである。要素技術としてはモータ制御効率化のため 2-arm 方式を採用する。原理的にスイッチング損失が 1/3 削減されるが、各相電圧の波形歪みによる損失増加等を差し引き、20%以上の損失低減を目標とする。

<p>操縦システム用データベース規格開発</p>	<p>将来操縦システムに適した柔軟な冗長度管理が可能で、分散処理が可能なデータベース規格基本仕様を策定し、ハードウェア/ソフトウェア試験によって基本的機能・性能を実証する。</p>	<p>当初計画ではシステムアーキテクチャ策定の検討の中に含まれていた内容であるが、平成23年度の検討の中で次年度に取り組むべき技術課題として具体化した。近年のスマートアクチュエータの登場により、今後は分散処理型の操縦システムが登場すると考えられること、また、安全性向上のため既存規格よりも高冗長度に柔軟に対応できることが求められると考えられるため、これを目標として設定する</p>
--------------------------	--	--

### 3. 成果、目標の達成度

#### 3-1 成果

##### 3-1-1 全体成果

###### (1) 次世代旅客機操縦システムアーキテクチャの策定

2020年代に登場すると想定される次世代150席クラス旅客機を想定し、市場からのニーズや電氣化、薄翼化等の技術動向を加味した上で、各種アクチュエータの特徴・利点・欠点、動力の供給源のバランスや安全性への配慮、さらには操縦システムに適した新データバス規格の採用も踏まえ、次世代150席クラス旅客機における操縦システムのアーキテクチャを策定した。図3-1、3-2に想定した舵面構成とアクチュエータ配置を、図3-3、3-4にシステムアーキテクチャの概略図を示す。システムアーキテクチャについては2020年代ごろを想定した機体であるため、すべて電動化がなされるとは考えにくいいため、各電動アクチュエータの特徴とメリットを考慮しつつ油圧システムと電源システムとの共存のバランスをとる構成としている。

また、定量目標値に対する結果としては以下を得た。

(a) 重量面では既存150席クラス旅客機と比較して、操縦システムと油圧システムの合計で約23.3%の重量軽減効果が得られることを確認したが、目標である25%の重量軽減にはわずかに達しなかった。更なる重量軽減を達成するためには例えば以下のようなことが考えられる。

- EHA/LBHAの形状の最適化
- アクチュエータ制御のActive-Active化によるアクチュエータの軽量化
- 通信ラインへの光ケーブル、アルミ電線適用
- 電源ラインへのアルミ電線適用
- ネットワークスイッチの軽量化

(b) 安全面では各操縦軸の代表としてロール制御における破滅的故障の発生確率を算出し、既存150席クラス旅客機と比較して約3桁発生確率を低減( $10^{-9}$ 回/H から  $10^{-12}$ 回/H) できる見込みが得られた。

※今回検討の対象である電動アクチュエータ及びデータバスの適用に関連がない部分における特定の故障事象(①操縦装置のジャミング(固着)、及び②フライトコントロールコンピュータのエラー信号送信)の影響を排除している。

以上の事から、電動アクチュエータ及びデータバスを適用した操縦システム

成立性の概略の目途は得られたと考える。今後更なる検討を行う事によって、機体の安全性、高効率化に向けて大きな改善効果が得られるものと考えられる。

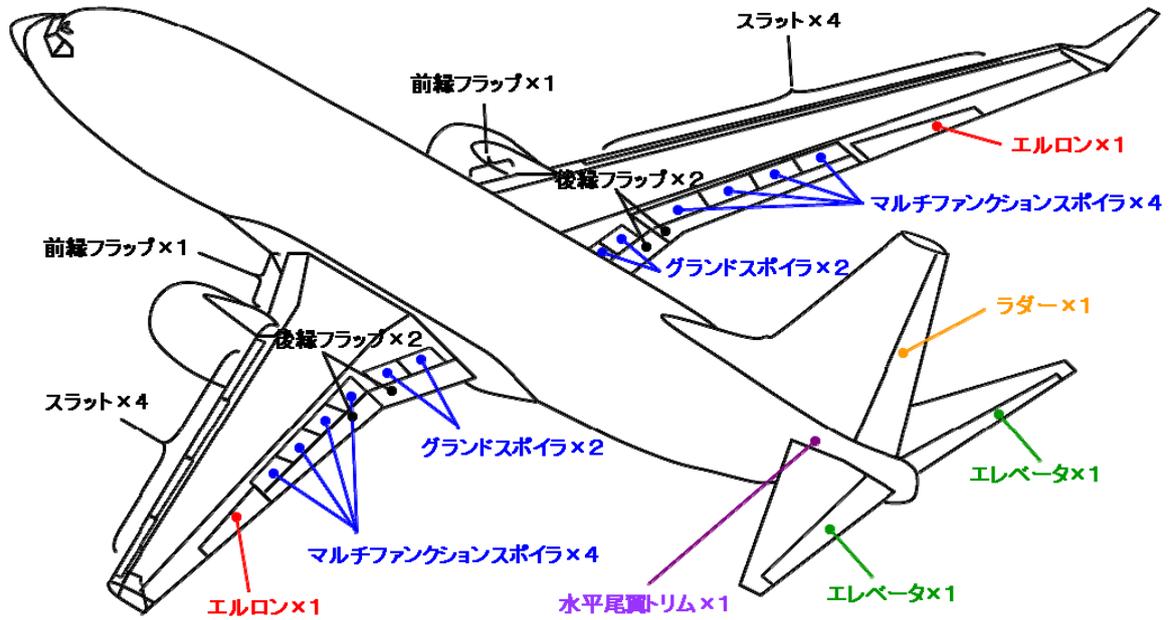


図3—1 舵面構成

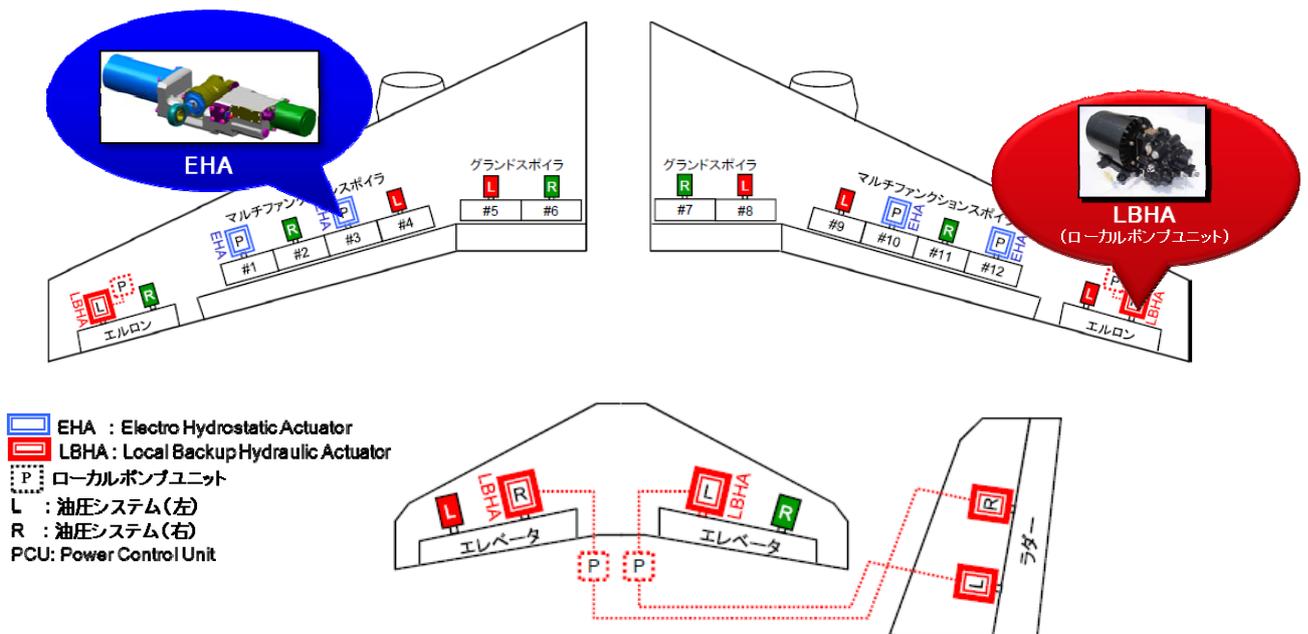


図3—2 アクチュエータ配置

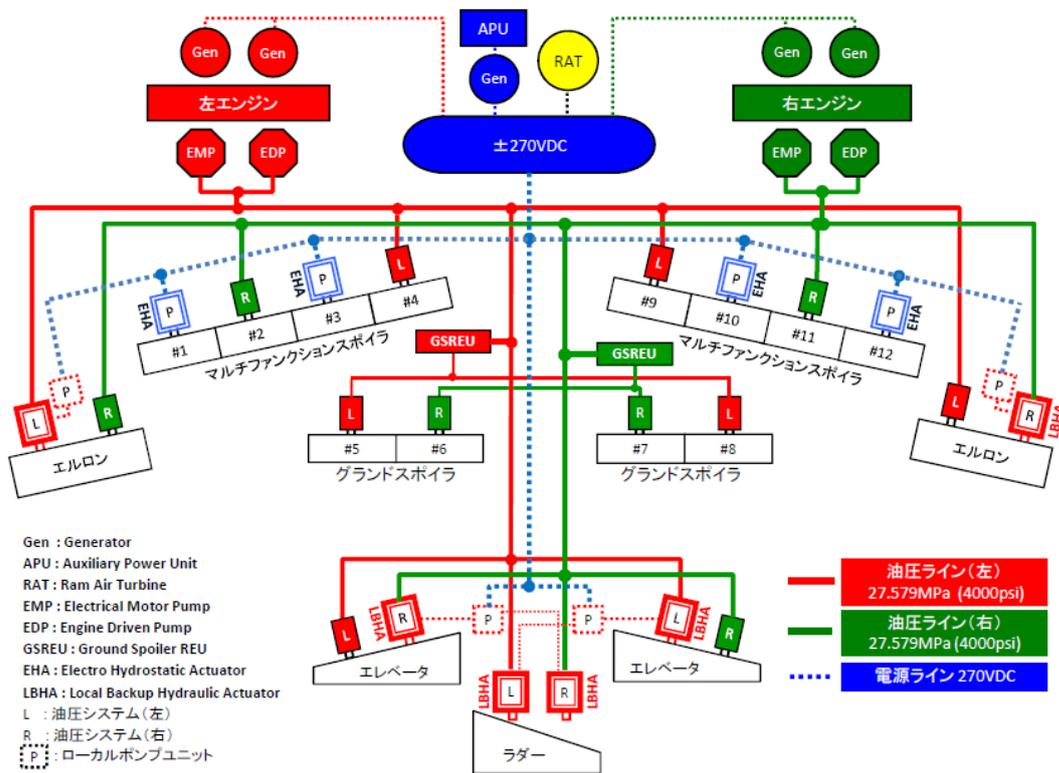


図 3—3 システムアーキテクチャ (油圧・電源ライン)

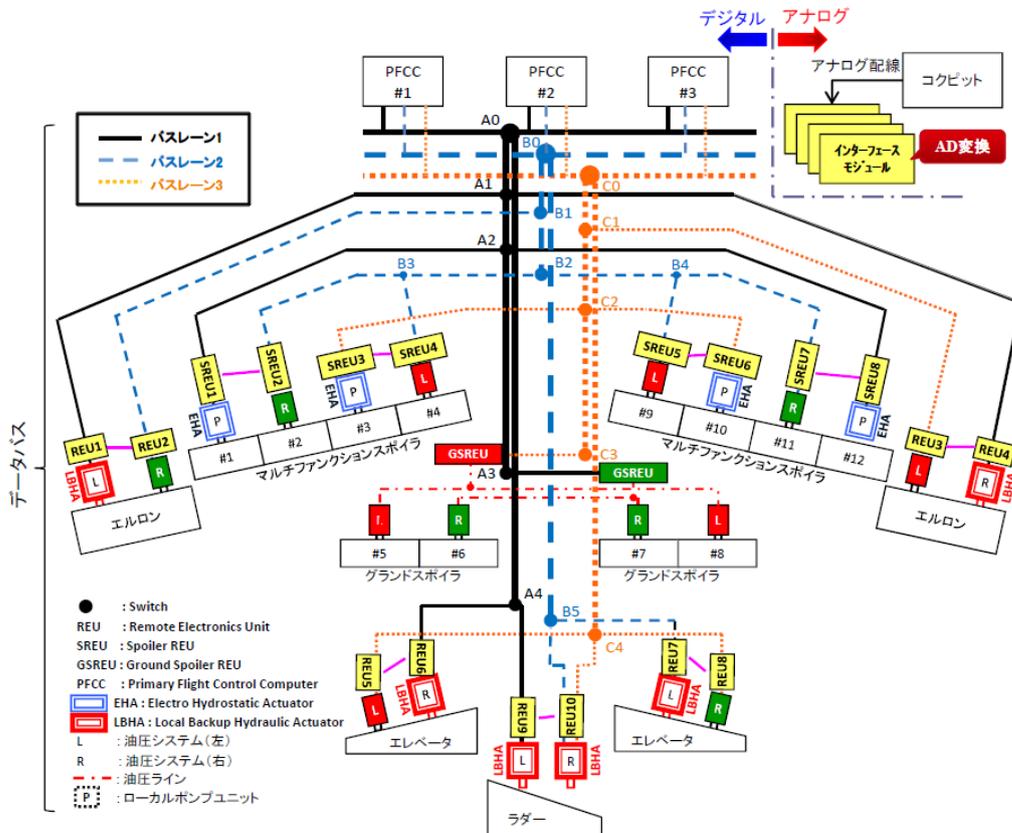


図 3—4 システムアーキテクチャ (信号ライン)

### 3-1-2 個別要素技術成果

#### (1) 可変斜板 EHA 技術開発(スポイラ用可変斜板 EHA のポンプ発熱抑制技術)

次世代 150 席クラス旅客機の仕様に適合した、可変斜板 EHA の構想設計を行った。設計にあたっては、D0-160G の各環境項目に従いアクチュエータが装備される場所において想定される耐環境性に対する設計方針を設定した。また、機体への取り付け/取り外しなどエアラインにおける実際の整備においても困難なく実施できるよう配慮した。

設計結果に基づく計画図を図 3-5 に示す。また、性能要求や許容温度に対する適合性を確認し、すべて要求を満足することを確認した(表 3-1)。また、強度についてはアクチュエータの荷重パスとなるシリンダ組立の主要部分について、強度検討を実施した。強度検討の結果、MS (Margin of Safety) 値は全て 0 より大きくなり、検討したアクチュエータは十分な強度を持つことを確認した。

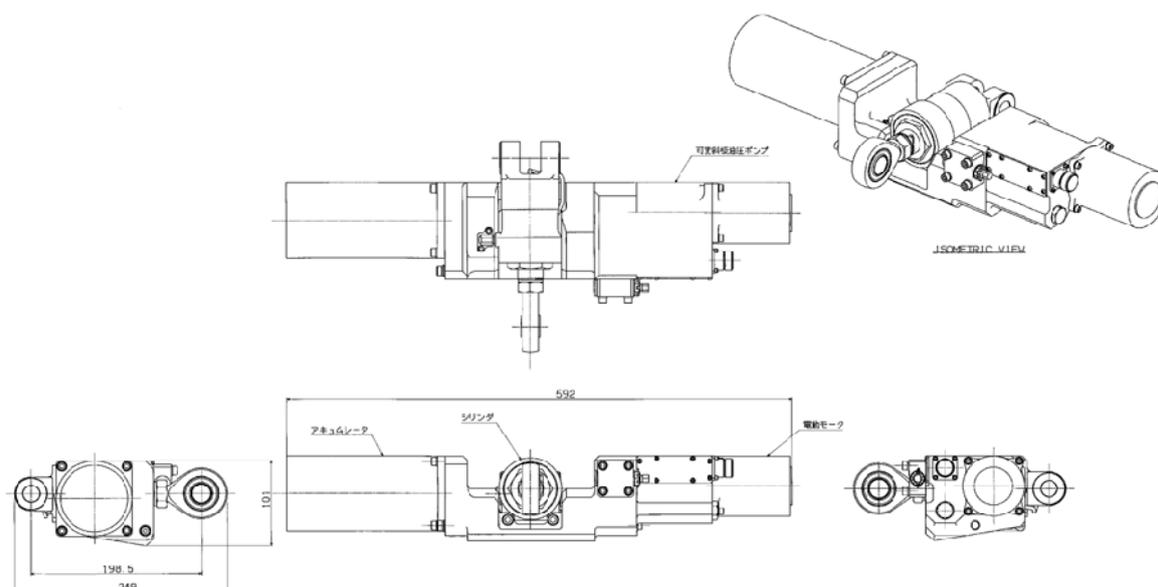


図 3-5. 可変斜板 EHA 計画図

表 3-1. 要求適合性

項目		要求値	検討結果	仕様適合性
ストローク		27.5 mm	27.5 mm	適合
最大出力	エクステンド方向	60439 N	75442 N	適合
	リトラクト方向	52133 N	54824 N	適合
無負荷最大速度		27.5 mm/s 以上	30.5 mm/s	適合
動特性	45 度位相遅れ	7 Hz 以上 (3 %FS 入力時)	8.3 Hz	適合

	ゲイン余有	8 dB 以上	54 dB	適合
	位相余有	60 deg 以上	78 deg	適合
静特性	直線性	1 %FS 以下	1 %FS 以下	適合
	スレッシュホールド	0.2 %FS 以下	0.2 %FS 以下	適合
	ヒステリシス	0.4 %FS 以下	0.4 %FS 以下	適合
許容温度	モータコイル	180°C以下	154.3°C	適合
	作動油	135°C以下	75.4°C	適合
	機体構造結合部	120°C以下	86.3°C	適合

FS: Full Stroke

また、設計結果を受けて、平成 24 年度には本アクチュエータの構成要素である可変斜板ポンプの詳細設計を実施した（図 3-6、表 3-2）。可変斜板ポンプを選定した理由としては、熱解析の結果、最も厳しい条件である機体の緊急降下を想定した作動での作動油の温度上昇の許容温度に対するマージンが、アクチュエータの作動パターンによっては小さくなることが想定される。ポンプの高効率化を図ることで、発熱量を低減することが可能となり、より大きなマージンの確保が可能となり、アクチュエータの信頼性向上につながると思われるためである。

また、要求仕様に応じた基本設計が迅速にできるような設計ツール開発もしている。本設計ツールは、EHA に対する要求仕様、あるいは、ポンプに対する要求仕様から、ポンプの基本設計段階で導出する必要のある寸法等の諸元を設定するための計算を行う機能を有している。

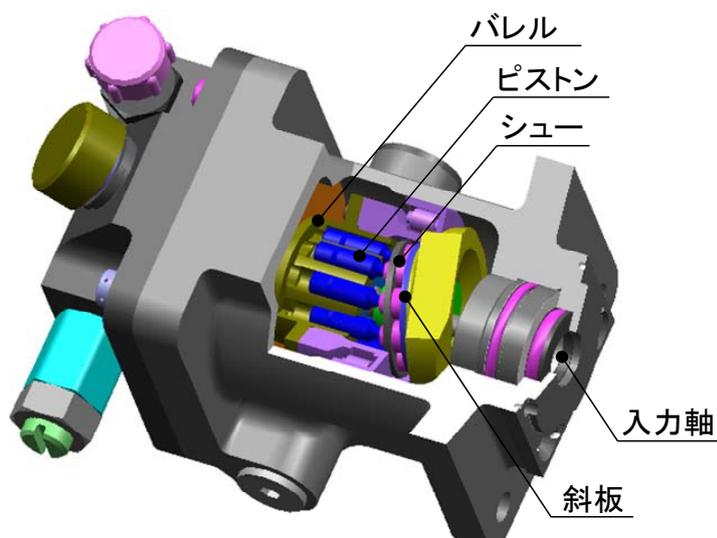


図 3-6. 可変斜板ポンプ供試体

表 3-2. 可変斜板ポンプ仕様

項目	要求値	設計結果	備考
定格圧力	27.579 MPa (4000 psi)	27.579 MPa (4000 psi)	平成 23 年度検討結果より設定
理論吐出 流量	106166 mm <sup>3</sup> /s 以上 (1.68 GPM 以上)	166667 mm <sup>3</sup> /s (2.64 GPM)	平成 23 年度設定アクチュエータ諸元より設定
容積効率	目標 95 % 以上	97.2 %	既存ポンプを参考に設定
理論駆動 トルク	4.31 N・m 以下	4.17 N・m	平成 23 年度選定モータ最大トルク
全効率	目標 80 % 以上	87.6 %	既存ポンプを参考に設定
全高	94.3 mm 以下	94 mm	平成 23 年度設定アクチュエータエンベロープ

(2) LBHA 技術開発 (高効率モータ制御技術)

LBHA についても、可変斜板 EHA と同様に次世代 150 席クラス旅客機の仕様に適合するよう構想設計を行った。設計にあたっては、可変斜板 EHA と同じく D0-160G の各環境項目に従いアクチュエータが装備される場所において想定される耐環境性に対する設計方針を設定した。また、整備性の面でも機体に取り付けたまま通常の整備が実施可能なように構成要素の配置に配慮した。

設計結果に基づく計画図を図 3-7 に示す。また、性能要求に対する適合性、強度についても確認し、すべて要求を満足することを確認した。

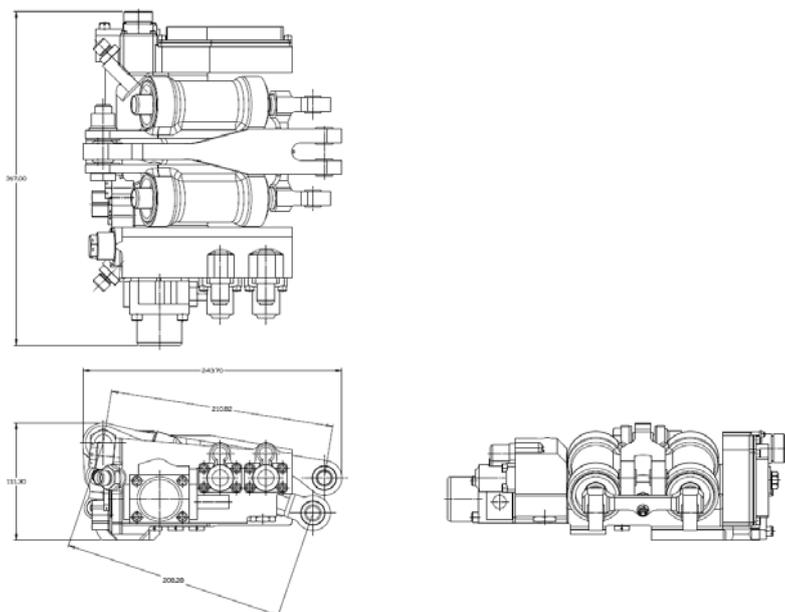


図 3-7. LBHA 計画図

設計結果を受けて、以下の通りキーなる要素技術を3つ抽出した。

1. 高効率モータ制御アルゴリズム
2. 高効率デバイス
3. センサレスモータ制御技術

これらのうち、発熱対策等に困難が予想されるモータドライバの小型化/高効率化に関してさらなる検討・評価が必要であると考え、先進性や実現性の観点から高効率モータ制御アルゴリズムを選定し、より詳細な研究を平成24年度に行う事とした。

従来からモータドライバにはPWM(Pulse Width Modulation)制御が採用されているが、このPWMを制御するアルゴリズムに、従来方式(3arm制御方式)に対しスイッチング損失を削減が可能な2arm制御アルゴリズムを採用することにより高効率化を図っている。図3-8に従来方式制御方式(3arm)と高効率制御方式(2arm)の違いによるスイッチングイメージの比較を示す。

電力負荷解析の結果(表3-3)に示す通り、2armの適用により駆動部の電力低減率が目標値である20%を達成できることを確認した。

また、モータドライバに対する熱解析から許容値を満足することを確認した。

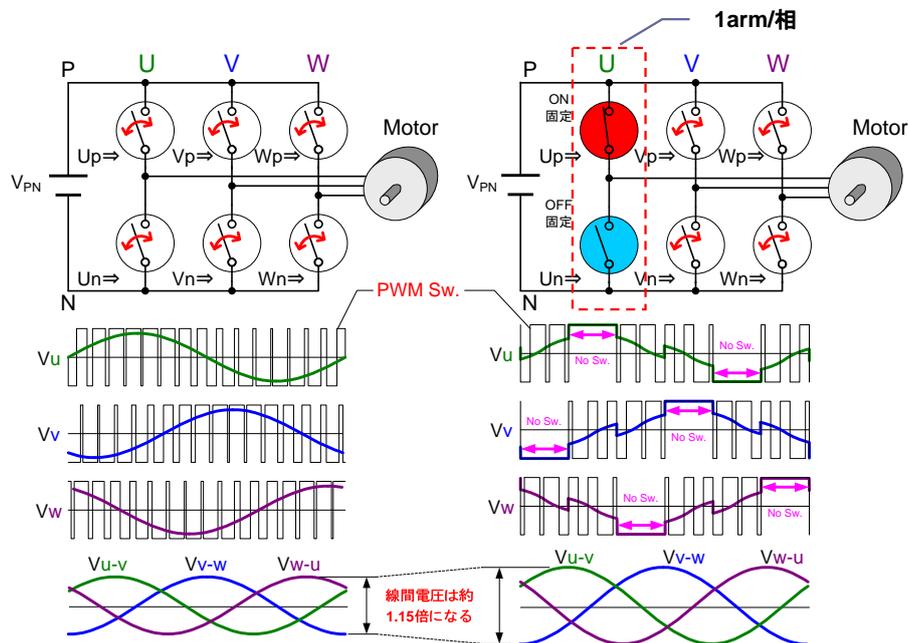


図3-8 3-arm制御方式と2-arm制御方式のスイッチングイメージの比較

表3-3. 電力負荷解析結果

モータドライバ	定格時	
	3arm	2arm
270VDC	42W	33W
低減率	<b>21%</b>	

### (3) 操縦システム用データベース規格開発

下記の特徴を有する規格として基本仕様を策定した。また、汎用器材を用いてケーブル断線時の機能維持、故障検出等の基本機能確認を実施し、コンセプトの成立性の確認も行っている。

#### 高冗長性

3重以上の冗長度に対応する。経路を冗長化し、ケーブルの断線等による空間的故障に対する信頼性を向上する。また、自動高頻度送受信によりデータを冗長化し、ノイズなどによる時間的故障に対しても信頼性を向上する。なお、経路冗長化による配線重量の増加を防ぐため、多元接続による配線の共有化を実施する。

#### 簡易性

冗長化された装備品の制御や、将来予想される分散処理等の利用形態に対応したネットワークアーキテクチャとする。本規格では、データ指向である出版購読型モデルの採用により、通信の取扱いを容易化し、分散処理への対応を可能にする。また、グローバルロックを必要としない非同期通信とすることで、簡素なシステムとし、時刻同期に関する故障検討を不要とする。

#### 拡張性

イーサネット技術を基盤とする。COTSの採用により、開発・維持のコストを低減する。また、通信速度の向上に伴う将来技術の取り込みも容易になる

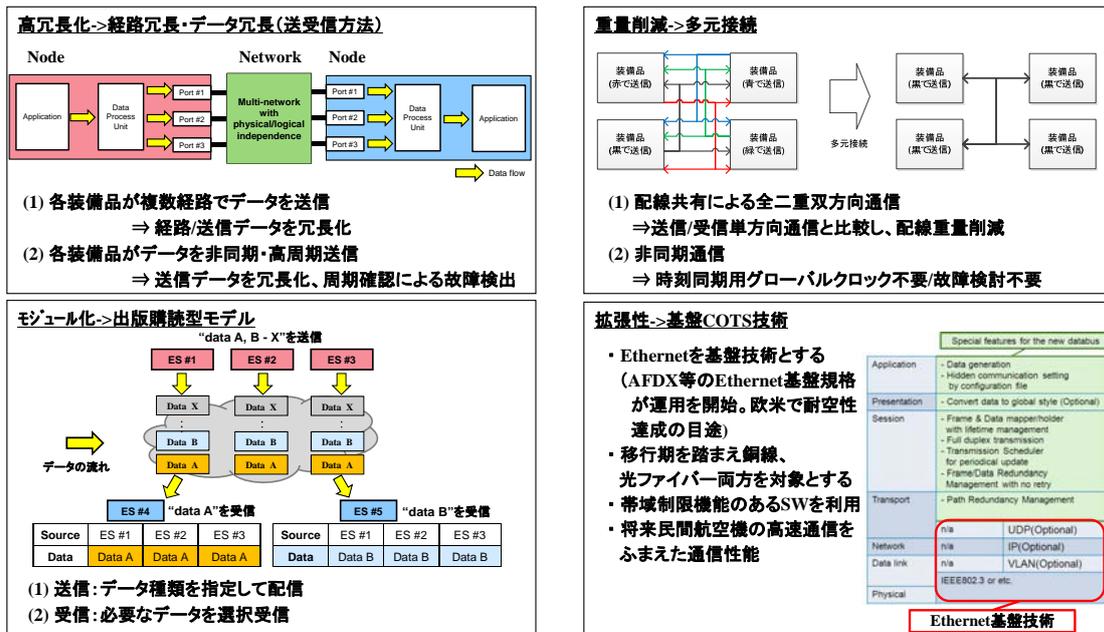


図3-9 新データベース規格概要

### 3-1-3 特許出願状況等

特許、論文等の件数及びそのリストを表3-4と表3-5に示す。平成24年度に特許を1件出願している。

また、発表としては成果の利用主体に対するプレゼンテーションと、主に学生を対象とした特別講義を実施した。

表3-4. 特許・論文等件数

要素技術	論文数	論文の被引用度数	特許等件数(出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス供与数	取得ライセンス料	国際標準への寄与
可変斜板EHA技術開発	0	0	0	0	0	0	0
LBHA技術開発	0	0	0	0	0	0	0
操縦システム用データバス規格開発	0	0	1	0	0	0	0
操縦システムアーキテクチャ策定	0	0	0	0	0	0	0
計	0	0	1	0	0	0	0

表3-5 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	なし	-
投稿	なし	-
発表	ボーイング・ジャパン社 「More-Electric Flight Control System Study for Next Generation Commercial Transports」	H23.11
	米国 Boeing 社	H24.2

	「More-Electric Flight Control System Study for Next Generation Commercial Transports」	
	米国 Parker Hannifin 社 「More-Electric Flight Control System Study for Next Generation Commercial Transports」	H24. 2
	米国 Moog 社 「More-Electric Flight Control System Study for Next Generation Commercial Transports」	H24. 2
	名古屋大学特別講義 「先進フライトコントロールアクチュエーションシステム研究開発」	H24. 3
	東京大学航空イノベーション研究会：航空機電動化ワークショップ 「航空機開発と電動化の動向」※一部に本研究内容を含む	H25. 12
	名古屋大学：名古屋飛行システム研究会 「航空機開発と電動化の動向」※一部に本研究内容を含む	H26. 6
特許	「航空機の通信システム、航空機の通信方法及び通信機器」 (特願 2013-006482)	H25. 1

### 3-2 目標の達成度

表 3-6 に目標に対する成果・達成度を示す。

表 3-6. 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
可変斜板 EHA 技術開発 (スポイラ用可変斜板 EHA のポンプ発熱抑制技術)	可変斜板 EHA について、150 席クラス将来民間機の想定仕様を所与として、操縦システムアーキテクチャ検討から得られた耐環境性、耐熱性といった各種要求事項を満足しつつ、キー要素技術について実現の目途付けを行う。	次世代 150 席クラス旅客機の仕様に適合した、可変斜板 EHA の構想設計を実施して計画図初度版を作成した。また、キー要素としてスポイラ・アクチュエータ用可変斜板ポンプを選定し、供試	達成

	具体的には、具体的には、モータコイル温度 180°C以下、作動油温度 135°C以下（最酷条件下において）を目標とする。	体詳細設計及び熱解析を行い、左記の目標値を満たすことを確認した。	
LBHA 技術開発 （高効率モータ制御技術）	LBHA について、150 席クラス将来民間機の想定仕様を所与として、操縦システムアーキテクチャ検討から得られた耐環境性、耐熱性といった各種要求事項を満足しつつ、キーとなる要素技術について実現の目途付けを行う。具体的には、モータ制御における損失を従来比 20% 以上低減（駆動部発生損失）する。	次世代 150 席クラス旅客機の仕様に適合した、LBHA の構想設計を実施して計画図初度版を作成した。また、キー要素のとして高効率モータ制御アルゴリズムを選定し、2-arm 制御方式によって左記の目標値が達成できることを電力負荷解析によって確認した。	達成
操縦システム用データベース規格開発	将来操縦システムに適した柔軟な冗長度管理が可能で、分散処理が可能なデータベース規格基本仕様を策定し、ハードウェア/ソフトウェア試験によって基本的機能・性能を実証する。	高冗長や分散処理に対応した規格として基本仕様を策定した。また、汎用器材を用いてケーブル断線時の機能維持、故障検出等の基本機能確認を実施し、コンセプトの成立性を確認した。	達成
将来操縦システムアーキテクチャ策定 （全体目標）	150 席クラス民間機の想定仕様にに基づき、可変斜板 EHA と LBHA を適用した操縦システムの基本アーキテクチャを策定し、重量 25% 削減と破局的故障の発生確率 $10^{-12}$ 回/H 以下の実現に向けた見通しを得る。	150 席クラス民間機の想定仕様にに基づき、可変斜板 EHA と LBHA を適用した操縦システムの基本アーキテクチャを策定した。既存操縦システムと比較して重量は 23.3% の削減、破局的故障の発生確率は $10^{-12}$ /H を達成する見込みを得た。重量についてはわずかに目標には達しなかった。	一部達成

## 4. 事業化、波及効果について

### 4-1 事業化の見通し

近年の旅客機開発では、完成機メーカーはリスク分散を一つの目的として世界中の様々なメーカーとのパートナーシップによって開発・生産を分担する形態をとることが一般的趨勢である。完成機メーカーは新技術導入と共にシステムの高い信頼性を装備品メーカーに求めるため、日本の装備品メーカーが次期国際共同開発機プログラムに参画するためには、必要な技術の先行開発により新技術に対する事前の実証や実績を得ることが非常に重要である。

これを踏まえ、本研究成果を基にした事業化について、アクチュエータ及びデータバス規格についてそれぞれ以下のシナリオを想定している。

#### (1) アクチュエータ要素技術開発（可変斜板 EHA 及び LBHA）

事業完了時点においてはキー要素の実証が完了した状態だが、事業化（製品化）につなげるためには今後さらに開発を進めてアクチュエータ全体としての実証により技術成熟度を向上させる必要がある。ゆえに Boeing 等完成機メーカーとの共同研究化も視野にいれつつも、まずは社内での技術開発を継続していく。

事業化の段階としては、まずは要素だけの事業化が考えられる。別の有力アクチュエータメーカーからキー要素を受託して供給、そのメーカーがアクチュエータとして取り纏め間接的に完成機メーカーに対して供給するという枠組みである。さらに、この間に平行して技術開発を継続して技術成熟度を高めておき、要素の供給実績を足掛かりとして次の開発機においては完成機メーカーに対して直接供給を行うという展開も可能になると考えている。このシナリオについては、米国のアクチュエータメーカーである Parker 社、Moog 社に対してすでにプレゼンテーションを実施していることから足掛かりは存在すると考えている。

#### (2) データバス規格

これまでのデータバス規格の開発の歴史をみると、完成機メーカー、アビオニクスメーカーらが共同して作りあげており、本事業において開発するデータバス規格についても同様のステップを踏むことを想定している。つまり、規格案が出来上がった段階で、完成機メーカーやアビオニクスメーカーを巻き込んだ共同研究へと繋げ、実環境での実証を含めた取り組みを推進していくことを想定している。規格は特許化することで他社による流用から保護し、ライセンス料の徴収によって収入を得るか、あるいはアクチュエータと組み合わせて、上記のアクチュエータを先行的に本規格に対応させるよう開発を進めておくことでアクチュエータ受注の後押しとすることを検討している。

また別のシナリオとして、MRJに次ぐ次期国産旅客機の実現が実現した場合

合、独占的にこのデータベース規格を提供することで競合他機種との差別化要素として売上への貢献要素となることも可能と考える。

#### 4-2 波及効果

宇宙航空研究開発機構より、同機構が開始した研究開発プロジェクトに対して本事業成果の活用の打診を受けるなど外部から本事業成果に対する関心も得られている。同機構は航空機の舵面制御による突風応答軽減技術開発を目指しており、そのために高応答アクチュエータを必要としている。本事業においてアクチュエータ構想設計上の要求仕様の一つとしていた、荷重軽減技術に適應するための高応答性がこの要求に合致した。また、データベース規格についても同プロジェクトの「航空機の安全運航に寄与する」という趣旨に合致したものであり、同様に関心が得られた。このように本事業で得られた成果が他技術の実現に貢献することで、さらに技術成熟度の向上にも繋がる結果が得られることとなる。

## 5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

### 5-1 研究開発計画

本事業は平成23年度から平成25年度までの3年間の予定でスタートしたが、2012年8月に、委託元である経済産業省から2年間で成果を纏めるべく計画の見直しを実施した(表5-1)。なお、見直し後計画は2012年9月に経済産業省より承認を受けている。当初計画からの主たる変更点は、アクチュエータの詳細試験方案作成の割愛、新データベース規格の基本機能試験の前倒しである。



表5-1. 研究開発計画 (見直し後)

以下に、各要素技術の計画概要を記す。

#### 1. アクチュエータ要素技術

##### 1-1 可変斜板 EHA 技術開発

可変斜板 EHA コンセプトの技術実証を行い、技術成熟度の向上を達成する。

平成23年度は150席クラス将来旅客機に想定される仕様に基づき、2次

舵面それぞれに可変斜板 EHA を適用した場合のアクチュエータの構想設計を行う。また、構想設計の中で明らかとなった主たる技術課題に対する技術実証のための要素選定を行う。平成 24 年度は選定した要素（スポイラ・アクチュエータ用可変斜板ポンプ）に対して詳細設計を行う。

### 1-2 LBHA 技術開発

LBHA コンセプトの技術実証を行い、技術成熟度の向上を達成する。

平成 23 年度は 150 席クラス将来旅客機に想定される仕様に基づき、1 次舵面それぞれに LBHA を適用した場合のアクチュエータの構想設計を行う。また、構想設計の中で明らかとなった主たる技術課題に対する技術実証のための要素選定を行う。平成 24 年度は選定した要素（高効率モータ制御技術）について構想具体化と解析による効果確認を行う。

## 2. 操縦システム用データベース規格開発

既存の操縦システム用データベース規格の課題を解決する新たな規格を開発する。

平成 23 年度は技術調査及び予備構想検討を実施し、平成 24 年度に規格原案の策定と研究室レベルでの基本機能・性能実証試験を行う。

なお、データベース規格策定は当初計画の中では明確には規定されていなかったが、システム検討とアクチュエータ技術に係る技術調査の結果、技術的展望が得られたため新たな要素技術開発のテーマとして、平成 24 年度から追加した案件である。

## 3. 操縦システムアーキテクチャ策定

可変斜板 EHA、LBHA 及び新データベースを採用した将来操縦システムのアーキテクチャを策定し、システムとしての成立性の検証及び重量削減効果や信頼性向上等を検証することで、本研究において開発する技術が有効であることを確認する。

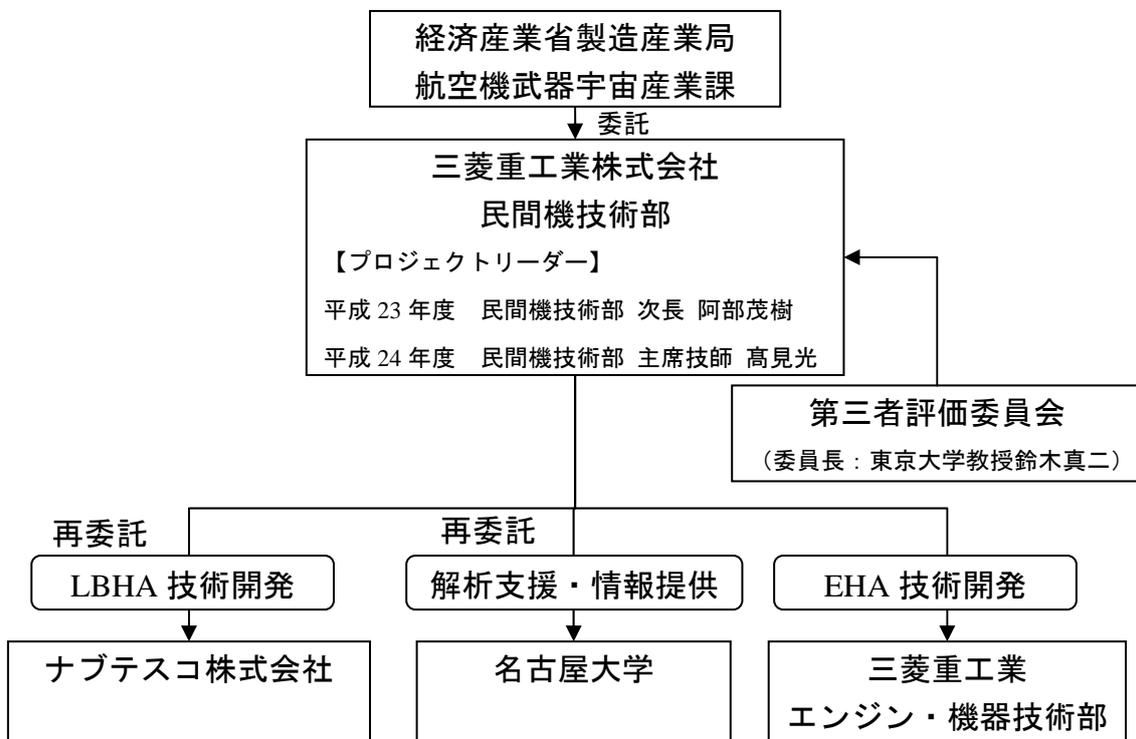
平成 23 年度は 150 席クラス民間機を対象とし、可変斜板 EHA、LBHA を採用した操縦システムアーキテクチャを策定し、成立性・有効性の検証を行う。平成 24 年度はさらに新データベース規格を適用したシステムアーキテクチャへと高度化し、成立性・有効性の検証を行う。

## 5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て三菱重工業株式会社が経済産業省からの委託を受け、再委託先としてナブテスコ株式会社及び独立行政法人名古屋大学の参加の下に研究開発を実施している（図5-1）。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダーを設置するとともに、実施内容、成果及び今後の計画の評価のため、東京大学鈴木真二教授を委員長とする第三者評価委員会を設置した。

図5-1. 研究開発実施体制



### (1) 実施体制

プロジェクトリーダーには三菱重工業航空宇宙事業本部民間機事業部民間機技術部の阿部茂樹を指名した。同氏はこれまで Boeing787 主翼、MRJ 開発等に従事し幅広く航空機技術及びプロジェクト管理に精通した人物であり、本事業の責任者として適任である。プロジェクトリーダーの下で全体の進捗管理や予算管理、契約等諸事の担当者をアサインし関係先との窓口を一本化することで円滑な運営ができる仕組みとしている。なお、平成24年度は同氏の転勤に伴い、三菱重工業航空宇宙事業本部民間機事業部民間機技術部の高見光をリーダーとする体制に変更している。同氏も広く航空機技術に精通しており、後任として適任である。

実施体制としては、完成機メーカーであり全機インテグレーションに関する知

見を有する三菱重工民間機技術部が取り纏め、機器メーカーであるナブテスコと三菱重工エンジン・機器技術部がそれぞれ異なるアクチュエータ技術開発を、名古屋大学が解析作業支援と技術情報提供を担当することで、各々の得意分野を生かした役割・作業分担となっている。さらに、航空分野の研究における第一人者である東京大学鈴木教授を委員長とする評価委員会より、事業について評価を受けることで事業の客観的妥当性を確保できるような体制となっている。

また、実施にあたっては関係者間で常に最新の情報を共有するオープンな風土を作り、課題に対しては直ちに対処・解決できるよう密に連携して事業を遂行した。

## (2) 成果の広報活動

成果の主たる売り込み先と想定している米国 Boeing 社、及び同社日本法人のボーイング・ジャパンに対して事業概要のプレゼンテーションを実施し周知を図った。先方からは、今後も研究成果の情報提供をしてほしい旨コメントを受け、本事業に対する関心が伺えた。また、他にも米国のアクチュエータメーカーである Parker Hannifin 社、Moog 社に対しても概要紹介を行った。同業他社であり競合相手にもなる一方で Boeing 機種での採用実績が豊富であり、本事業成果を活用した協業の道も可能性として考えられることから事業概要を紹介した。以上のように将来の事業化に向けた足場固めを推進している。

## 5-3 資金配分

各開発要素の資金配分は表5-2に示す通りとなっている。配分に当たっては、各担当組織での実施内容・作業規模を取り纏め役である三菱重工が精査し、各組織と調整の上で決定しており、その配分は妥当であると考えている。なお、所定の成果を達成するにあたって表5-2の金額で不足する分については、各社それぞれ自社からの研究費を拠出して金額を上乗せして研究を遂行している。

表5-2. 資金配分 (単位：百万円、税抜)

年度	平成	23	24	合計
可変斜板 EHA 開発		23.5	20.5	44.0
LBHA 開発		39.9	31.2	71.1
操縦システムアーキテクチャ 及びデータバス規格開発		22.2	17.5	39.7
外部評価・調査等		8.5	8.9	17.4
合計		94.1	78.1	172.2

#### 5-4 費用対効果

アクチュエータに対する要求仕様やシステム妥当性・重量削減効果検証等の各種解析において、既存機の仕様や技術データを活用することで大幅に作業量を削減した。これらの検討をゼロからスタートする場合、作業リソースを圧迫し全体スケジュールへの悪影響も予想されるため、投入したリソースに対して成果を最大化する効果的な進め方であったと考える。

#### 5-5 変化への対応

航空機の機体システムを電動化することで軽量化や安全性の向上を実現しようとする業界全体の動向に変化はなく、本事業の計画修正は必要なかった。