



日本の航空機工業の課題と解決策に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-04-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 洋明 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00017366

大阪府立大学博士論文

日本の航空機工業の課題と解決策に関する研究

2021年2月

中 村 洋 明

目次

第1章 緒論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	1
1.3 本研究の構成	2
第2章 航空機工業の重要性	3
2.1 はじめに	3
2.2 航空機工業の定義	3
2.3 重要性の理由	4
2.4 特に日本にとって重要である理由	11
2.5 まとめ	14
第3章 日本の航空機工業の課題	15
3.1 はじめに	15
3.2 現状分析	15
3.3 戦後の歩み	21
3.4 ドイツとの比較	24
3.5 克服を要する課題	28
3.6 まとめ	32
第4章 日本の航空機工業の振興策	33
4.1 はじめに	33
4.2 詳細な振興策	34
4.3 振興策のまとめ	46
第5章 細胴機プログラムの開発を成功させるための要件	49
5.1 はじめに	49
5.2 「損益分岐点到達時期」に着目した新型民間旅客機開発事業の分析モデル	50

5.3 損益分岐点到達時期に係わる要件と相関	51
5.3.1 「開発期間」に影響する要素	52
5.3.2 「開発費」に影響する要素	55
5.3.3 「販売機数」に影響する要素	56
5.3.4 「累積販売利益」に影響する要素	58
5.3.5 損益分岐点に影響を及ぼす要件と影響する要素の整理	60
5.4 最近の新型民間旅客機プログラムの概略評価	60
5.4.1 販売局面に入っている外国機種	61
5.4.2 開発途上にある日本の MSJ プログラム	62
5.5 まとめ	63
第 6 章 結言	65
参考文献と脚注	67
謝辞	73

第1章 緒論

1.1 本研究の背景

ライト兄弟が1903年に人類初の動力飛行に成功して以来、日本の航空機工業は目覚ましい発展を成し遂げ、1939年に第2次世界大戦が始まる頃には世界有数の存在にまでなっていた実績を有する。しかるに敗戦後GHQが航空禁止令を発動し、航空機の生産、修理、航空輸送、教育、研究など航空機にかかわる一切の活動が7年間禁じられたのである。このことは、日本の航空機に関する技術力が連合国側からいかに警戒されていたかを物語ると同時に、技術の先進性、波及効果大、安全保障上必須の存在などを特質とする航空機工業の重要性を示していると考えられる。

現在に至るまで、主要先進国（米英仏独加）は勿論のこと、中国、ロシア、ブラジルなどの新興国も、航空機工業の重要性を十分に認識しているからこそ振興に国を挙げて力を入れてきて成果も挙げてきている。一方、日本の場合、「空白の7年間」を経て再開した後の歩みを見てみるともどかしい限りで、戦後75年の長きを経た今でも戦前・戦中の輝きを取り戻せていない。日本より長い「空白の10年間」を強いられたドイツと比べても今や遙かに後塵を拝している。

主要先進国の後塵を拝した状態をこのまま是認してしまつてよいのか。なぜ現在のような状態になってしまったのだろうか。現状を打開したいのであれば、克服すべき課題は何なのか。課題に対してどのような手（振興策）を打つべきなのか。考えるべきことは多い。また、振興のための諸施策の中で最も重要と考えられる1完成機プログラム（特に、民間旅客機）の立上げに対して、日本はどのように位置付け立ち向かっていくべきかを検討することも大きな課題である。

このような視点に立った研究例は少ないが、近年では航空機工業の振興策を中心に上述のようなテーマについて言及した文献は幾つか存在する（例：参考文献1.1）、1.2）、1.3）、1.4）、1.5）、1.6）、1.7））。筆者も、『航空機産業のすべて』^{1.8)}、『航空機産業と日本』^{1.9)}（2012年、2017年に公表）において同様のテーマについて言及している。前者の発刊時期が2012年12月なので、時系列的には参考文献1.1）、1.2）、1.3）が先行研究例として位置付けられる。また、参考文献1.8）の中で本論文の趣旨に関係する内容を要約するような形でまとめたのが、参考文献1.10）である。参考文献1.1）～1.7）については、本論文との比較も含め、詳細は4.3節で述べるが、いずれも（参考文献1.7）を除いては）総合的かつ具体的な施策を示したものではない。そこで、長年航空機産業に色々な立場で関わってきた背景をもとに、航空機工業界全体を俯瞰した具体的な振興策を今後のために体系的かつ詳細に提示しておく必要がある。

1.2 本研究の目的

戦後日本の航空機工業の歩みを確認し、そして現状分析を主要先進国との比較において行い、後塵を拝している根元的な理由を解き明かして課題を明確にし、解決策を考えることによって具体的な振興策を検討することを本論文の目的とする。加えて、前提となる航空機産業の重要性、特に中核となるモノ作り（航空機工業）の重要性を主に技術および経済（主に産業政策）の両視点から述べる。

尚、筆者は、既に述べたように、近年参考文献1.8）と参考文献1.9）を公表している。参考文献1.8）は教科書的な性格を有し、参考文献1.9）は読者の啓蒙に力点をおいた著書である。また、いずれも類

書が存在しないことを特徴としている。本論文では、上述の目的を遂行するために、この二つの参考文献をベースに分析を深め、内容的に重複する箇所についてはブラッシュアップと深掘りする手法を取る。

また、本論文では、完成機プログラムの立上げを振興策の柱に位置付け、民間用細胴機プログラムの開発事業を例にとって成功させるための要件と、要件に影響を与える要素を明確にすることも目的にしている。併せて、最近の新型民間旅客機プログラムをこのような視点で可能な範囲で評価するとともに、今後の開発プログラムに備えての指針とする。

1.3 本研究の構成

本論文では、日本の航空機工業の振興策を提示することを目的に、前提としての航空機工業の重要性に関する検討や日本の航空機工業に関する考察を行った。更に、細胴機プログラムの開発を成功させるための要件に関する研究を行った。

本論文の第2章では、航空機工業の定義を行い、重要性の理由について述べている。そして、特に日本にとって航空機工業がなぜ重要であるのかその理由について明らかにすることを試みた。また、民生分野との相互技術波及効果についても言及することにした。

第3章では、日本の航空機工業の現状分析を試みた。主要先進国との比較も、規模（生産額、従業員数）を中心に行った。続いて、戦後の歩みを振り返った。新しい試みとして、ドイツとの詳細比較も行った。理由は、戦後日本以上のハンディキャップを背負って航空機工業を再開させたドイツと比較をすることによって、日本の不振の原因が明確になると考えたからである。このような検討過程を経て、日本が克服を要する課題を抽出した。

第4章では、第3章で抽出した課題に対して考えられる振興策の詳細を提示した。振興策は、国家方針、完成機プログラムの立上げ、支援策、教育、メーカーの集約・統合、防衛予算の在り方などを中心に、航空機工業全体を俯瞰して検討した。特に、完成機プログラムの立上げと、プログラム遂行に必要な態勢案（含メーカーの集約・統合）に注目した。

第5章では、完成機プログラムの代表例として細胴機を取り上げ、細胴機プログラムの開発を成功させるための要件や要素について研究した結果を述べた。成功・不成功の判断基準として、「損益分岐点到達時期」に着目した新型民間旅客開発事業の分析モデルを設定し、要件や影響を与える要素について詳細な検討を試みた。このような試みは、今後の開発に備えて参考になるように期待して実施したものである。併せて、最近の新型民間旅客機プログラムの概略評価を前述の要件や要素を用いて行い、本試みの有効性を確認した。

第6章では、本研究で得られた成果を総括している。

第2章 航空機工業の重要性

2.1 はじめに

当然のことではあるが、日本の航空機工業の振興策を論じる前に、重要性を明確にしておく必要がある。

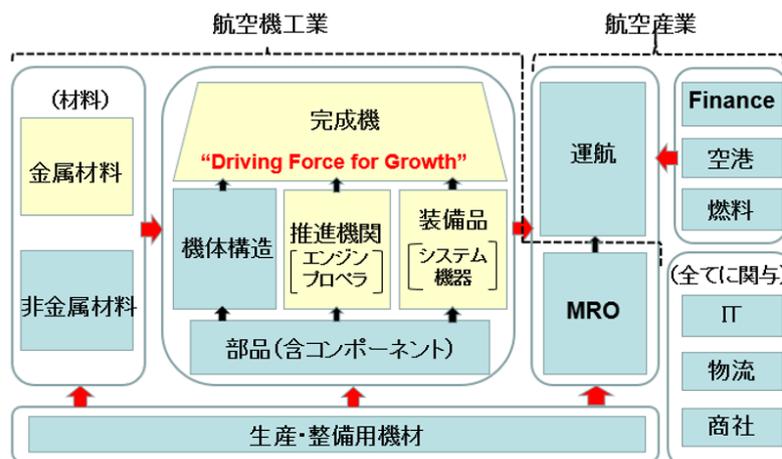
また、その前に航空機工業の定義も共有していなければならない。本論文の主目的が日本の航空機工業の振興策を提示することにあるのだから、なぜ日本（とりわけ日本の産業）にとって特に重要であるのかも明らかにしておくことも求められる。

上述の趣旨（航空機工業の振興）に合う文献は幾つか存在する^{1.6), 2.1), 2.2), 2.3)}。参考文献1.6)（第1章第2節）と参考文献2.2)は2019年版であるが、毎年アップデートしているものなので、これらも先行文献として扱う。参考文献1.6)は、詳しくはないが、本論文の趣旨に近い記述を提供している。参考文献2.1)は、航空機工業の特色として高信頼性が求められ安全保障を支える性格を有することを述べている。参考文献2.2)は、航空機工業の特質である経済全体の発展に寄与、国民生活の向上に貢献、安全保障に直結の3点について簡単に述べている。参考文献2.3)は、先行研究ではないが、安定成長産業であることや技術波及効果について分かり易くまとめている。

いずれの文献の内容も本章の目的に適うものであるが、航空機工業の重要性について詳しくは記述されていない。一方で参考文献1.8)では、特に章（第1章、第3章）を設けて本章のベースとなる「航空機産業の特質と重要性」などを加えて記述を行っている。本章では、航空機工業の定義、重要性、日本特有の重要性について述べ、分析する。

2.2 航空機工業の定義

航空機産業の範囲と構成要素を図2.1に示す。大きくは、モノ作りを本業とする航空機工業とエアラインなどに象徴される航空産業に分かれる。航空機工業は、広い意味では、完成機、機体構造、推進機関、装備品を中心に材料、MRO（Maintenance, Repair & Overhaul、整備、修理&分解点検）、生



注1. 経済産業省の講演スライドを参考にして作成
注2. 黄色枠は、一部例外はあるが、日本が相対的に強い分野
注3. MRO: Maintenance, Repair & Overhaul(整備、修理 & 分解点検)の略

図2.1 航空機産業の範囲と構成要素

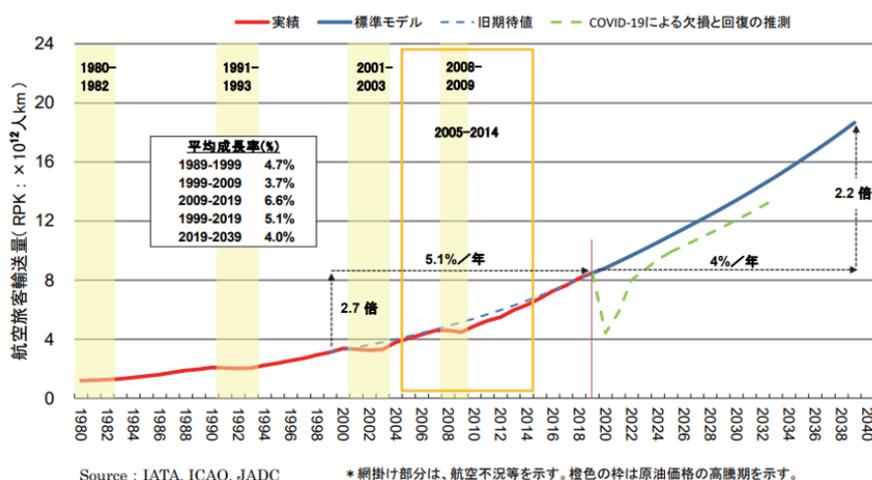
産・整備用機材の生産を含むが、本論文では通常統計の対象となっている完成機、機体構造、推進機関、装備品を航空機工業として扱うことにする。

2.3 重要性の理由

航空機工業がなぜ重要なのか、筆者が考える理由を以下に列挙する。

1) 日常生活に不可欠な交通手段を提供する。

船舶、鉄道車両、自動車などの水上、陸上の交通手段に加えて、今や飛行機やヘリコプターなどの航空機は周知のように日常生活になくてはならない交通手段となっている。特に、海外や遠隔地への交通手段を考えた場合、現代人には飛行機以外の選択肢がほとんどないところまでできている。世界の航空旅客輸送量 RPK (Revenue Passenger Kilometers, 10^{12} 人 km) 予測例を図 2.2 に示す。



Source : IATA, ICAO, JADC * 網掛け部分は、航空不況等を示す。橙色の棒は原油価格の高騰期を示す。

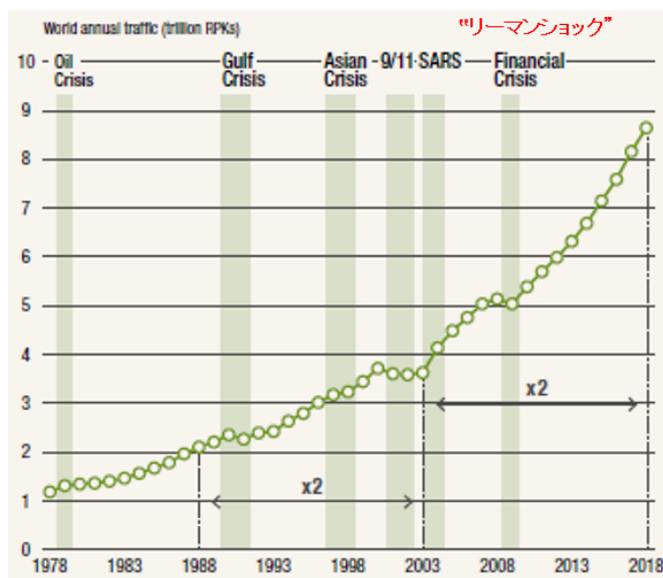
(出所：日本航空機開発協会「民間航空機に関する市場予測 2020-2039」^{2.4)})

図2.2 世界の航空旅客輸送量予測例

この図によれば、RPKは年率 4.0%で増加し、20年後の 2039年には現在の 2.2 倍に達する

ことになる。このような航空旅客の主たる要因は、世界の人口増加、経済成長（特に新興国）、グローバル化の進展が挙げられる。また、現在までの航空旅客輸送量の推移を図 2.3 に詳細に示すが、外部衝撃（オイルショック、湾岸危機、アジア経済危機、9.11 テロ、疾病、リーマンショック）によりその都度一時的には減少に転じてでもマクロには図 2.3 に示す増大曲線に戻っている。

2020 年初頭発生 of 新型コロナウイルスによる経済的損失はリーマンショックのとき以上といわれており^{2.6)}、航空機産業界に対するダメージも極めて大きい。それでもマクロに見れば、いずれ回復路線に乗ってくると推察される。この根強い輸送量増大の主要因は、



(出所：2019 edition of Airbus Global Market Forecast^{2.5)})

図2.3 世界の航空旅客輸送量推移

世界の人口増加、新興国の経済成長、グローバル化にある。グローバル化については、新型コロナウイルスの影響でブレーキがかかった状態が暫く続くと思われるが、ワクチンや治療薬が用意できた頃から徐々に回復基調に入ると考えられる。

前述のコロナ禍が RPK にどのように影響を与えるかを予測した例を図 2.4 に示す。本図は、IATA (International Air Transport Association : 国際航空運送協会) が 2020 年 4 月に行った予測である。本予測によれば、RPK は世界の GDP (Gross Domestic Product : 国内総生産) よりも遅れて回復し、2019

年の水準に戻るの
は 2023 年であるとして
いる。しかし、
その後の推移を観
察していると、な
かなか急激な回復
は望めないと考え
られる。新型コロナ
ウイルスは過去の
外部衝撃にくら
べて影響は大であ
るが、マクロな航
空旅客輸送量の増
大見通しは変わら
ないと推測する。

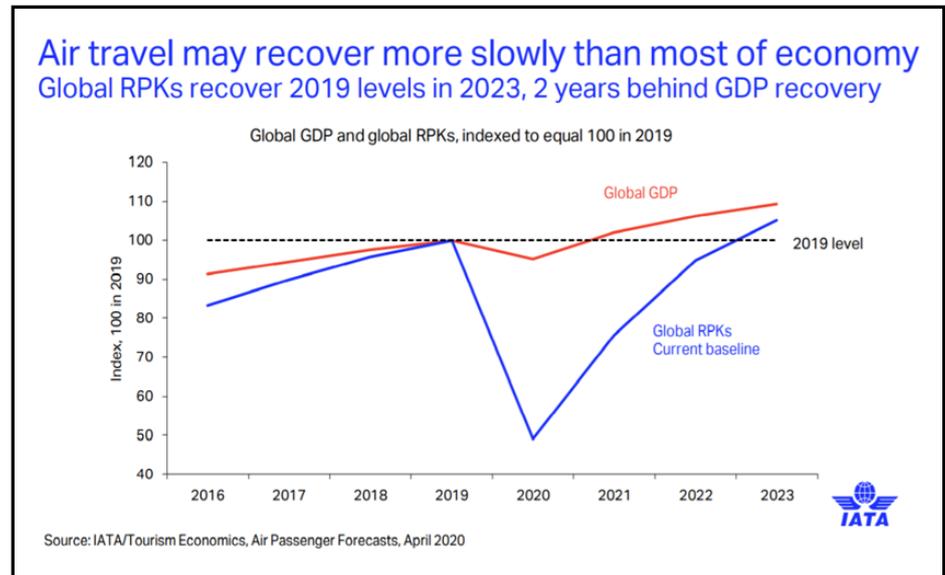


図2.4 コロナ禍の影響予測例^{2.7)}

2) 最も広がりのある工業である。

航空機は、現代のあらゆる工業製品の中で「最も複雑でかつ高度なトータルシステム」製品であると言ってもよい。このことから航空機工業は以下の5つの特質を有する。

(1) 扱う部品の点数が圧倒的に多い。

全構成部品の点数が、数10万点から数100万点にも及び自動車の数万点に比較すれば、10倍から数100倍以上の多さになる^{1.8)}。このことは、機体構造や推進機関のそれぞれの部品点数の多さだけでなく、装備品(システム、機器)の種類と数の多さも大きく影響した結果である。

(2) 関与する技術の分野が極めて多岐にわたる。

航空機に必要な技術分野は、大きくは機械系、電気・電子系、物質系ということになる。もう少し詳しく、航空機の支えとなる対象技術分野を列举すると、翼理論、構造、推進機関(エンジン、プロペラ)、材料、加工法、制御、計測、コンピューター(ハードとソフト)、各種解析技術、シミュレーション技術、DTC(Design to Cost)、試験、信頼性管理、システム管理などである。すなわち、世に存在する技術分野の殆ど全てである。

(3) 工業の幅が非常に広範である。

上述の如く、部品点数が多く、関与する技術が多岐にわたるので、当然のことながら、工業の幅も企業数と専門性の両面から極めて広くなる。別の言い方をすれば、最終製品としての航空機をまとめる完成機メーカーに自身でできる仕事には限界があるということになる。結果、完成機メーカーをトップに頂く巨大なサプライチェーンを構成することになる。図 2.5 に民間航空機の場合のサプライチェーンを示す。軍用航空機の場合も、官からの支給品が存在するなど少し異なるが、同様なサプライチェーンを構成する。まさに工業面の総合力の結集が必要とされる点で航空機工業が重要なのである。

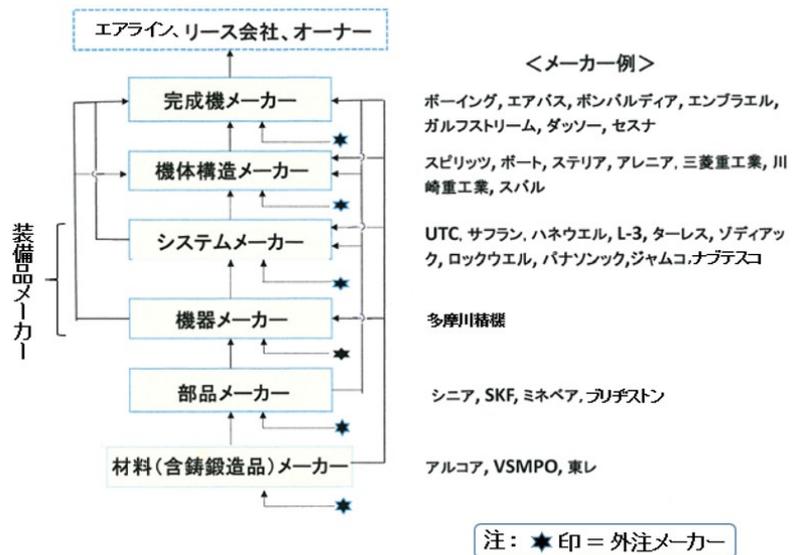


図2.5(1) サプライチェーン – 民間航空機(ジェットエンジン搭載)

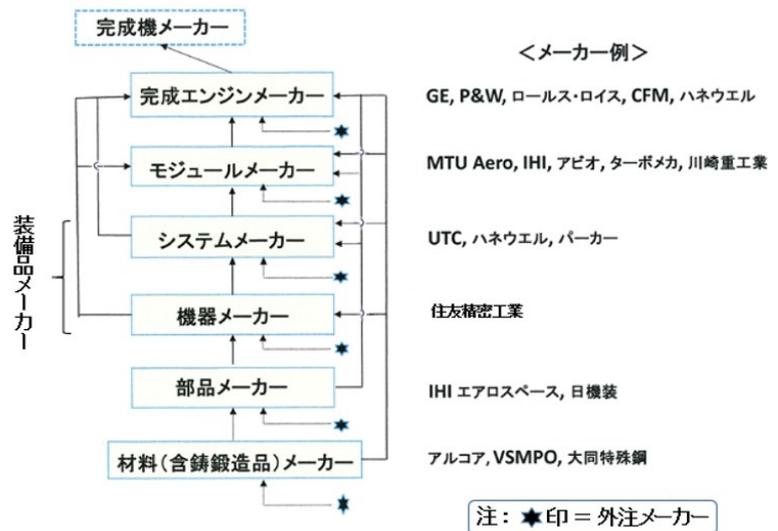


図2.5(2) サプライチェーン – 民間航空エンジン

(4) 航空宇宙以外の民生分野とお互いに刺激しあいながら発展している。

航空機工業は、航空宇宙以外の民生分野（以下、単に民生分野と言う）とお互いに刺激しあいながら発展した歴史がある。このことが極めて重要であり、航空機工業の特質をよく表していると考えられる。ライト兄弟機以来現在まで 117 年間航空機はその時々で優れた民生分野の技術を取り入れて進化するとともに、自身の進化の過程で必要に迫られて生み出した製品技術、材料、手法などを民生分野に還元し、他の多くの工業に貢献している。航空機分野と民生分野で互いに波及効果（シナジー）を数多く生み出してきたと言える。具体的な波及効果について、代表的な事例を表 2.1、表 2.2 に示す。表 2.1 には、民生分野→航空機分野の例を、

表 2.2 には、航空機分野→民生分野の例を示す。また、製品技術、材料、手法のカテゴリー別にそれぞれ示している。中には、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic:炭素繊維強化プラスチック) のように両分野を往来しながら進化を続けている例もある。

表 2.1 航空機分野に展開されている民生技術の代表事例

技術区分	航空宇宙以外の民生分野 (技術名称)	展開方向	航空機分野 (適用対象)
製品技術	コンピューター ノイズ・キャンセラー AV 機器 (Audiovisual Eq.) ラジアルタイヤ 液晶ディスプレイ IT LED 照明 MEMS (微細電子機械システム) 光ファイバー エアバッグ RFID Tag Wi Fi タッチスクリーン 有機 EL ^[注2] リチウムイオン電池 燃料電池 ^[注2]	⇒	飛行制御システムなど随所に 機内 Active Noise Control System IFE (機内エンターテインメントシステム) 降着システム コックピット用ディスプレイなど EFB (Electronic Flight Bag) 機内外照明など センサー、アクチュエーター ^[注2] FBL (Flight by Light) 座席 メンテナンス Connectivity、各種モニタリング Flight Display、IFE Controller 機内照明、ディスプレイ、窓パネル バックアップ用電源 予備電源、推力源
材料	バイオ燃料 長繊維強化熱可塑性樹脂 ^[注2] 新マグネシウム合金 ^[注2]	⇒	代替燃料 内装用構造部品など 内装用構造部品など
手法	ISO 9001 ショットピーニング トヨタ生産方式 VaRTM 3D プリンター ^[注2]	⇒	JIS9001 (= AS9100/EN9100) 疲労強度向上対策を必要とする金属部品 機体最終組立て作業 CFRP 部品成形 金属部品、樹脂部品

[注1]コンピューター登場以降を対象にしている。

[注2]本格実用化検討中の技術も含む。

表 2.2 民生分野に展開されている航空機技術の代表事例

技術区分	航空機分野 (技術名称)	展開方向	民生分野 (適用対象)
製品技術	プロペラ 燃料噴射装置 ターボジェットエンジン ディスクブレーキ アンチスキッドシステム GPS 航行システム 衝突防止装置 フライトデータ・レコーダー ヘッドアップ・ディスプレイ タイヤ圧力検知システム ステアバイワイヤー フライト・シミュレーター セミ・モノコック構造 ハニカム・サンドイッチ構造	⇒	風力発電(プロペラ型風車)、ファンなど 自動車、オートバイなど 産業用、船舶用ガスタービンなど 自動車、オートバイ、高速鉄道車両 自動車用 ABS カーナビゲーションシステムなど 自動車 ドライブレコーダー 自動車、医療など 自動車 自動車 各種シミュレーター 自動車、新幹線、住宅メーカー製品など 建築、新幹線、ボートなど
材料	アルミ合金(“ジュラルミン“) チタン合金 合金鋼(低合金鋼、ステンレス) 耐熱合金	⇒	自動車、高速鉄道車両、建材用部品など ゴルフクラブヘッド、眼鏡フレーム、人工骨、 インプラントなど 各種機械用部品 各種エンジン部品
手法	風洞試験 CFD(数値流体力学) FEM(有限要素法) 信頼性解析 損傷許容設計 耐衝撃性設計 CAD・CAM 用 CATIA 精密鋳造法 5 軸制御加工 難削材加工法 特殊接合法 ^{〔注2〕}	⇒	自動車、鉄道車両、長大橋、高層ビルなど 自動車、鉄道車両、長大橋、高層ビルなど 殆どあらゆる製品(特に構造設計品) 自動車、電気・電子、原子力、産業機械など LNG 運搬船タンク、原子力プラントなど 自動車 自動車、電気機器、組立機器など 自動車、電子機器、計測器、医療機器など 自動車、産業機械、金型など チタン合金、耐熱鋼、低合金鋼部品 自動車、鉄道車両、電気機器など

〔注1〕理論については省略する。

〔注2〕電子ビーム溶接、摩擦攪拌接合、ロウ付けなど

また、航空機分野の複数の技術が民生分野で画期的なシステム製品を生み出したり、逆に民生分野の複数の技術が航空機分野で素晴らしいシステム製品を生み出したりもしている。前者の代表例がリニアモーターカーや高速艇（ジェットフォイルなど）であり、後者の代表例が IFEC（Inflight Entertainment & Connectivity：機内エンターテインメント・インターネットシステム）である。

リニアモーターカーは、日本が今まで培ってきた高速鉄道システムの粋、長年研究開発を進めてきた超伝導技術、航空機用諸技術を統合・融合した世界最高水準の鉄道システムである。主な航空機技術は、空力技術（空気抵抗の壁を克服し、空気の流れを制御し、空気を利用する技術）、軽量化技術、降着システム技術（緩衝、揚降、ブレーキなど）である。ジェットフォイルは、前後の水中翼に発生する揚力によって船体を完全に水の上に出して高速走行する船のことである。そもそもは、ボーイングで開発・生産・販売された船なので、随所に航空機技術を取り入れている。具体的には、水中翼、補助翼、操縦系統、軽量化技術、ガスタービンエンジン、降着システム技術などである。

IFEC は、AV 機器（Audiovisual Equipment）、液晶ディスプレイ、MEMS（Micro Electro Mechanical System：微細電子機械システム）、Wi Fi、タッチスクリーンなど民生分野の先端技術を取り入れて成立している。ここで、衛星との通信を行うため胴体上部に取り付けられたアンテナの姿勢制御に使用されるジャイロスコープは、マイクロマシニング技術を用いて製作した MEMS 製品である。

上述の技術波及効果に言及した代表例が参考文献 1.6）（第 1 章第 2 節）と参考文献 2.3）であるが、いずれも「航空機分野→民生分野」に関する記述が主体であり、「民生分野→航空機分野」に関する記述が少ない。また、本論文のように体系的にまとめた例は知見しない。

また、リニアモーターカー、ジェットフォイル、IFEC のような多くの要素技術から構成されるシステム製品を波及効果事例として捉えているのは参考文献 1.8）で言及したのが最初である。

(5) 高い技術要求に応える特質から多くの工業分野のイノベーションを先導する。

航空機は、その性格上、安全性確保、軽量化、高性能化などの面で非常に厳しい技術要求がなされる。この高い要求水準を満たすため、航空機自身の進化を図るはもちろんのこと、民生分野で役に立つ優れた技術が存在すれば当然活用することになる。このことは、航空機に対するニーズが民生分野の諸工業の技術革新を期待していることになる。

また、航空機の進化の過程で培われた、オリジナルな技術や高度化した技術が民生分野の諸工業に適用されそれらの発展に貢献している。最近自動車用に急速に普及が始まっているヘッドアップ・ディスプレイなどは典型例の一つである。

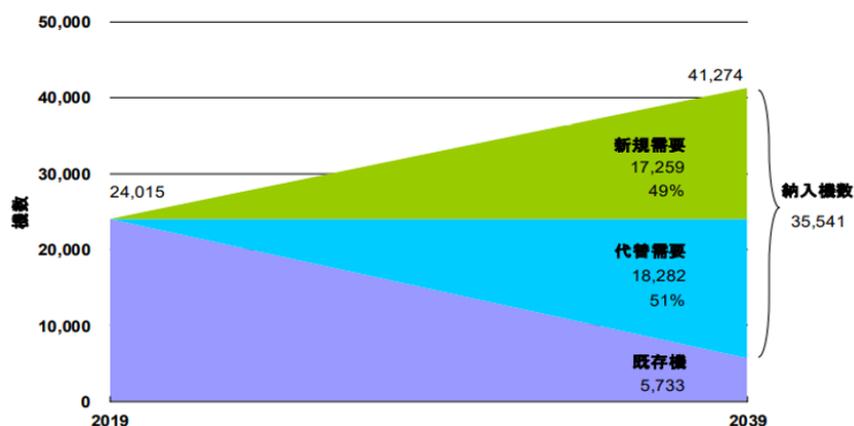
これらの内容は、具体例も含め、上述の（4）項と重複する事柄ではあるが、ここで述べたいのは、航空機に必要とされる技術要求水準の高いことが一種起爆剤になるような形で航空機を含む多くの分野の諸工業のイノベーションを先導しているということである。航空機分野で必要とされる難削材加工法はその最たるもので、工作機械、工具設計、工具材料、切削・研削方法、切削・研削液などの進化を促し、民生分野にも貢献することになる。漸く具体化に動き始めた次世代ステルス戦闘機の開発も、要求される技術水準が高いが故に、民間機（特に細胴

機用エンジン) は勿論のこと、様々な民生分野に技術面でのイノベーションをもたらすことが期待される。経済面でも、戦闘機の開発費の何倍もの波及効果が予測される。

3) 世界でも数少ない安定成長工業である。

2.3 節 1) 項で述べた航空旅客輸送量の増大に応えるべく運航機材数も当然増加する。航空機の中でも輸送の主役を担う民間ジェット輸送機について見てみると、図 2.6 のようになる。今後

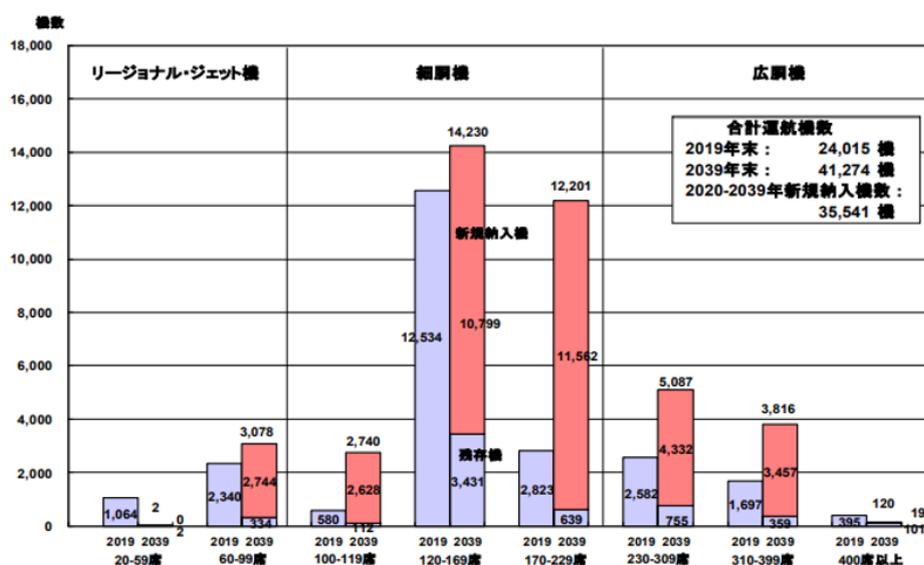
20 年間で運航機材数は 17,259 機の増加 (24,015 機→41,274 機) になり、納入機数は代替需要も含めて 35,541 機数になると予測されている。更にサイズ別に見てみると図 2.7 のようになる。サイズによってバラツキはあるが、席数が 20-59 の小型リージョナルジェットと席数が 400 以上の超大型機を除いて軒並みに大



(出所：日本航空機開発協会「航空機関連データ」^{2,8)})

図2.6 民間ジェット輸送機運航機材 - 実績と予測

き増加率を示していることが分かる。このような大幅で安定した需要を満たすのが、航空機工業ということになる。(これらの需要予測は 2020 年発生の新型コロナウイルスの問題が発生する前に作成されたものである。) 図 2.6、図 2.7 の対象外であるターボプロップ機、ビジネスジェット、ヘリコプターについても、民間ジェット輸送機ほどでないが、今後も堅調な需要が予測されているが、詳細はここでは省略する。



(出所：日本航空機開発協会「航空機関連データ」^{2,8)})

図2.7 民間ジェット輸送機のサイズ別需要予測

4) 安全保障上必須の工業である。

現代社会では、殆ど全ての国々が、軍隊、国境・沿岸監視・救難組織、消防組織、警察組織を保有している。そして、これらの組織の多くは飛行機やヘリコプターを有している。特に、軍隊について言えば、アメリカを例に挙げると空軍はもちろんのこと陸軍、海軍、海兵隊の各軍も航空戦力を有している。日本でも、陸・海・空の各自衛隊がそれぞれ自身のミッションを遂行する上で必要な機種 of 航空機を相当数保有している。このことは、現代の軍においては航空戦力の存在がいかに大きいかを如実に示している。しかし、軍においては、有事に備えて必要な航空機を自前で整え続けることができなければ、更には一朝事あるときに必要な整備、修理、部品補給を迅速に行うことができなければ、攻撃や侵略を受けたときにどのような事態に陥ってしまうか容易に想像できることである。このような事態を避けるためには、自国に優れた航空機工業の存在していることが必須となる。

2.4 特に日本にとって重要である理由

前述 2.3 節で航空機工業がなぜ重要なのか、各国に通じる理由を述べたが、本節では特に日本にとって重要と考えられる理由を以下に述べる。

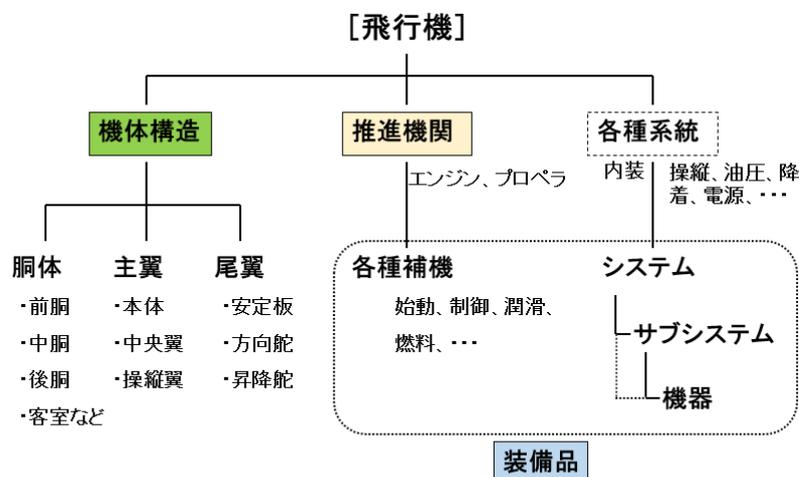
1) 航空機工業は日本に最適な工業である。

(1) 高い技術水準が要求される。

航空機は、安全性確保、軽量化、高性能化などの面における非常に厳しい要求に加えて、信頼性向上、コンパクト化、整備性改善、環境配慮、コストダウン面における高度な目標についても達成を求められる。両立の難しい技術要求や目標を同時に達成する能力を有するのは、日本のような先進工業国のみである。

(2) 求められる要素技術の数が多い。

航空機は、図 2.8 に示すように、機体構造（主翼、尾翼、胴体など）、推進機関（エンジン、プロペラなど）と数多くの装備品で構成され、これらのいわゆるシステムは一般に複数のサブシステムから成り立ち、更に、サブシステムは多くの機器や部品から成り立っているため、ピラミ



注：ヘリコプターの場合も、「主翼→メインローター」などを除くと、ほぼ同じ

図2.8 飛行機の基本構成

ッド状の巨大なトータルシステム製品と言える。このことが、部品点数の圧倒的な多さに結果として結び付いている。参考までに、民間ジェット輸送機のシステムを表 2.3 に示す。

表2.3 民間ジェット輸送機の主要システム一覧

機体用システム	エンジン用システム	内装用システム
<ul style="list-style-type: none"> ・ 飛行管理 ・ 通信 ・ 航法 ・ フライトデッキ ・ 油圧 ・ 操縦 ・ 降着 ・ 空調 ・ 与圧 ・ 電源 ・ 防除氷 ・ 酸素 ・ 照明 ・ 補助動力 	<ul style="list-style-type: none"> ・ エンジン制御 ・ 潤滑 ・ 始動 ・ 点火 ・ 火災防御 ・ 燃料 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 10px;"> エンジン用は補機という場合が多い。 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 10px;"> 多くの場合、各システムは幾つかのサブシステムから構成され、更に、サブシステムは複数の機器や部品から成り立っている。 </div>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ギャレー ・ ラバトリー ・ 座席 ・ 照明 ・ PSU ・ IFE/Connectivity

図 2.8 に示すように階層を重ねたシステムを成立させる技術や、膨大な部品の種類に対応する技術は広範多岐にわたる。日本は、今までの諸工業における蓄積により、多くの分野で世界トップレベルの技術を有している。実際、航空機工業に参入し得るポテンシャルを持つ企業は日本に多数存在すると確信する。

(3) 航空機工業は大きな付加価値を生み出す工業である。

トータルシステム製品である航空機を取りまとめるメーカー（例：ボーイング、エアバス）が筆頭の存在になるが、機体構造モジュール、推進機関（エンジン、プロペラ）、装備品（特にシステム）をまとめるメーカーにもそれぞれ大きな付加価値が生じる。最大の理由は、航空機工業が企画、開発、生産、販売、カスタマー・サポートの各段階で多くの手間を要する性格を本質的に有しているからである。特に、生産段階においては、一般の民生分野のモノ作りと比較すると、航空機工業には圧倒的に難度が高くかつ数多くの加工工程や検査工程が必要とされる。付言すれば、このような諸条件に対応できるメーカーは、日本には多く存在するが、発展途上国にはそれほど存在しない。航空機工業が人件費の安い発展途上国に対抗できる分野になり得る理由でもある。

(4) 電動化の流れが押し寄せてきている。

従来パワースourceとして主流であった油圧や空気圧を電気に置き換えていく動きが、エアバス A380 やボーイング 787 以降のプログラムにおいて顕著になってきている。理由は、燃費、整備性、安全性の向上などが可能になるからである。燃費の向上は燃料節減に直結し、その結果、環境対策（CO₂、NO_x、PM などの削減）に貢献する。では、電気に置き換えれば、なぜ燃費の向上につながるのか。第一の理由は、電気システムの方が、エンジン駆動油圧システムや、エンジンのコンプレッサー部から高圧空気を一部抽気として取り出す空気圧システムよりも、効率ははるかに高いためである。第二の理由は、従来の油圧システムや空気圧システムが集中

方式であるのに対し、電気の場合には分散方式が可能になるため、油圧配管や抽気用配管が不要になり、機体重量を削減できることである。

このような電動化の有用性は以前から認識されていたものの、電気システムの構成機器（発電機、制御器、モーター、バッテリーなど）に適したものが無かったことと、信頼性の面から実績が不足していたことなどが壁になって、実用化はなかなか進まなかった。しかし、関係者の長年にわたる研究開発努力の結果、ようやく実プログラムにおいて採用されるようになってきたのである。この動きは、いよいよ加速し、適用範囲を拡大し、究極的には推進機関の電動化まで視野に入れたものとなっている。

まさに、この航空機の歴史における変わり目とも言える局面に、日本の優れた電気・電子技術の新しい出番があるのである。現に経済産業省を窓口にして日本の関係メーカーに協業を呼び掛けるボーイング、エアバスの動向を伝えるニュースを最近見聞するのはその証左である。例えば、参考文献 2.9) に示す記事を参照されたい。

また、電動化技術の向かい先の一つが、中長期的に見てビッグビジネスになると期待されている「空飛ぶクルマ」である。現在、世界では、自動車メーカー、航空機メーカー、スタートアップ企業が入り乱れて開発に取り組んでいる^{2.13)}。「空飛ぶクルマ」には幾つもの形態があるが、主流は eVTOL (Electric Vertical Take Off & Landing : 電動垂直離着陸機) である。「空飛ぶクルマ」に対しては、航空機用技術（特に電動化関係の技術）は勿論のこと安全認証制度も必要であり、ここは航空機工業の出番である。一方で、日本は世界トップの自動車大国であるので、「空飛ぶクルマ」でも海外勢に負ける訳にはいかない。このような面からも、日本の電気・電子関連企業は活躍を求められているのである。

2) 航空機工業は国際共同開発・生産が当たり前の工業である。

近年、航空機産業界では、エアラインにおける国際共同運航、工業面における国際共同開発、国際共同生産が当たり前になってきている。開発や生産を国際間で共同実施する流れになっている背景としては、事業環境の変化、競争の激化、巨額の開発費の発生、事業リスクの増大、通信手段の発達などが挙げられる。これらの諸背景に打ち克って一社単独で事業を遂行することは、巨大なプログラムの場合には、現実問題として難しくなっている。実際、近年の多くの航空機プログラムは、完成機メーカーをリーダーに多くのパートナーが参画する国際共同開発・生産方式で遂行されている。RSP (Risk-revenue Sharing Partnership) 方式と言われるリスクと収入を分かち合う協力形態が国際間で一般化してきているのである。この方式は多くの完成エンジンにも同様に適用されてきている。装備品の世界でも、幅の広いシステム製品では同様である。

民生分野の諸工業に目を向けてみれば、海外に販売拠点、生産拠点、或いは研究所を設けて、現地の従業員と一緒に業務を実施するケースが増えてきているが、複数の企業が対等或いはそれに近いパートナーとして共同で開発、生産、販売を行なうケースはまだそれほど多くはない。しかし、グローバル化の進展とともに、複数国の企業が共同で事業を行なうことにメリットを見出すケースが増えてくるのは想像に難くない。このようなときに備えて、航空機工業の場で国際共同開発・生産の経験を先行して積んでおくことは、日本の将来にとって有益である。

2.5 まとめ

本章では、航空機工業の定義を行った上で、航空機工業の重要性について分析を行い、更に、特に日本にとって重要である理由について明らかにした。得られた結果を以下にまとめる。

第一に、航空機工業が重要である理由をまとめると、次のようになる。

- ① 日常生活に不可欠な交通手段を提供する。
- ② 最も広がりのある工業である。なぜならば、以下の理由による。
 - ・ 扱う部品の点数が圧倒的に多い。
 - ・ 関与する技術の分野が極めて多岐にわたる。
 - ・ 工業の幅が非常に広範である。
 - ・ 民生分野とお互いに刺激しあいながら発展している（相互技術波及効果が大）。
 - ・ 高い技術要求に応える特質から多くの分野のイノベーションを先導する。
- ③ 世界でも数少ない安定成長工業である。（コロナ禍で大打撃を受けたが、マクロには変わらない。）
- ④ 安全保障上必須の工業である。

第二に、特に日本にとって重要な理由をまとめると、次のようになる。

- ① 日本に最適な工業である。なぜならば、以下の理由による。
 - ・ 高い技術水準が要求される。
 - ・ 求められる要素技数が多い。
 - ・ 大きな付加価値を生み出す工業である。
 - ・ 電動化の流れが押し寄せてきている。（日本は優れた電気・電子技術を有する。）
- ② 国際共同開発・生産が当たり前の工業である。（先行して経験しておくことは有用である。）

第3章 日本の航空機工業の課題

3.1 はじめに

本論文の主な目的は、繰り返し述べているように、日本の航空機工業の具体的な新興策を研究し提示することにある。そのために、まずは航空機工業がなぜ日本にとって特に重要であるのかということをも第2章で明らかにした。次に、必要なのは課題を明らかにすることである。そのためには、日本の航空機工業界の現状を分析し、そこから克服を要する課題を抽出することである。また、現状に至る歩みも確認しておく必要がある。現状の位置付けのためには、諸外国（特に主要先進国）との比較も重要である。とりわけ、戦後の航空機工業の再開に際して日本と同等以上のハンディキャップを背負ったドイツとの比較は参考になるはずである。

そこで、本章においては、日本の航空機工業界の現状分析、戦後の歩み、ドイツとの比較について述べ、それらの内容に基づいて、日本が克服を要する課題を明示する。

現状分析については、主要先進国との比較も含め、先行記述例^{3.1), 3.3)}が存在する。戦後の歩みも先行記述例^{1.6), 3.2)}が存在する。本論文の記述もこれらを参考にしている。ドイツとの比較については、ドイツの航空機工業の現状や戦後の歩みに関する簡単な記述^{3.3)}は存在するが、日独比較の視点で述べた先行研究例は存在しない。参考文献1.9) (第八話) が初めての試みであると認識している。従って、本章は参考文献1.9)をベースに分析を行う。最後に、それまでの検討・考察に基づいて日本の航空機工業の課題を抽出し、かつなぜ課題であるのかについても述べる。

3.2 現状分析

まずは、日本の航空機工業の現状を明確にするため、日本の主なメーカー、売上高規模、主要先進国（米英仏独加）との比較について記述する。

1) 日本の主なメーカー

完成機・機体構造メーカー、エンジンメーカー、装備品メーカーに分けて表3.1～表3.3に示す。完成機や機体構造の生産を担う**完成機・機体構造メーカー**は、戦前からの長い歴史を有する5社、三菱重工業、川崎重工業、スバル（旧富士重工業）、新明和工業、日本飛行機が、戦後の航空機工業再開後も、「機体5社」と言われるかたちで存続し現在に至る。但し、日本飛行機は2003年に川崎重工業の完全子会社になったので、表3.1のように表現している。新たな顔触れとしては、ホンダジェットを開発・生産する本田技研工業

表3.1 日本の機体メーカーと主な開発・生産実績

注：日本航空機製造は1982年解散のため省略

	軍用機	民間機		備考
		独自プログラム	海外プログラム	
三菱重工業 (含三菱航空機)	戦闘機、練習機、ヘリコプター	ビジネス機、ビジネスジェット、リージョナルジェット	Boeing 767, 777, 787, Challenger 300, Global 5000	2008年、三菱航空機を設立、出資比率64.0%
川崎重工業 (含日本飛行機)	練習機、哨戒機、輸送機、ヘリコプター		Boeing 767, 777, 787, BK117	2003年、日本飛行機を完全子会社に
富士重工業	練習機、ヘリコプター	軽飛行機	FA-300, Boeing 767, 777, 787, Hawker 4000	
新明和工業	飛行艇		Boeing 767, 777, 787, G500/550	
本田技研工業		ビジネスジェット		2008年、Honda Aircraft Co.設立

(厳密には、米国子会社の Honda Aircraft Co.) とリージョナルジェット MSJ の開発・生産を担う三菱航空機を挙げなければならない。日本飛行機以外は完成機の開発能力を有する。尚、生産規模の面では、現時点では、三菱重工業、川崎重工業が他に比べて大きい。また、特徴と言えるのは、世界の航空機工業界で売上高規の最も大きいシェアを持つ 100 席級以上の民間旅客機市場においては、「機体 5 社」はボーイングなどの海外完成機メーカーのパートナーとして機体構造の生産を分担する役割にとどまっている点である。

エンジンメーカーとしては、表 3.2 に示すように、最大手の IHI を筆頭に、川崎重工業、三菱重工業（正確には、100%子会社の三菱重工航空エンジン、2014 年設立）と長年の実績を有するメーカーが続き、そこへ

表 3.2 日本のエンジンメーカーと主な開発・生産実績

注：民間機用は全てターボファン・エンジン

	軍用機用	民間機用		備考
		独自プログラム	国際プログラム	
IHI	ターボジェット、ターボファン、ターボプロップ、ターボシャフト		V2500, CF34, GE90, GEEx	「石川島播磨重工業」より社名変更
川崎重工業	ターボシャフト		V2500, CF34, Trent1000, XWB	
三菱重工航空エンジン	ターボファン、ターボシャフト		V2500, PW4000	2014年、民間エンジン部門分社化
本田技研工業		HF118	HF118/120	2004年、GEと合弁会社を設立

《参考》タービンエンジンの種類と用途

ターボジェット・エンジン	： 戦闘機など
ターボファン・エンジン	： 輸送機など
ターボプロップ・エンジン	： プロペラ機
ターボシャフト・エンジン	： ヘリコプター

ビジネスジェット用ターボファン・エンジンの開発・生産を行なっている本田技研工業が加わることになる。本田技研工業の場合は、事業化のため 2004 年に GE (General Electric Company) と組んで合弁会社 GE Honda Aero Engines LLC を設立し、開発と販売活動を本格化したので、現在の主役は合弁会社であると言っている。

IHI、川崎重工業、三菱重工航空エンジンのエンジン 3 社について、各社の発表資料等にもとづいて、もう少し言及すると下記の通りである。

- (1) 売上高規模は、IHI、川崎重工業、三菱重工航空エンジンの順になる。
- (2) 戦後の独自開発ジェットエンジンにおいて完成エンジンメーカーとして実績を有するのは、軍用機用ではあるが、IHI、三菱重工業の 2 社である。
- (3) 戦後の軍用機用エンジンの生産は、上記の数少ない独自開発のケースを除いては、世界三大メーカー (GE、ロールスロイス、Pratt & Whitney) からのライセンスに依っている。
- (4) 各社とも民生用各種タービンエンジンの製造・販売を行なっている。(このことは、航空機と民生両分野間シナジーを論じる上で見逃してはならない点である。)
- (5) 民間機用売上高は、独自プログラムを有さないもので、海外向けがほとんどである。

「推進機関」というカテゴリーで論じる場合、エンジンだけでなくプロペラも対象にすることになるが、その場合には戦前からの独占的メーカーである住友精密工業を挙げなければならない。ただ、現状では、生産は無く MRO 作業だけにとどまっている。

日本には数多くの**装備品メーカー**が存在する。表 3.3 に掲げたのは、航空宇宙部門の年間売上高が数十億円以上の企業である。有名大企業から中堅企業まで幅は広い。表では、<民需比率が

高いメーカー>と<防需比率が高いメーカー>に分けたが、前者は当然のことながら海外プログラムに活路を見出すべく企業努力を続けてきている。ここで、民需比率が高いとしたのは、航空宇宙部門の売上高に対して民需向けが50%以上のメーカーを指す。根拠は、各社発表の資料や取材結果による。

表3.3 日本の主要な装備品メーカーと代表的な製品

<民需比率が高いメーカー>			<防需比率が高いメーカー>		
	会社名	代表的な製品		会社名	代表的な製品
1	小糸製作所	照明、表示、電装、油圧	01	KYB	車輪・ブレーキ、油圧
2	ジャムコ	ギャレー、ラバトリ、シート	02	関東航空計器	フライトレコーダ、電装
3	住友精密工業	降着、油圧、熱交換器	03	島津製作所	操縦、空調、HUD
4	多摩川精機	センサ、モーター、制御ユニット	04	シンフォニアテクノ	電源、電装、Servo Act.
5	ナブテスコ	操縦、油圧、配電	05	ダイセル	脱出装置
6	Panasonic	IFE/Connectivity	06	東京計器	レーダ、コンパス、計器
7	横浜ゴム	ラバトリ、タンク	07	東京航空計器	計器、表示、操縦、酸素
8	横河電機	液晶ディスプレイ	08	日本航空電子工業	加速度計、ジャイロ、航法
9	GSユアサ	リチウムイオン電池	09	NEC航空宇宙	レーダ、音響、通信、誘導
			10	三菱電機	レーダ、通信
			11	三菱プレジジョン	センサ、航法、電波
			12	横河電子機器	点火、センサ
			13	天龍エアロコンポ	シート

注1. 記載はアイウエオ順
注2. 製品欄では、システムと機器を混在して表現
注3. 島津製作所は近年民需を戦略的に拡大中
注4. 機体・エンジンメーカーで内製の装備品も存在

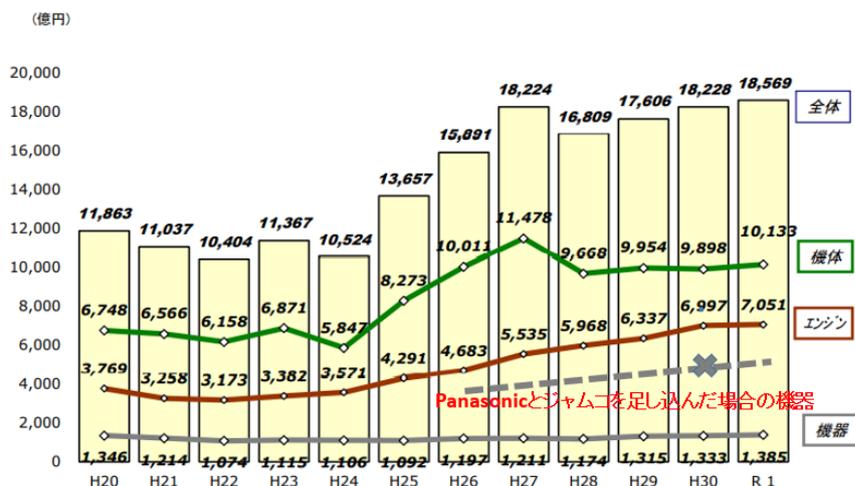
日本の装備品メーカーの最大公約数的な特徴を以下に示す。

- (1) 戦後の航空機生産再開を機に、ライセンス生産からスタートした企業が多い。
 但し、現在では殆どのメーカーが一定水準以上の独自開発能力を保有するに至っている。主な理由としては、各社が日本の技術力を背景に努力を重ねたことに加え、独自開発の各種軍用機プログラムの存在が後押ししたことが挙げられる。
- (2) システム製品ではなく機器レベルにとどまっている企業がほとんどである。
 例外は、ジャムコ（ギャレー、ラバトリー）、住友精密工業（降着システム）、ナブテスコ（操縦作動システム）、Panasonic Avionics（IFEC）ぐらいである。
- (3) 防需主体の企業の方が多い。
- (4) 航空宇宙部門の年間売上高が数十億円～数百億円で、事業規模が小さい。
 例外は、Panasonic Avionicsとジャムコだけである（詳細後述）。
- (5) 規模が比較的小さい企業を除くと、専門度は低い。

装備品業界全般の動向に言及すると、欧米とは全く異なる点であるが、戦後の航空機生産再開後プレイヤー（装備品メーカー）とその守備範囲（担当製品）がほぼ固定化して現在に至っている。また、近年では撤退する企業も出てきている。代表例としては、住友電気工業（タンク、レドーム）や最近防衛事業から撤退の方向を公表したダイセル（脱出装置、同社2020年3月期第3四半期決算説明資料）が装備品メーカーでは挙げられる。理由としては、防需主体だったので、調達の減少に伴い、売上規模が小さくなり、採算性などの面で事業維持が難しくなったことにある。

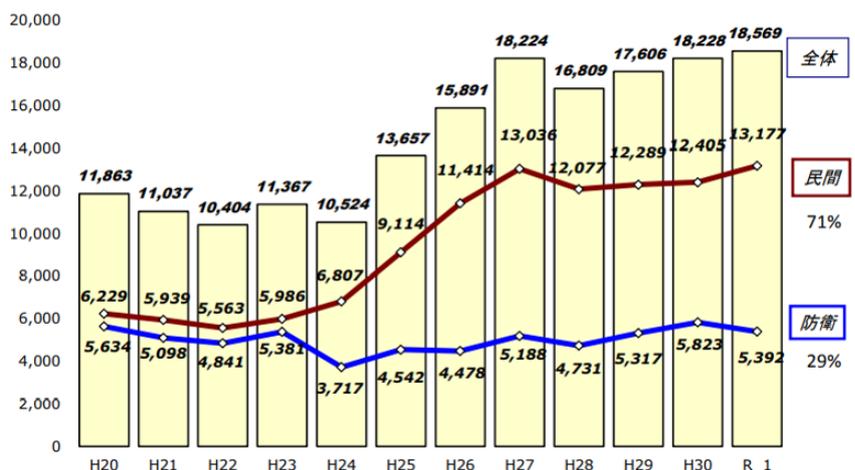
2) 日本の航空機工業売上高規模

日本の航空機工業の売上高推移を図 3.1 に示す。本図からも分かるように、統計対象は、完成機・機体構造（図では「機体」）、エンジン、装備品（図では「機器」）であり、部品、材料は含まれていない。図 3.1 では、民需/防需別推移も併せて示している。図 3.2 では、セグメント別に、完成機・機体構造、エンジン、装備品の防需比率の推移を示している。



(出所：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」^{3.1)})

図3.1(1) 日本の航空機工業の売上高規模と内訳 - 分業別推移



(出所：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」^{3.1)})

図3.1(2) 日本の航空機工業の売上高規模と内訳 - 民需/防需別推移

売上高規模は、概ね増加傾向にあり、直近（2019年）では1兆8,500億円のレベルにある。そして、このまま推移すれば、2030年には3兆円を超えると期待されている^{3.4)}。但し、コロナ禍発生以前の予想なので、2~3年先送りになると考えた方がよい。内訳は、セグメント別に見れば、規模は完成機・機体構造→エンジン→装備品の順になる。

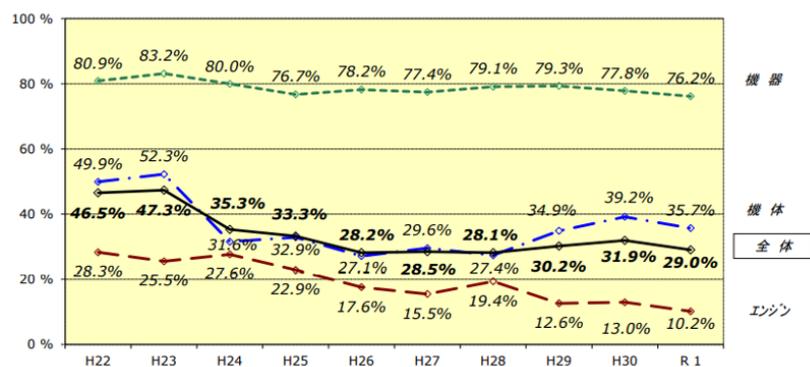
完成機・機体構造の売上高は、2014年（平成26年）に1兆円のレベルに達した後、ほぼその水準で推移してきている。完成機・機体構造については、図3.2から分かるように近年は民需比

率が高い（60%以上）ので、ボーイングなどの完成機メーカーからの発注量に大きく左右される結果が、毎年の数値に影響している。別の言い方をすれば、顧客である完成機メーカーへの依存度が高いということになる。

エンジンの売上高は順調に右肩上がりに推移し、直近では7,000億円のレベルである。エンジンについては、図3.2から分かるように、近年は完成機・機体構造以上に民需比率が高い（80%以上）ので、民需の動向に支配されていると言ってよい。なぜ完成機・機体構造と違って滑らかに安定して売上高が増加してきているのか、その理由は収益構造の違いにあると考えられる。IBMの解析結果^{3.5)}によれば、サービス（MROのこと）から得る収益の比率が、完成機・機体構造ビジネスの場合（20%以下）に比較して、エンジンビジネスの場合は相当に高い（50%以上）ことが影響している。既存機を対象にしたMROビジネスは、運航している機体の数の増加に比例して増える。なかでもエンジンは、高速回転、高温環境など、航空機において最も過酷な条件で使用される製品の宿命として高頻度の整備、修理、部品交換が必要とされる結果、機体構造と違ってMROビジネスが大きなウエイトを占めるようになり、収益に貢献することとなる。このことは、裏を返せば、新造エンジン用ビジネスの変動に左右されにくいことを示している。

装備品の売上高は、図3.1で示されるように、長年1,200億円前後で殆ど変化無く推移してきている。また、民需比率も、図3.2で示されるように、長年20%前後で（細かく見れば僅かに漸増で）推移してきている。しかし、この統計には売上高1位のPanasonic Avionicsと2位のジャムコが統計値に含まれていない。その理由は、両社とも最終組立と完成検査を米国の拠点で行った後出荷しているからである。このような場合、日本の統計システム上わが国の売上高に計上されない。しかし、実態としては開発と生産の大半は日本国内の工場で実施されている。両社の2018年の売上高は、参考文献3.6)によれば、Panasonic Avionicsは2,360M\$、ジャムコは761M\$なので、計3,121M\$となり凡そ3,400億円となる。この数値を足し込んだ装備品売上高の合計値は図3.1(1)内の×印（凡そ4,700億円）になる。また、両社の製品は民間機用なので、民需比率は逆転することになる。このように、装備品の売上高は統計資料の4倍近くになり、相応のウエイトを占めていることになる。

但し、両社は製品が内装品でもあり例外的な存在と位置付ければ、他の多くの装備品メーカーで構成される装備品業界は、売上高規模は小さくかつ防需依存度合いが強いということになる。

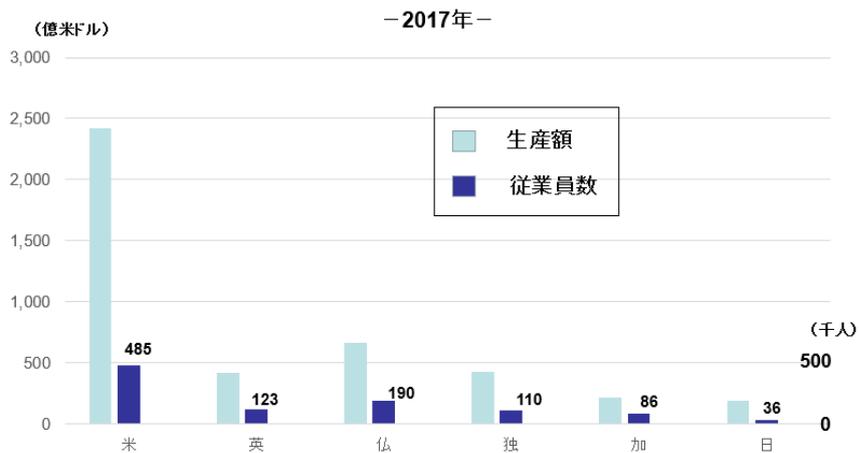


(出所：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」^{3.1)})

図3.2 航空機工業売上高のセグメント別防需比率推移

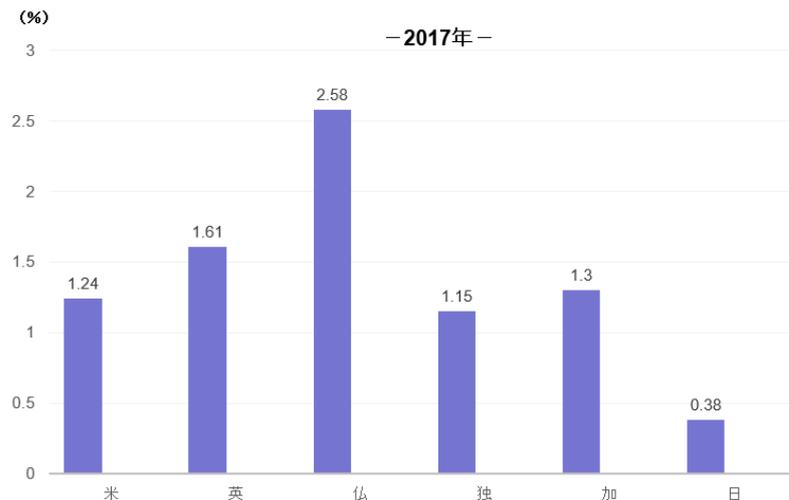
3) 主要先進国（米英仏独加）との比較

日本の航空機工業の規模（生産額と従業員数）を、主要先進国との比較において論じると、宇宙工業も含めた形ではあるが、図 3.3（1）に示す通りである。以前 G5 の構成国であった米英仏独（当時は西独）日の間で、米英仏独に比べて日本は大きく差をつけられている。GDP が日本のほぼ三分之一であるカナダと対比しても規模で後塵を拝している。対 GDP 比率においても、図 3.3（2）で分かるように、各国が軒並み 1%以上であるのに対し、日本の場合は 0.4%以下と極端に小さい。



(出所：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」^{3.1)}より作成)

図3.3(1) 主要先進国の航空宇宙工業規模



(出所：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」^{3.1)}より作成)

図3.3(2) 主要先進国の航空宇宙工業売上高対GDP比率

特に、戦後の航空機産業の再開に際し、日本以上のハンディキャップを背負ったドイツに大きく水をあけられているのは（詳細 3.4 節参照）。せめてドイツ並みに近いジション（規模：2倍以上、対GDP比率：1%以上）までに早くもっていく必要がある。

尚、先進国の中で日本に続く存在としてはイタリア（売上高：171億米ドル、従業員数：60,000人、対GDP比率：0.88%）が挙げられる^{3.1)}。

近年航空機工業の振興に国家を挙げて取り組んでいる中国とロシアについては、上述内容と比較できるデータが見当たらない。しかし、特に中国は軍用機に加えて民間機まで幅広い分野で大々的に取り組んできた結果、著しく規模を拡大してきたことは間違いない。詳しくは、参考文献1.9)の第7話を参照願いたい。売上高^{3.7)}だけを見ても、日本の3倍程度に達しているのではないかと推測される。

3.3 戦後の歩み

1952年に航空機工業が再開されてから現在に至るまでの68年間の歩みについては、参考文献1.8)(第2章2項)で時系列に詳述しているので、ここでは、要点のみを以下に述べる。尚、再開までの7年間は、GHQによって航空機に関係する一切の活動が徹底的に禁止された時代で、よく「空白の7年間」と言われる。この期間が現在主流のジェット機の発達時期と重なっていたので、再開後の日本にとって相応のハンディキャップになったのは事実である。

特に、YS-11輸送機などの国内開発において多くの苦労があった。しかし、再開後68年も経た現在にあって、主要先進国に大きく差をつけられてしまっている主な要因として「空白の7年間」を挙げるのは適切ではないと考える。主な要因は、本節3)項で述べる“1980年代半ばから2000年代半ば”にかけてのほぼ20年間の日本における「低迷の時代」の存在と、3.4節「ドイツとの比較」で述べている取り組み方の違いにあると考えられる。

1) 自衛隊機のライセンス国産（1952～現在）

航空機生産の再開は、機体構造、エンジン、装備品を米国メーカーからのライセンスによって生産することからスタートさせたと言ってよい。ライセンス生産の機会はだんだんと減ってきてはいるが、現在に至るまで続いている。特に、エンジンや装備品については、機体が国産開発機であっても、ライセンス生産に頼ってきているケースが多く見受けられる。

ライセンス国産からのスタートは、戦後の空白によって生じた米英仏やソ連との差を埋めるための止むを得ない選択であったと言えるだろう。また、当時航空最先進国であった米国の新しい生産技術や品質管理手法の導入に貢献したことも評価しなければならない。ただ、問題は、戦後70年以上も経過した現在もライセンス体質から脱却できていない面が見受けられることである。

2) 自衛隊機と民間機の国内開発（1956～現在）

ライセンス生産の開始に数年遅れる形で国内開発がスタートした。本格的な国内開発は、自衛隊機ではT-1ジェット練習機、民間機ではYS-11輸送機の開発・製造で幕を開け、現在に至っている。大きな特色としては、自衛隊機が大多数を占め、民間機はYS-11輸送機と小型機4機種（MU-2、FA-200、MU-300、ホンダジェット）のみという点である。もう一つの特色は、ほとんどが固定翼機であり、回転翼機が少ないという点である。

特筆すべきは、航空機生産再開4年目の1956年には、早くもエンジンも国内開発のT-1ジェット練習機の開発に富士重工業（現スバル）が着手し、また、5年後の1957年には世界水準の民間輸送機YS-11の開発に輸送機設計研究会（後に国策会社の日本航空機製造）が乗り出したことである。更に付け加えれば、これらの機体は技術的に成功をおさめている。従い、この時点で戦後

の空白によるハンディキャップを少なくとも技術的にはかなり取り戻したと言える。続いて開発された三菱重工の MU-2 ビジネス機（1963 年初飛行）、MU-300 ビジネスジェット（1978 年初飛行）や富士重工の FA-200 軽飛行機（1965 年初飛行）も技術的には高く評価されている。

自衛隊機も、上述 T-1 ジェット練習機の国内開発を皮切りに、新明和工業の対潜飛行艇 PS-1（1967 年初飛行）、日本航空機製造/川崎重工の輸送機 C-1（1970 年初飛行）、三菱重工の超音速練習機 T-2（1971 年初飛行）の国内開発が目白押しに続いた。その後、主なプログラムとしては、三菱重工の支援戦闘機 F-1（1975 年初飛行）、川崎重工の T-4 ジェット練習機（1985 年初飛行）、新明和工業の救難飛行艇 US-2（2003 年初飛行）、川崎重工の哨戒機 P-1（2007 年初飛行）、輸送機 C-2（2010 年初飛行）の国内開発が断続的に続き現在に至っている。尚、自衛隊機におけるライセンス国産と国内開発のプログラム比率はほぼ半々である。

以上の国内開発機におけるエンジン/プロペラと各種装備品の調達形態はどうであったのかをまとめると、独自開発、ライセンス生産、輸入の 3 ケースに分かれる。エンジンについては、独自開発の実績は少なく、T-1 ジェット練習機用、T-4 ジェット練習機用、OH-1 観測ヘリコプター用、哨戒機 P-1 用、ホンダジェット用（最終的には GE との共同開発の形態を採用）の 5 回のみである。残りのプログラムのエンジン/プロペラはライセンス生産か輸入である。装備品の方は、エンジン/プロペラに比較すると、独自開発の比率は大きくなっているが、ライセンス生産や輸入に依存しているケースも多く見受けられる。国内開発機の場合、ほぼ独自開発で対応できる装備品は、油圧、操縦、降着システムなど各種システムの構成機器に限られる。

3) 国際共同開発プログラムへの参画（1978～現在）

(1) 機体構造（1978～）

世界の航空機工業界では、巨大化する事業リスクを分散するとともに市場の確保・拡大を狙って、国際共同開発が大きな趨勢になってきた。この大きな流れは、完成機だけでなく、エンジンや装備品である各種システムにまで及んでいる。日本もこのような流れに乗り、主要な例では、Boeing767、続いて Boeing 777、そして Boeing 787 のプログラムにパートナーとして参画してきた。日本航空機開発協会を窓口として「機体 5 社」が開発段階から参画し、生産分担比率も、機体構造部位の 15%→21%→35%と大きくなってきている。また、各機体メーカーが単独で海外の完成機メーカーのプログラムに参画した例も多く見受けられる^{1.6)}。これらの海外プログラム向け売上げが近年では「機体」の売上高の 60%以上を占めている（図 3.1、図 3.2 参照）。

共同開発という視点で言えば、ボーイングプログラムの場合、初期の段階から日本の多くのエンジニアが同社の設計チームに参加するなどの形で、一緒に開発作業に従事したのは事実であるが、開発の主導権を握ったわけではないので、実態はボーイング社の下請負生産企業のポジションに近いと言える。

(2) エンジン（1984～）

日本が初めて国際共同開発に加わったエンジンプログラムは、日英米独伊（後に日英米独）のエンジンメーカーが参画した V2500 プロジェクトである。各国のエンジンメーカーは、英:Rolls-Royce、米:P&W、独:MTU である。日本側は、エンジン 3 社が協力して設立した日本航空機エンジン協会が取りまとめを行ない、シェア 23%を担った^{3.9)}。プログラムの推進母体として合弁会社 IAE International Aero Engines が設立され、各国のエンジニアが共同開発作業に加わり貴重な経験を得た。V2500 エンジンの標準型と派生型は A320 シリーズと MD-90 シリーズの機体に

期待通り採用された結果、好調な売れ行きを示し、合弁会社設立 33 年を超えた 2016 年には 7,000 台目のエンジンを搭載した A320 シリーズが納入されるまでに至っている^{3.9)}。

V2500 プロジェクトに引き続き、前述日本航空機エンジン協会を通じて国際共同開発事業に参画したプロジェクトとしては、リージョナルジェット用 CF34 エンジン、Boeing 787 用エンジン (Trent1000、GEnx)、A320neo シリーズ用 PW1100G-JM エンジン、MC-21 用 PW1400G-JM エンジンを挙げることができる。

日本側のシェアとしては、CF34 : 30%、Trent 1000 : 15.5%、GEnx : 15%、PW1100G/PW1400G : 23%である^{3.9)}。また、各エンジンメーカーが単独で海外の完成エンジンメーカーのプログラムに参画した例も多く見受けられる^{1.6)}。これらの海外プログラム向け売り上げが近年では「エンジン」の売上高の 80%以上を占めている (図 3.1、図 3.2 参照)。

共同開発と言う視点で言えば、V2500 プロジェクトのケースで各国のエンジンメーカーと対等な関係に近いポジションを得たかも知れないが、他のエンジンプロジェクトの場合は完成エンジンメーカーである GE、Rolls-Royce、Pratt & Whitney の下請負生産企業のポジションに近いのが実態である。

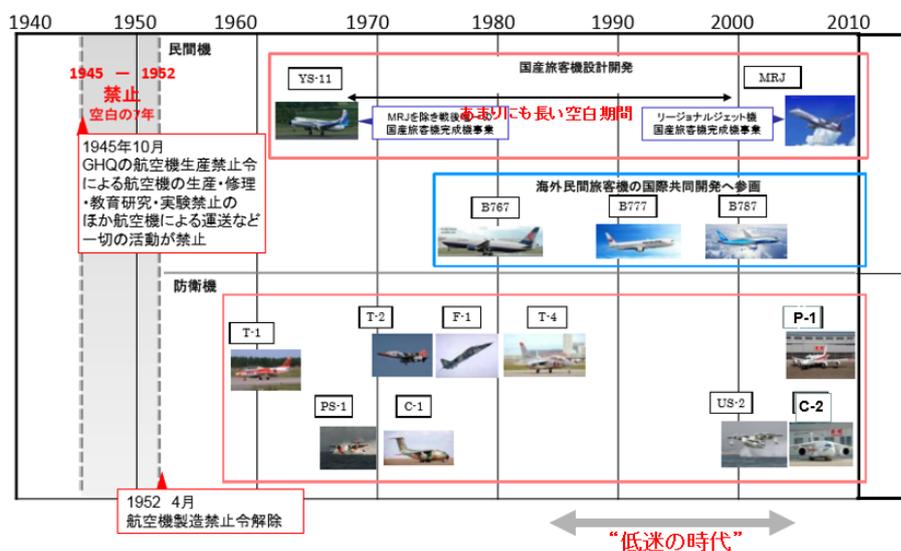
(3) 装備品 (1978~)

前述の Boeing 767 プログラム及び V2500 プロジェクトを契機に、両プログラムが日本国政府の後押しを受けたプロジェクトということもあって、これらの機体やエンジン用の装備品 (主に機器レベル) を多く受注した。このことが、日本の装備品メーカーの海外プログラム参画の一種端緒になったと言ってもよい。但し、この時点では装備品自体の国際共同開発ではなく、あくまでも単独での開発・生産が殆どである。システムレベルの装備品を海外の装備品メーカーと共同開発する状況が現出してきたのは、その後のプロジェクトにおいてである。代表的な例としては、ナブテスコの Boeing 777 用操縦システムや住友精密工業の CRJ700/900 用降着システムを挙げることができる。また、海外進出に意欲を有する装備品メーカーが単独で海外の完成機メーカーや完成エンジンメーカーのプログラムに参画した例も多く見受けられるようになってきた^{1.6)}。このような点で、最も実績を出したきた代表的な装備品メーカー名を挙げれば、Panasonic Avionics とジャムコであり、この両社は現在、売上高で世界の航空宇宙工業会における Top 100 の企業に入るまでに成長している^{3.6)}。

航空機工業の成長の牽引力とも言われる完成機の開発に焦点を絞ると、戦後の主な歴史は図 3.4 に示すようになる。図から読み取れる主な事柄を列挙すると、以下の通りである。

- ① 航空機工業の再開が認められてからの立ち上がりが素早かったのは事実である。なぜならば、再開後 10 年足らずの間に、自衛隊向け各種機種のライセンス国産と併行して、T-1 ジェット練習機、YS-11 輸送機、PS-1 対潜飛行艇、MU-2 ビジネス機、FA-200 軽飛行機の国産開発を始めたからである。
- ② 民間旅客機の開発が、YS-11 輸送機 (1957 年設計開始) と現在の Mitsubishi Space Jet (略称: MSJ、2008 年開発開始) の両プロジェクト間で、半世紀も間が空いてしまったことである。MSJ の開発で苦戦を強いられている最大要因が経験不足であると、開発主体の三菱航空機自身も表明しているが、その根本原因はこの半世紀にも及ぶあまりにも長い空白期間にある。詳細は、5.4.2 節で後述する。
- ③ 1980 年代半ばから 2000 年代半ばにかけてのほぼ 20 年間は、T-4 ジェット練習機を最後に哨戒

機 P-1、輸送機 C-2 の開発に至るまで、それぞれの初飛行が 1985 年、2007 年、2010 年であったことを考えると、開発面では空白であったと言える。尚、図中の US-2 救難飛行艇は US-1 救難飛行艇の改良開発であったので、ここでは議論の対象外としている。この 20 年間に Boeing 767、777、787 の国際共同開発プログラムが存在したという反論があるかも知れないが、これらのプログラムは既に述べたように、日本側が主導権を握ったものではなく、実態としてはボーイングの下請負生産企業のポジションに近い状態であった。完成機の開発作業の範囲は、企画、設計（概念設計、基本設計、詳細設計など）、試作（調達と生産）、TC 取得作業（各種地上試験、飛行試験など）、カスタマー・サポート態勢の構築であるが、これらの全作業に対等なパートナーとして参画しなければ、本当の意味での共同開発ということにはならない。ここで、TC とは Type Certification の略で型式証明のことである。Boeing 767、777、787 プロジェクトの場合には、ボーイング主導のもとで「設計」作業、「試作」作業、「型式証明取得作業」の一部をサポートしただけだったからである。この間、エンジニアを始め関係者は得難い経験と大変な苦勞をしてはいる。しかし、上述の 20 年間は「ほぼ下請負生産の枠組み」にとどまった状況から、この 20 年間の戦後の航空機開発における「低迷の時代」として位置付けることとする。



(注1) 小型民間機(MU-2, FA-200, MU-300, ホンダジェット)開発の記載は省略
(注2) ヘリコプター(BK117, OH-1)開発の記載は省略

(出所：文部科学省「戦略的次世代航空機研究開発ビジョン」^{3,8)}をもとに作成)

図3.4 戦後の主な航空機開発の歴史

3.4 ドイツとの比較

最初に、ドイツと比較をする理由について述べると、航空機工業の再開時点では日本と多くの共通点が存在したからである。しかも、ドイツ（正確には西ドイツ）は再開時日本以上のハンディキャップを背負っていた。しかるに、既に 3.2 節で述べたように、そのドイツに日本は今や大きく水をあけられてしまっている。従って、ドイツの歩みや取組みなどと比較・検証することは、日本の航空機工業の振興策を検討する上で極めて有用と考えられる。日本とドイツの共通点は、参考文献 1.9) でも述

べたが、再録すると次の通りである。尚、戦後の航空機工業についてドイツとの比較を詳細に行った分析結果は知見しない。

- ① 戦前・戦中は世界のトップレベルの工業国 — 航空機工業では質量ともに
- ② 第二次世界大戦の敗戦国
- ③ 戦後の空白期間がある（日本：7年、ドイツ：10年）
- ④ 航空機生産はライセンス国産からスタート
- ⑤ 民主主義、自由経済、資本主義国家（国家体制が同一）
- ⑥ 科学・技術立国を標榜

次に、ドイツが背負っていた日本以上のハンディキャップは、空白期間が日本より3年長かったことと、1990年まで戦後45年間の長きにわたり分裂国家であったことの二つである。分裂国家の時代には、首都ベルリンは東西に分断され、ライプツィヒやドレスデンなどの有力な商工業都市も東ドイツに属していたのである。

航空機生産は日本と同様にライセンス生産からスタートしている。また、その後の立ち上がりが素早かったのも日本と同様である。特に、東西冷戦下にあつて NATO 諸国向け含む各種軍用機用プログラムに恵まれたお蔭で、1970年代前半には日本を追い越し、図 3.5（1）に示すように 1991年には一旦ピークを迎えるに至っている。

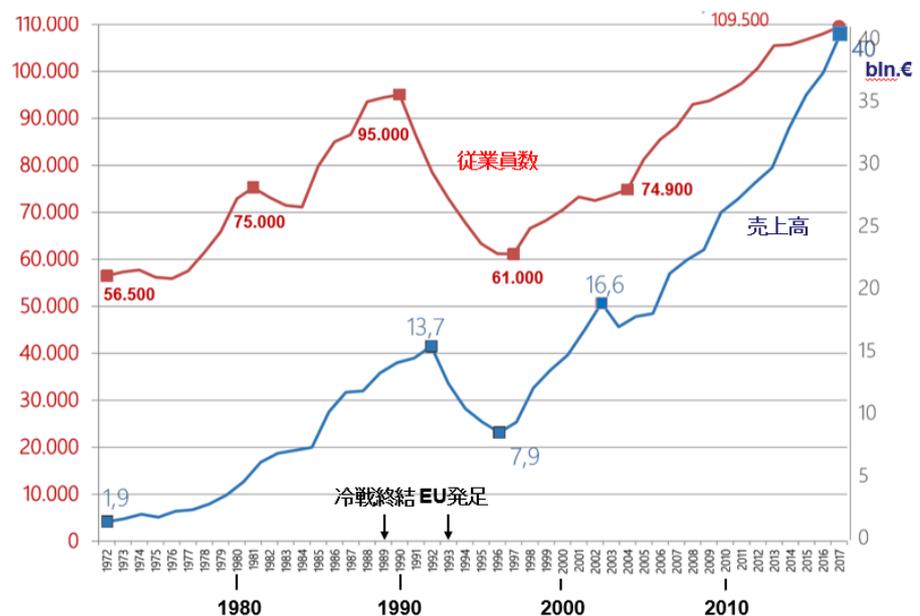


図3.5(1) 航空宇宙工業売上高推移 — ドイツの場合^{3.10)}

この間の主な施策は、参考文献 3.3)（第2章第2節）に記述されているが、要約すると、以下の通りである。

- ① 連邦政府や州政府が企業に資金援助を行う。
- ② ヨーロッパ域内の国際共同化を推し進める。例えば：
 - ・ 民間機だけでなく軍用機も国際共同開発・生産を行う。
 - ・ 飛行機だけでなくヘリコプターからエンジンまでを対象とする。
 - ・ フランスと組んでエアバスを設立する（1970年）。

- ③ メーカーの徹底的な集約・統合を図る。
- ④ 戦闘機を含む軍用機のヨーロッパ域外輸出を行う。

尚、1991年の時点で、ドイツの航空宇宙工業の規模は日本の1兆1,600億円（年度単位）^{1.6)}に対し、為替（円、ユーロ、マルク）変動の問題もあって正確な評価は難しいが、仮に€=120円とすると、ほぼ1兆6,440億円となり1.4倍程度のレベルにまで達したことになる。ちなみに、日本では上述のような施策は殆ど実施されなかったと言ってよい。

冷戦終結（1989年）後は、軍事予算の減少により1991年をピークに売上高は減少をし続け、1995年には日本とほぼ同レベルまでになったが、その後一転して増加局面に入り現在までその状態が続いている。1995年以降の売上高推移を、日独比較の形で図3.5(2)に示す。尚、図ではドイツの売上高は上下に変動しているように見えるが、これは為替レートの影響を受けているためで、実際には（自国通貨のユーロ表示では）四角の枠内に示すように右肩上がりの増加を示している。これ（四角の枠内）は2005-2014年の間の表示であるが、その前の10年間（1995-2004年）でもまったく同様に右肩上がりである。結局、日独売上高の格差拡大は1995年頃から始まり現在まで続いていることが分かる。

〔注〕本論文では航空機工業に焦点を当てているにもかかわらず、本節は宇宙工業も含めた航空宇宙工業のデータを用いて議論を進めている。その理由は、航空と宇宙に切り分けたデータがドイツ側で見当たらないからである。宇宙工業の売上高を比較してみると、日本の場合は2017年（年度ではあるが）に3,572億円である^{1.6)}のに対し、ドイツの場合は3bln. €^{3.10)}とほぼ同額であり、また、宇宙工業売上高の航空宇宙工業全体に占める割合も小さい（日本：17%、ドイツ：8%）。しかも、宇宙工業の場合は、その性格上売上高は従来国家予算に支配されてきたので変動は少ない。従って、航空と宇宙の合算額でもって、日独両国の航空機工業の大勢をほぼ判断できると考えてよい。

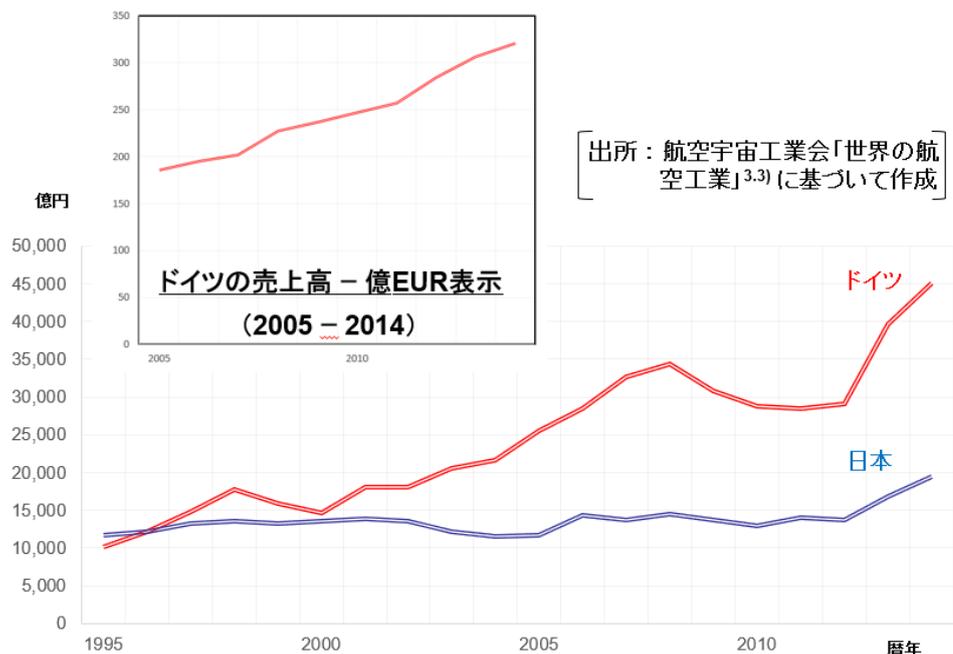
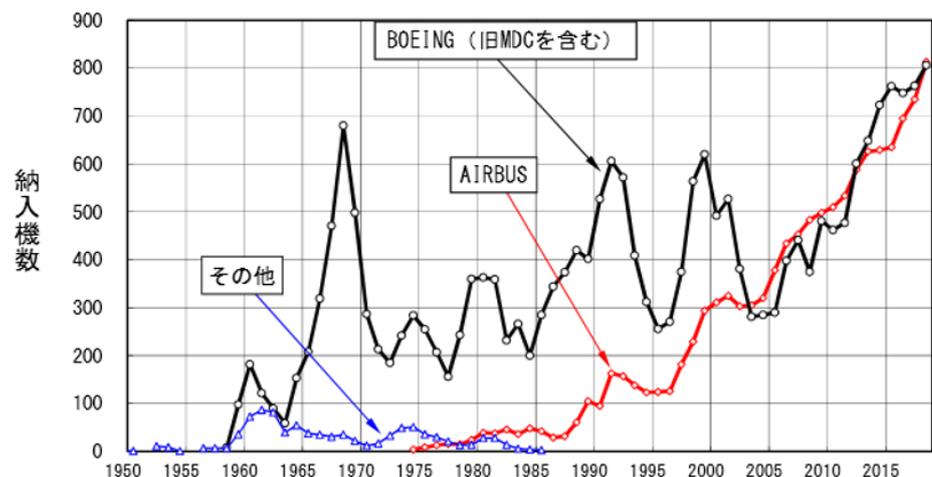


図3.5(2) 航空宇宙工業売上高推移 - 日独比較

以下、ドイツの航空宇宙工業売上高の 1995 年以降の推移について日本との対比も交えながら考察してみる。軍事予算の縮減が底を付き、民間航空機市場の成長環境下で、前述の諸施策が効いて、1995 年以降 2017 年までの 22 年間はほぼ一貫して右肩上がりの成長を記録した。この間にほぼ 5 倍の規模まで大きくなっている（図 3.5 参照、7.9 bln. € → 40 bln. €）。施策の中でもエアバス効果がとりわけ大きいと考えられる。図 3.6 で、エアバスの年間納入機数の推移をボーイングと対比して示すと、ドイツの売上高とエアバスの納入機数の増加がおおよそ連動していることがそのことを裏付けている。一方で、日本側のその間の増加比率は、ほぼ 1.8 倍である（1995 年度：11,437 億円 → 2017 年度：20,946 億円^{1.6)}）。ドイツの増加率 5 倍に対し、日本の増加率 1.8 倍でありその差は大きい。既に〔注〕で述べたように、宇宙工業の売上高は両国ともほぼ同額でありしかも毎年の変動が少ないので、この増加率の大きな差は航空機工業にあると言ってよい。



(出所：日本航空機開発協会「航空機関連データ」^{3.1)})

図3.6 年間納入機数の推移—Boeing vs. Airbus

エアバスは周知のように、1970年にフランスとドイツ（当時は西ドイツ）による企業連合として設立され、その後、1971年にスペイン、1979年にイギリスがフルパートナーとして参画し、その時点で出資比率（概数）は仏 38%、独 38%、英 20%、スペイン 4%となった^{3.3)}。その後、組織、機構、株主構成などについて種々の変化はあったが、各国の生産比率は当初の出資比率に近年まで概ね連動してきている。ただ、2008年より中国の天津で A320 ファミリーの最終組立工場を、2015年よりアメリカのアラバマ州でやはり A320 ファミリーの最終組立工場を稼働したので、生産活動の一部が中国やアメリカに移転されることになり、その結果、ドイツを含むヨーロッパ側の生産比率が若干減少している。

このような訳で、ドイツはエアバスを通じて、フランスと並ぶ 2 大パートナー国として、生産高の面ではエアバスの全売上高の 30 数%レベルで関与しているのである。また、完成機ビジネスにおいても、開発作業を含め、すべての作業にも加わり、更にはエアバスが手掛ける全プログラムにも軍用機も含めて当然のことながら参画しているのである。

日本も、1995 年対比 2017 年の増加率は 1.8 倍で、その間なだらかではあるが概ね増加している。その最大要因はボーイングプログラムの存在 (Boeing 777、787) である。このような背景を踏まえ、

売上高においてドイツに差を付けられた決定的な要因を完成機レベルで整理してみると、次の通りである。

- ・ドイツはエアバスの全プログラムに参画しているのに対し、日本はボーイングの特定のプログラムに参画するにとどまっている。
- ・日本はドイツのように域内諸国（アジア諸国）との共同開発プログラムを今まで持っていない（現実には諸々の事情により困難ではあったが）。
- ・最も売れ筋の細胴機プログラム（Boeing 737 シリーズ、Airbus A320 ファミリー、ジェット輸送機市場における販売額シェア：44%^{1.9)}）に日本は殆ど参画できていない。
- ・ドイツとは異なり、輸出用軍用機ビジネスには一切かかわっていない。

とりわけ、ドイツとの対比において、日本の低成長を決定付けたのは細胴機プログラム（具体的には Boeing 737 シリーズ）に参画できなかったことである。但し、機会が無かった訳ではない。参考文献 1.9)（第 2 話）で経緯を述べているように、1980 年に検討が開始された「YXX 計画」（日本独自の 150 席級プログラム）のことである。その後、アメリカ側の強い働きかけにより、1984 年にボーイングとの共同開発の「7J7 計画」に変わり覚書まで交わしたが、同時にボーイング主導のプログラムになってしまった。更にその後、ボーイングは、原油価格の下落と市況の悪化を主な理由にして、新技術採用の新型機 7J7 よりも、従来機である 737 シリーズの派生型を先行して開発することを決め、1993 年には覚書を「当面締結」することになり、以後派生型シリーズの市場投入が続いて現在に至っている。覚書凍結の段階で、当然日本側は派生型シリーズへの参画を求めたが、従来機の派生型であるが故に日本のメーカーの参加余地は殆ど無いとされた。結局、日本はアメリカに梯子を外されたような状態になったのである。結果論かも知れないが、覚書凍結の時点で、日本主導の「YXX 計画」（単独、或いは国際共同開発）を再開する覚悟を日本はアメリカに示すべきだったと考える。

3.5 克服を要する課題

ここまで述べてきたように、日本の航空機工業は主要先進国（米英仏独加）と比べて、規模の面で大きく差を付けられている。特に、同じ第二次世界大戦の敗戦国で、しかも日本以上にハンディキャップを付与されたドイツにまで、現在では差を付けられてしまっている。「空白の 7 年間」を何時までも理由にするわけにはいかなくなっているのである。日本の航空機工業の成長を阻害してきた理由が別にあると考えるのが妥当である。そこで、本節では成長の阻害要因が何であったかを考察する。それらが、すなわち日本が克服を要する課題なのである。これらの課題については、既に参考文献 1.9) で詳しく述べたので、ここでは要点のみを以下に述べる。また、モノ作り（航空機工業）を対象を絞って述べる。

1) 「航空機工業を将来の基幹産業に位置付ける」国家戦略と強い意志に欠けている。

民間機では、YS-11 輸送機を納入開始（1964 年）以来僅か 7 年後に赤字を理由に開発母体の国策会社日本航空機製造の解散を表明したことや、防衛機では、アメリカの圧力にたびたび屈して不本意な調達方式に転じたこと（代表例：対潜哨戒機 PXL→P3C ライセンス国産へ、F2 戦闘機→F16 を母機とした日米共同開発へ）に象徴されている。

エアバスの場合、最初の輸送機 A300 の納入開始（1974 年）以来膨大な赤字に苦しみ、ヒットシリーズとなる A320 シリーズの納入を 1988 年に開始して経営が好転するまで 15 年以上の長きに

わたり、仏独両政府が全面的な援助を行なったのとは大違いである。また、防衛機の場合も、詳述は避けるが、英仏独では日本と大きく異なりほぼ自国の意に合う調達方式を続けてきている。

結局、日本には国益をバックボーンにした判断の基準が存在しないのである。具体的なプログラムを目の前にして、その都度、独自開発、国際共同開発（主導権有無で2ケースに分かれる）、ライセンス国産、輸入かの議論が利権がらみで繰り返されるのはそのためである。議論を単純化すれば、優先度としては前述の順番とし、そこへ実現性、コストなどの議論を加えて最終決定するように方針を定めてしまえばよいと考える。

2) 省庁縦割りの弊害が解消されていない。

航空機工業に関係する省庁は、経済産業省（産業振興）、国土交通省（安全確保）、文部科学省（研究開発と教育）、防衛省（防衛達成）である。カッコ内は主な役割である。止むを得ない役割分担ではあるが、政策のベクトル合わせや連携などの面で種々障害が存在するのも事実である。結局司令塔になるような存在が無いことに帰する。

3) 日本主導のプログラムがあまりにも少ない。

3.3節で既に述べたように、1980年半ばから2000年代半ばまでのほぼ20年間、日本は完成機の開発面では主導するプログラムが無かったという異常な状態を招いてしまったのである。この後遺症が生産高の面で今に尾を引いている。2000年代に入って漸く日本主導のプログラムとして哨戒機P-1、輸送機C-2の開発がなされ、また、YS-11輸送機以来半世紀ぶりにリージョナルジェットMSJの開発が2008年に開始されて現在に至っている。

完成エンジンについても、1980年代半ばから日本が開発に主体的に関わったプログラムは、民間用では国際共同開発のV2500プロジェクトと、防衛用では哨戒機P-1用XF7-10ターボファン・エンジンのみである。

このように1980年代半ば以降現在に至るまで、完成機と完成エンジンの日本主導の開発プログラムはあまりにも少なく、主要先進国と比べても大きく見劣りがする。また、完成ヘリコプターの開発プログラムも無い。

4) 完成機開発プログラムなどの支援スキームができていない。

民間用の完成機の開発には、長期の開発期間、巨額の開発費、巨大な累積投資額、投資回収の長期化、開発・生産継続断念などの諸リスクが避けられない。このことは、現在開発に苦戦を続けてきているリージョナルジェットMSJの状況を観察しても明らかである。MSJの場合には、母体が巨大企業（三菱重工業）といえども、その経営の屋台骨を揺るがしているほどである。開発経験豊かなボンバルディアもCSシリーズに巨額の開発費を投じざるを得なかったことが大きな要因の一つとなって、今や航空機事業の一種バラ売りに転じている事実も象徴的である。MSJやCSシリーズよりも一クラス上の機体で最も売れ筋の細胴機の開発に挑戦しようとするれば、最早民間の一企業だけでは困難である。或いは、国内の複数企業が組んでも民間だけの資金力では難しいと言ってもよい状況にある。このような状況は、細胴機用完成エンジンの開発の場合も、スケールは少し小さくなるかも知れないが、同様であると言える。

国家支援の代表事例として、後発であったエアバスが長年にわたって仏独両政府の強力な支援を受けたこと、ボーイングやエアバスに並ぶ民間旅客機メーカーを目指して細胴機、広胴機を開発を進めているCOMAC（中国）やスホーイ（ロシア）は国有企業として政府の強力な後押しを受けていること、が挙げられる。

日本の場合、欧米の巨大メーカー（ボーイング、GE など）主導の完成機や完成エンジンのプログラムに国際共同開発の形で参画するのであれば、既に国の支援スキームも確立しているが、日本が主導して（或いは、単独で）開発を進めるケースの支援スキームは未だ整備されていない。但し、国の支援は WTO（World Trade Organization：世界貿易機関）の協定に抵触する可能性が大なので、対応策が求められる。

5) 教育・啓蒙・研究体制が不十分である。

航空機工業の重要性、特に日本にとっての重要性について、多くの日本国民はあまりにも無関心である。国民の理解と後押しが無いと、一部の人たちがいくら頑張っても、航空機工業の振興につながっていかない。航空機工業に関心を持って欲しい政治家にとっても、選挙の際の票に結び付かない。最近問題視されているパイロット不足、整備士不足にしても一因は航空の道に進もうと考える若い人たちが少ないことにある。自家用操縦士の資格を有する人たちが主要先進国に比べて一桁以上少ない^{1.9)}のも同様の理由による。学校教育において、簡単でもよいので、航空機の魅力と航空機工業の重要性や将来性について触れるようにすることが望まれるが、現実異なる。

航空機に関する国内最大の研究組織は宇宙航空研究開発機構（JAXA）であるが、その規模（2019年度予算：1,872億円、人員：1,546名）^{3.11)}は主要先進国と比較して明らかに小さく、しかも大部分が宇宙を対象としている。技術の進展は歴史的に航空→宇宙の順であるため、航空の方が宇宙よりも成熟度が高いのは自然ではあるものの、航空分野にもまだまだ多くの研究開発課題が残っているのが実情である。

6) 型式証明審査体制が弱く、民活精神も乏しい。

日本は、国際民間航空条約（通称シカゴ条約）に基づき設置された ICAO（International Civil Aviation Organization：国際民間航空機関）加盟国として、新しく開発される航空機やエンジンに対して、設計が耐空性基準と環境基準に適合しているかを、開発過程を通じて審査しなければならない。すなわち、国は耐空性基準と環境基準に適合していることの証明（正確には、型式証明）を行なう責任を有している。対空性基準が安全性などの向上のために、事故調査などの結果を反映して頻繁に改定されることも開発関係者にとっては対応しなければならず、労力が大きくなる。

リージョナルジェット MSJ の TC 取得が遅れに遅れている最も大きな要因は、旅客機の新規開発が YS-11 輸送機以来半世紀ぶりであることによる官民の関係者の経験不足である。官側の主役として審査作業を担うのは、国土交通省航空局であるが、MSJ の審査業務は航空局に FAA が一種重なる形で行われている（詳細は、5.3.1 節で述べる）。この状況は、経験不足を補うための止むを得ない措置ではあるが、同時に日本側の審査態勢の弱さを象徴的に示している。

MSJ の開発を機に審査体制の強化を図るため、航空局は要員（航空機検査員）の増強も図った^{3.12)}が、募集に際して年齢制限をかけたので、実質的にはそれほどベテランではなく経験に乏しい要員が主体になったのも反省点である。なぜ、開発経験の豊富な民間企業出身のベテラン（或いはシニア）を、場合によっては囑託のような形でも採用しなかったのだろうか。或いは、米国のように民間人（航空機的设计開発業務や品質保証業務に長年従事した人たち）に審査代行資格を与える制度^{1.8)}の導入をこの機会に行わなかったのだろうかという疑問もある。

ここまで審査側の課題について記述したが、TC を取得するメーカー（MSJ で言えば、三菱航空

機)側にも経験不足を補うための方策について大きな反省点がある。基準を、頻繁に改定されてきている内容も含め、適合していることを証明するための完璧な方策をメーカーとして提示しなければならないが、このような能力は民間航空機の開発経験者でないと十分には持ち得ない。従って、MSJの場合について言えば、プロジェクトの初期段階から開発経験者(具体的には、欧米のエンジニア)を要所に配置すべきだったということになる。

7) 企業の集約・統合など航空機工業界の再編が進んでいない。

主要先進国との比較において、日本の航空機工業界は大きな問題点を二つ持っていると言える。第一点は航空機産業の再開後68年も経過したのに未だにプレイヤーが殆ど変わっていないこと、第二点は集約・統合が進んでいないこと、である。通常は、どの産業界においても、競争環境下で経営上の最適解を求めて離合集散を含む変化が繰り返されるものであるが、日本にはそのようなダイナミズムが存在していなかったのである。

また、特に機体メーカーとエンジンメーカーに言えることであるが、「機体5社」、「エンジン3社」体制が未だに維持されていて、主要先進国や航空大国を目指している中国やロシアで進んでいる企業の集約・統合がなされていない。このような状況は装備品メーカーにおいても、一部例外を除いてほぼ同様である。

とりわけ、機体メーカーが5社、エンジンメーカーが3社の現状は明らかに多過ぎる。「ヒト、モノ、カネ」のリソースが分散しているのは、今後世界的な競争を生き残っていく上で得策ではない。打開策の検討と具体化が必要である。

8) 装備品メーカーと金属材料メーカーが弱すぎる。

図3.7に民間旅客機のコスト内訳のイメージを示している^{3,4)}が、最大セグメントは機体構造でもエンジンでもなく装備品である。一つひとつの装備品の価格は機体構造やエンジン本体に比べて格段に小さい値であるが、1機当たり最大で4,000種類にもなると言われる膨大な数の機器が存在するので、全装備品の合計金額が大きなウェイトを占めることになる。民間旅客機の場合には通常全機コストの40%以上を占める。このような最大セグメントである装備品分野において、海外市場で活躍できている日本の装備品メーカーはPanasonic Avionics、ジャムコ、ナブテスコ、住友精密工業、多摩川精機ぐらいであろうか(製品については、表3.3参照)。

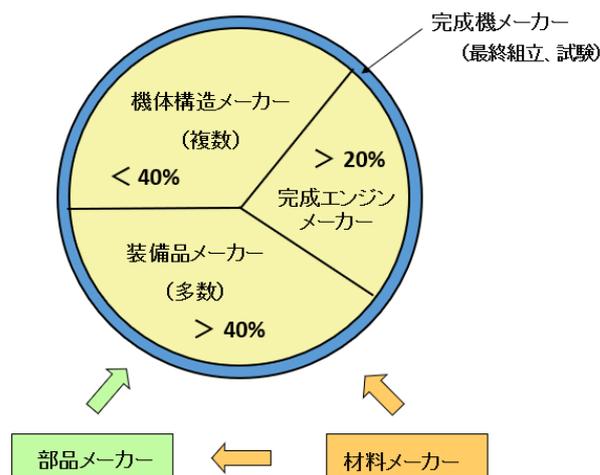


図3.7 民間旅客機(ジェットエンジン搭載)コスト内訳 - イメージ

各社の航空宇宙部門の年間売上高にしても、500億円を超えているのは、Panasonic Avionicsとジャムコの内装品メーカーのみである。この両社はTop 100 Aerospace Companies入りを果たしている^{3,6)}が、両社以外はまだまだの規模であり、欧米の装備品メーカーに比べて劣る。また、世界市場に参入を果たせていない分野が多いのも弱さの大きな要因である(例:燃料、電源、与圧・空調、航法・表示システム)。

金属材料についても、主要材料であるアルミ合金とチタン合金は価格差が大きな要因となって大半を輸入に依存している。最近主要材料として頭角を現してきた CFRP では日本の繊維メーカー3社で圧倒的な世界シェアを占めているのは大きな違いである。

9) 日本主催の国際航空宇宙見本市はあまりにも規模、内容などで劣る。

世界の主な国際航空宇宙見本市との具体的な比較を参考文献 1.9) (第九話) で示したが、主要先進国などと比べて規模、内容などで劣る。特に開催頻度 (基本4年間隔)、実機展示・デモ飛行無し、政府トップ参加無しなどが是正を要する点である。国際航空宇宙見本市は、各国の威信と航空宇宙に対する意気込みを示す重要な場と位置付けられているが、現状では「お座なり」的な催しであると世界の関係者に印象付けられ、日本の本気度が疑われても止むを得ない状態と言える。

尚、筆者は参考文献 1.9) (第9話) で、「防衛用航空機の輸出を自粛しているのは日本だけ」として克服を要する課題の一つに挙げたが、従来大きなしほりであった「武器輸出三原則」に代わって「防衛装備移転三原則」が2014年に策定され、適切な歯止めを条件に輸出等の緩和策が採られたので、近い将来その成果が出てくるものと期待している。ただ、航空機産業振興を目的とした防衛予算の増額ではなく、純粋に日本の安全保障上の観点から現在の予算規模と内訳や使い方について抜本的な見直しを行うことは必要であると考え (詳細は第4章参照)。

3.6 まとめ

本章では、日本の航空機工業界の現状を分析し、戦後の歩みについて確認し、更にドイツとの比較を行うことによって、克服を要する課題を抽出した。要点のみをまとめると以下の通りである。

第一に、日本の航空機工業が抱える現在の大きな問題点とその理由を述べると、以下の通りである。

- ① 主要先進国 (米英仏独加) に比べて大きく差をつけられている。
- ② その最大の理由は、「空白の7年間」にあるのではなく、1980年代半ばから2000年代半ばまでの「低迷の時代」にある。(この20年間、国際共同開発のもとに実態は下請負に近い状態に甘んじ、真の開発を殆ど手掛けなかったことが大きく影響している。)
- ③ ドイツと比較すれば、明白であるが、振興のための施策の差が大きく起因している。

第二に、今後克服を要する課題を列举すると、以下の通りである。

- ① 国家戦略と強い意志を欠如している。
- ② 省庁縦割りの弊害が解消されていない。
- ③ 日本主導のプログラムが少ない。
- ④ 完成機開発プログラムなどの支援スキームができていない。
- ⑤ 教育・啓蒙・研究体制が不十分である。
- ⑥ 型式証明審査体制が弱くと民活精神も乏しい。
- ⑦ 企業の集約・統合が進んでいない。
- ⑧ 装備品メーカーと金属材料メーカーが進んでいない。
- ⑨ 日本主催の国際航空宇宙見本市が規模、内容などで劣っている。

第4章 日本の航空機工業の振興策

4.1 はじめに

本章では、本論文の最大目的である航空機工業の振興策についてまとめる。前章まで縷々述べてきた内容を踏まえて、特に3.5節で記述した多くの課題に対する解決策を考えることによって、日本の航空機工業の振興につながる諸施策を提言する。内容的には、参考文献1.9) (第九話)でも詳しく述べたが、対象を航空機工業に絞り、まとめる。

航空機工業の振興策について言及した文献は幾つか存在する(例: 参考文献1.1)、1.2)、1.3)、1.4)、1.5)、1.6)、1.7))。先行研究かどうかという点では、参考文献1.8)の公表が2012年12月なので、参考文献1.1)と1.2)が先行研究例として位置付けられる。先ず、ここでの提案と最近の参考文献1.3)~1.7)までを含めたすべての文献を比較してみると、ここでの提案は航空機工業界全体を俯瞰した総合的で具体的な振興策を詳細に提示している。

次に、先行文献との比較においては、参考文献1.1)では、振興施策を網羅しようと試みているので、結果として本論文と重なる部分もある。具体的には、後述の表4.2を参照しながら述べると、1項、2項の一部、3項の一部、4項と少し重なる。また、2項の範疇に入るが、超音速機の開発の実現を強く主張しているのが特徴である。参考文献1.2)では、編集委員会の性格上当然ではあるが、科学技術に焦点を当てた内容になっている。参考文献1.3)では、1.3.3節「日本の航空機産業の方向性」において、今後の方向性を3つ提示している。ここでも、表4.2を参照しながら述べると、2項および7項の一部と重なっているが、内容は概念の提示に止めている。

先行研究とは言えないが、参考までに、最近の他の文献についても論評することにする。参考文献1.4)では、表4.1の2項に該当する提案で、完成機市場の取り込みとボーイング社との新型機共同開発及び生産機能の誘致を主張している。前者は、MSJを通じてとしているので、事実上事業の凍結が発表された今(2020年10月)となつては説得力を欠くと言わざるを得ない。後者は、興味ある提案であるが、開発・生産・販売・サービスという完成機プログラム全体の共同作業を対象にはせず、開発・生産に止めているので、結局はボーイングとフル・パートナーにはなれず、開発・生産における対等性も確保が難しくなるであろう。現行のボーイングとの協働の枠組みを打ち破ることにはならない。

参考文献1.5)では、第VI章において、表4.2の7項に少し重なる提案(装備品メーカーの強化)や全体としてIOT重視の提言をしているが、具体策の面では充分ではない。ただ、防衛関連需要の拡大と、環境対策の面からバイオ燃料について訴えているのは注目される。参考文献1.6)では、第3章、第1節の「課題と展望」において、日本の航空機工業の将来像について言及している。妥当な内容であると考えられるが、記述が短く抽象的で、具体策には踏み込んでいない。

参考文献1.7)は2020年6月に発行された最も新しい文献で、諸施策を網羅しており表4.2と项目的にもかなり重なっている。よくまとまった内容でもある。ただ、日本航空宇宙学会から発行という性格上自然なことかも知れないが、アカデミックな色彩が強く、政策を正すような表現や産業界に対するコメントが少ないように見える。

参考文献1.1)~1.7)との比較において、本論文における目新しい主張は、「WTO紛争対策」、「民活の促進」、「メーカーの集約・統合」、「防衛予算の在り方」、「国際航空宇宙見本市の充実」である。防衛

予算については、拡大ありきで主張しているのではなく、近隣諸国の動向を考慮して自国防衛に必要な予算はどうあるべきかを考えるべきだと述べている。

4.2 詳細な振興策

1) 国家方針を明確にする。

(1) 成長戦略に明示する。

政府の成長戦略の中に航空機産業を具体的に織り込む。

(2) 航空基本法を制定する。

航空機産業振興に関する理念、目標、政策を定めた「航空基本法」を制定する。また、政策の立案と推進、各省間調整に権限と責任を持つ**航空機産業振興本部**を司令塔として設け、本部長に内閣総理大臣、副本部長に内閣官房長官と**特命担当大臣**、本部員に関係する各省の大臣を当てる。助言や監視機能などを持つ**航空機産業振興委員会**の設置も定める。

本提言の最大の狙いは、航空機産業振興に関する国家戦略と強い意志を明確にするとともに、各省縦割りの弊害も解消するところにある。尚、提言の航空基本法は2008年に制定された宇宙基本法をなぞったものである。

〔注〕航空と宇宙は、歴史的にも技術的にも兄弟のような関係（兄：航空、弟：宇宙）にある。

航空宇宙（Aerospace）という言葉に象徴されるように、同じ組織体で活動を行っている場合が多い（例：大学、研究機関、企業）。また、活動目的を共にするケースもある（例：安全保障）。ただ、両者の最も大きな違いは、航空機産業の方が宇宙産業に比べて、規模と関係者が圧倒的に多い点である。このように見てくると、宇宙基本法が存在するのに、航空基本法が存在しない理由を説明するのが難しい。

(3) 関係機関を強化する。

内閣府に航空機産業振興本部を設けることと、経済産業省製造産業局内の「航空機武器宇宙産業課」の局への格上げと「航空機産業課」の新設、宇宙航空研究開発機構の航空技術部門の増強（要員、予算）が求められる。航空機の「安全確保」を主務とする役所が局（国土交通省航空局）であるのに対し、相方である航空機の「産業振興」を担う役所が課のままであるのもバランスが悪いことである。

2) 完成機プログラムを立ち上げる。

図2.1の「完成機」の下に「Driving Force for Growth」と記しているが、これは完成機が成長の牽引力という意味である。図2.1は経済産業省の講演スライドを参考にして作成したものであり、「Driving Force for Growth」と記述したのも同省なので、経済産業省自身も認めているところである。もう少し詳しく言えば、この場合の「完成機」とは完成機プログラムが存在していることである。「完成エンジン」の場合もほぼ同様に考えてよい。いずれにしろ、日本主導の完成機プログラム、或いは完成エンジンプログラムの存在していることが、航空機工業全体の成長を牽引するという意味合いである。

ここで、主導とは、単独開発を行なう、或いは、国際共同開発においてフル・パートナーの立場を確保するという意味を示している。「フル・パートナー」とは、完成機（或いは、完成エンジン）プログラムのすべてに権限と責任を有する立場で、具体的には事業遂行上必要な全作業（企

画、設計、試作、TC 取得、カスタマー・サポート態勢の構築) に主体的にかかわる存在である。調達においても主導権を握ることになるので、国内諸サプライヤーの受注環境が著しく良くなる。別の言葉で言えば、「地元有利」と言うべきか国内諸サプライヤーにとって受け皿が大きくなるのである。特に、日本の課題である装備品メーカーの強化に有効に作用する。

(1) 細胴機プログラムの立上げ

最も売れ筋の細胴機プログラム(ジェット輸送機市場における販売額シェア:44%^{1.9)})を日本主導で立上げる提案である。既に3.4節でも述べたように、ドイツとの差を決定付けたのは、細胴機プログラムに対する参画の有無である。

細胴機のベストセラーは、Boeing 737 シリーズで、総生産数は累計 10,000 機以上に達している。Boeing 737 は 1968 年の納入以来改良を重ねてきて、半世紀以上の長きにわたり販売されている。しかし、最新型の 737MAX の二度にわたる墜落事故(2018 年、2019 年)により 2020 年 1 月には生産停止に追い込まれ、ボーイングの経営に大きな影を落としている。技術革新の速い現代にあつて、「半世紀以上」は改良型の生産を続ける期間としてはあまりにも長期に過ぎるのではないか。また、737 MAX でも改良(最新型エンジン LEAP-1B エンジンに換装など)だけで製品寿命を延ばそうと考えたところに安易に流れたきらいがあつたと考えられる。事故対策として姿勢制御システムの改善で対応すると報道されている^{4.1)}が、いよいよ新型機の開発を検討すべき時期に来ていると見るべきであろう。

また、ボーイングは、2020 年初頭発生 of 新型コロナウイルスの影響を受けての減産(777、787)、737MAX 事故対策費の発生などを受けて資金面でも苦境に陥っている^{4.2)}。最近発表されたエンブラエルとの経営統合中止、次世代型輸送機 NMA(細胴機 737 と広胴機 787 の間のサイズ)開発計画の断念などが資金難の事象として表れている。

細胴機の日本単独開発は技術的には可能ではあるが、巨額の開発費、難度の高い TC 取得作業、販路の確保などを考慮した場合、フル・パートナーの立場を維持しながら、開発経験のある欧米の完成機メーカーとの国際共同開発を模索し具体化することが妥当であろう。相手方パートナーとしては、ボーイングを第一候補に考えることが、長年の交流や米国との関係を考えると自然である。しかも、上述したように、Boeing 737 シリーズが限界に来ていると思われることやボーイングの財政事情を念頭に入れると、共同開発を打診するタイミングとしては今(2021 年)が適しているように考えられる。

ここで、教訓とすべきは、かつて日本が細胴機プログラムを立ち上げようとした試み(1980 年:「YXX 計画」)が、1984 年には米国の圧力により「7J7 計画」に変貌し、1993 年に至って凍結され、結局 737 シリーズ派生型の開発に落ち着いた経緯である。日本主導で細胴機プログラムを立ち上げることが望まれる。

ここで忘れてならないのは、次世代の細胴機は電動化航空機になるという点であり、電動化に必要な要素技術(バッテリー、モーター、インバーターなどに関係する技術)と軽量化に必要な複合材技術では、日本のメーカーは世界のリーダー的存在なのである。この優位性を活かしながら国際共同開発におけるフル・パートナーのポジションを目指してボーイングと(続いてはエアバスと)交渉をするのがよいと考える。

ボーイングが(もしくはエアバスが)上述共同開発の打診に乗ってこなければ、正面衝突を避けるために、コンセプトの異なる細胴機(例えば、最近伸長著しい LCC)に特化した仕様で、ア

アジア諸国と組んで開発するようなアイデアもあると考える。筆者は、細胴機の日本主導による開発に早く取りかかることが航空機工業の振興に最も重要と考えられるので、プログラムの具体化に備え、本論文では特に章を設けて（第5章）、プログラムを成功させるための要件について詳述する。

完成エンジンについても細胴機用エンジンプログラムを立ち上げることを強く提案する。細胴機プログラムに開発スケジュール面で最初からの搭載が間に合わないようであれば、途中から換装する考え方でもよい。その場合には、後述の次世代ステルス戦闘機用エンジンが必要推力から考えてコアエンジンとなり得る（戦闘機開発のシナジー効果でもある）。また、エンジンは、海外の細胴機プログラムに対しても搭載を提案できるので、数量増を狙い得る。

（2）ヘリコプタープログラムの立上げ

日本は世界有数のヘリコプター（民間用及び公用）の保有国にもかかわらず殆どを輸入に頼っている。唯一の例外である汎用ヘリコプターBK117や、防衛用ではあるがOH-1 観測ヘリコプターの開発実績で技術面は実証済みなので、国内市場は当然のこと、海外市場も視野に入れたプログラムを立ち上げるべき時期にきていると考える。開発費やリスクは細胴機に比べて格段に小さくなるので、日本単独のプログラムとしてもよいが、ボーイング偏重となっている日本の航空機工業界の現状を踏まえ戦略的に考えて、BK117 プログラムでフル・パートナーとして組んだ実績を重視する意味で、エアバスと対等に組むことを考えてもよいのではなかろうか。潜在顧客と想定用途は多岐にわたるので、できるだけ多くのニーズに対応できる汎用ヘリコプターが良いのではないか。現在国内の各種顧客がそれぞれの仕様で調達しているヘリコプターの後継機として位置付けられるようなヘリコプタープログラムを計画するのである。

（3）次世代ステルス戦闘機開発の具体化

2020年度予算が成立した結果、航空自衛隊の次期戦闘機の開発が確定し、2020年4月1日付けで防衛装備庁に次期戦闘機を担当する装備開発官が新設された。報道^{4.3)}によれば、退役するF-2戦闘機の後継となる次期戦闘機的设计や契約の実務を担う専属チームが新設される。チームは前述の装備開発官をトップに航空自衛官や技官ら30人で構成され、2020年末までに米英両国との共同開発や技術協力の枠組みを決める方針だとのことである。この流れは、参考文献1.9)（第九話）で述べているように日本主導の開発なので好ましいことではあるが、今後政治的な面も含め紆余曲折があるだろうことは想定される。コストも大事ではあるが、開発に必要な技術力は既に有しているので、防衛力の完璧な遂行と日本の民生分野への技術的・経済的な波及効果を考えて、最後まで日本主導を貫いて欲しい。F-2（F-16を母機とした日米共同開発）やF35A（完成機輸入）の教訓を活かして、間違っても日本に主導権の無い開発や完成機輸入に方向転換をしてはならない。

本プログラムにおいて肝要なことは、エンジンも共に独自開発すべきだということである。なぜならば、次期戦闘機に求められる高運動性を実現するためには推力偏向機構やIFPC（Integrated Flight Propulsion Control：飛行とエンジンの統合制御）が必須であり、機体側とエンジンを切り離して開発を進めるのは現実的ではないからである。2016年4月22日初飛行に成功した先進技術実証機X-2の開発においても、機体側の主役である三菱重工業とエンジン側の主役であるIHIの両社が防衛省の指揮のもとに協力し一体となって開発を進めてきた経緯を重要視すべきである。加えて、大事なことは（1）項で述べたように、細胴機プログラ

ム用完成エンジンの開発にも技術的に貢献するということである。

3) 支援策を強化する。

(1) 完成機プログラム支援スキームの策定

細胴機や広胴機のような民間輸送機の新規開発を、実績を持たない民間企業が資金調達なども含め自身の力だけで遂行するのはもはや現実的ではない。このことは、細胴機より一回り小さいリージョナルジェット機 MSJ の開発が遅れている状況を鑑みても容易に想像が付き。実際、今まで生き残ってきた民間輸送機メーカーの多くは、長い歴史を有するボーイングを除いて、国家主導で国有会社（或いは、それに近い形態の組織）として設立され、民営化を経て発展してきている。その代表例がエアバスでありエンブラエルである。中国の民間輸送機メーカーである COMAC や、ロシアの完成機メーカー（スホーイの親会社）も実質的には国有企業である。また、ボーイングにしても、買収したマクドナルド・ダグラスなどの企業を含めて、長い歴史（1916年創業）の中で軍用機の開発・生産を通じて膨大な資金援助を受けて国から支えられてきた経緯がある。

結局、細胴機や広胴機の新規開発に乗り出そうとすれば、日本の場合も国家主導にならざるを得ない。細胴機を例に考えてみる。国内機体メーカーなどが出資する合弁会社を設立し国も数千億円規模の資金援助をするか、または、国が最大の出資者となる国有会社を発足させるかである。国の負担額は、民間企業の負担額や、国際共同開発の場合には海外パートナーの負担額で決まってくる。国に対する返済は、合弁会社方式の場合には累積損失解消後に配当還元を行い、国有会社の場合には事業見通しを得た後に完全民営化を行なう形が考えられる。但し、いずれの場合も事業の継続を断念せざるを得なかった場合は累積損失額を回収できずに終わることになってしまう。

支援策の強化には、ナショナル・プロジェクトであることを明確に示し、海外でも先例の多い国有会社でスタートするのがよいと考えられる。この場合、YS-11 輸送機の開発母体であった日本航空機製造と同様の形態になるが、失敗の経験を教訓として活かす必要がある。特に重要な点は、国有会社であっても「親方日の丸」意識を徹底的に排除し民間主導の運営になるよう仕組み造りを行なうことである。また、スタッフは民間企業からの出向者を主体にすることが肝要である。特に開発要員については、MSJ 経験者を重点的に活用すべきである。また、細胴機用完成エンジンプログラムについても、同様な取組みで臨むことを提言する。

(2) 助成メニューの充実と研究開発投資の増大

民間用の航空機（完成機）、機体構造、エンジン、装備品などの開発・生産・販売に対して、国及び地方自治体は、財政、金融、税制、規制緩和の観点からあらゆる種類の公的支援策を用意しておく必要がある。具体的には、資本投入、補助金、融資、貿易保険、輸出税緩和、優遇税制、工場立地緩和、利子補給など多くの支援形態を、国と地方自治体が役割分担をしながら実行できるように、助成メニューを整備しておかなければならない。また、最近日本でも力を付けてきているリース会社を買取り保証をすることも、完成機プログラムなどに対しては、強力な支援策になる。

研究開発投資の増大も欠くことができない。主に次世代航空機（含超音速旅客機）に必要な要素技術（対象：機体、エンジン、装備品、材料）に関する研究開発を実行できる態勢の確立とインフラの整備である。すべて要員の手当てと予算の裏付けを必要とする。受け皿は、主に JAXA

になるが、産学との連携も一層促進できるように考慮すべきだろう。

インフラ面で最大の整備対象は試験設備である。重要かつ高額な試験設備（例：各種大型風洞、エンジン試験設備、電磁両立性試験設備、大型高速ダイナモーターなど）を JAXA に導入し、必要とする民間企業も利用している方式を採るのである。JAXA が中心になって進める研究開発に役立つだけでなく、民間企業の方も設備投資額と償却費の両面で負担の大きい試験設備の重荷から解放されるのである。

（3）WTO 紛争対策の事前検討

ここまで述べてきた支援策を将来実行した場合、WTO の協定に抵触するとして海外の競争相手から提訴されるリスクがある。本協定は 1995 年の WTO 発足と同時に効力を発揮したが、その精神は「国の支援が本来競争力のない企業の参入や存続を許し、国際市場の競争を歪曲する」のを防止することにあるとされているからである^{4.4)}。この協定によれば、民間航空機プログラムに対する国家資本の導入や公的支援も規制されることになる。

しかし、既に（1）項で述べたように、細胴機や広胴機のような民間機を新規に開発する場合、巨額の開発費や設備投資などが必要で、しかも回収に要する期間は納入開始後 10 年を大きく超えると考えられるので、民間企業だけでは資金的に対応できず、実績の無い後発メーカーにとってはどうしても公的支援が必要になる。しかし、国家資本の導入や公的支援を実行しようとするれば、現 WTO の協定に違反することになる。

また、視点を変えると、1995 年の WTO 発足以前に地歩を固めた先発メーカーにとっては既得権的地位を保証する協定でもあるとも言える。加えて、後発メーカーの新規参入を抑制して国際市場における競争を制限しているという見方もできる。

WTO 発足時期を基準に考えると、ボーイング、エアバス、エンブラエルは先発メーカーであり、COMAC、スホーイ、三菱航空機は明らかに後発メーカーである。また、COMAC、スホーイは実質的に国有企業であり、三菱航空機は 500 億円ほどの政府助成を受けているとされている^{4.5)}。まだ、3 社とも WTO 提訴を受けていないが、シェアを高めてきたときにどのような展開が出現するのか予測が付き難い。

日本も、MSJ の政府助成に対する WTO 提訴（既に、最大の競合メーカーであるエンブラエルを抱えるブラジル政府が WTO 協定に抵触する可能性を問う姿勢を見せている）の対抗策を含め、紛争対策を検討しておく必要がある。理論武装を行なって堂々と論陣を張れるように準備しておくのは勿論のこと、先発メーカーに対していまだに続いている国家支援を対象に逆提訴することや、細胴機クラス以上の民間航空機の新規開発における国家資本の導入や公的支援の妥当性を前提にした新しいルールの策定を提案することが必須であろう。WTO の理念を尊重する一方で、既得権の存在も許さないで新しいプレイヤーの出現にも道を拓くような公正なルールを改めて策定することが、最も必要であると考えられる。

また、WTO 紛争対策について政治的観点から言えば、細胴機クラス以上の民間航空機の新規開発については、日本単独ではなく、フル・パートナーの立場を維持しつつも国際共同開発を選択する方が、仲間の国が存在することになるので賢明のように考えられる。更に言えば、開発母体を国有会社方式にする方が、先行する中国やロシア（両国とも WTO 加盟国）と同様の方式になるので、紛争対策上得策になるだろう。

4) 教育・啓蒙活動を充実する。

民主主義国家で議員内閣制を採用している日本では、政治の主役は、国民の投票によって選ばれた国会議員である。国会議員こそが政党を動かし、内閣を作り上げて国の方向性や施策を最終的に決める力を有する最も重要な存在である。官僚はサポートする立場にある。従って、航空機工業を含む航空機産業の将来も国民が選んだ国会議員に委ねられている。

日本の航空機工業の現実、既に述べたように主要先進国に大きく差を付けられ、新興国の中国、ロシア、ブラジルにも追い付かれ、そして追い抜かれつつある。最大要因は、政治が力を発揮せず、官僚任せ、民間任せになってしまっているところにある。これでは、抜本的な手が打たれず、現状の改善程度にとどまってしまうのは止むを得ない。国会議員が航空機産業の振興に対してあまり熱心でないのはなぜだろうか。その理由は、熱心に取り組んでもマスメディアなどに取り上げられることもなく、結果、選挙の際の票にもつながらないからである。では、なぜ票につながらないのだろうか、それは多くの国民の関心事ではないからである。ホンダジェット、MSJ、或いはブルーインパルスなどの記事や映像は多くの人たちの関心をその都度引くのではあるが、航空機産業振興の重要性の認識にまでは至らず、一過性の興味本位の表面的な話だけにとどまってしまう。このような国民の関心の薄さは、結局義務教育段階における教育内容に行き着くと考えられる。

3.5 節の5) 項で述べたパイロットや整備士の不足問題と自家用操縦士の極端な少なさも問題の本質は同根である。なぜならば、航空機の魅力や航空機産業の重要性と将来性について、学校では殆ど触れることがないので憧れの対象にもならず、その結果、航空の道を目指す若い人たちが少ないという帰結になってくる。多くの出版社の人たちから耳にしたことであるが、航空機に関する書籍は、マニア向けを除いては、一般には売れないのが出版業界の定説で、これも多くの国民が関心を持っていないという表れではないだろうか。

教育や啓蒙はそれらの効果が出てくるまで時間を要するが、結局は「急がば回れ」である。日本の将来を考えて地道に取り組んでいく必要がある。学習指導要綱を見直して、航空機と航空機産業に触れるよう義務付けてはどうか。模型飛行機の製作、エアラインや航空機工場の見学なども教育内容の必須事項として織り込んでいくべきである。

5) 航空局の型式証明審査体制を強化する。

(1) 審査体制のレベルアップ

3.5 節の6) 項で指摘したように、日本の審査能力はMSJの開発が開始される前までは明らかに低かったが、開発過程における審査業務を通じて今では相当に高くなってきているのではないかと推測される。しかし、まだまだ十分なレベルには達していないとも考えられる。レベルアップの方策は、審査対象になる民間航空機プログラム（完成機、完成エンジン）の数を増やすことである。MSJの審査業務を通じて得た経験を次のプログラムに活かすことが審査体制のレベルアップになり、望ましい姿である。

しかし、次の民間航空機プログラムの出現を待つことなく実行すべきことがある。それは、先行する米欧の審査機関FAAやEASAと徹底的に人的交流を図るのである。具体的には、要員（特に航空機検査官）の長期出向をFAAやEASAに受け入れてもらい、先方の審査業務に従事させるのである。既に、出向、研修や打合せを通じて交流を図っているが、もっと大規模で計画的なものにするのである。長期間職場を同じくすることによって、実戦を通じたレベルアップは勿

論のこと、人脈の構築や相互の信頼感の醸成につながることを期待できる。早く FAA や EASA と同じレベルに追い付くことを目指すのである。このことは、完成機や完成エンジンの輸出を可能にするためには常に相手国側の審査機関の TC 取得を必要とするが、その際に極めて有効に作用することになる。日本は、航空主要国（米、EU、カナダ、ブラジル）と BASA (Bilateral Aviation Safety Agreement : 相互承認協定) の完全な締結を目指しているが、カナダを除いては未だ満足すべき状態に至っていない。完全な締結の促進は、BASA の大きな目的である輸出相手国による重複作業を避け、できるだけ書類審査にもっていくために重要である。

また、官民人事交流制度を積極的に活用して、航空機検査官を完成機メーカーや完成エンジンメーカーに計画的に派遣して、設計開発や品質保証業務の実際を学ばせることも、開発の実務を知ることにつながり、審査業務のスピードアップに非常に有効である。

(2) 民活の促進

近年、国土交通省航空局においても、国の審査や検査の一部、または全部を民間に委任して代行を認める制度を整備してきている。その具体例が認定事業場制度である^{4,6)}。現在認定事業場として認められているのは、三菱航空機、三菱重工業、川崎重工業、スバルの4社である。しかし、まだまだ民活が十分ではないと考えられる。理由は、個人のレベルまで、更にはベテラン（含シニア）活用のレベルにまで至っていないからである。

型式証明に係わる審査の主な対象は、設計（図面、計算書、解析書など）、各種試験、各種検査、品質管理体制なので、内容を最もよく分かっているのはメーカーで経験を重ねたエンジニアである。この人たちの経験を活かさないことは日本の損失である。アメリカでは、この趣旨に基づいて、民間人で代行資格を有する DER (Designated Engineering Representative : 技術審査業務代理人)、DMIR (Designated Manufacturing Inspection Representative : 品質保証審査代理人) に FAA の審査業務を大幅に委ねている。この人たちの多くは、メーカーで長年設計開発や品質保証業務に携わってきた経験者である。彼らは、開発段階で職場をともにしながら、図面や書類のレビュー、試験や検査の立会いなどの審査業務を行う。開発業務に精通した言わばプロフェッショナルが実働部隊と日常的に接していることになるので、審査のレベルと作業効率を高める点で非常に有効である。日本の場合は、航空局の航空機検査官が殆どの審査業務を直接実施することが多いので、アメリカとは異なっている。尚、アメリカでは、対象が自社の製品に限定される Company DER と制限のない Consultant DER の2種類がある。また、DMIR についても、厳密には、メーカーに雇用された検査員と、役割は同じであるが、自社製品に限られない DAR (Designated Airworthiness Representative) の2種類がある。

日本でも、**日本版 DER、DMIR 制度の導入**が必要であろう。特に、Consultant DER や DAR の活用が特に重要である。豊富な経験を有する人たちに注目して活用すべしと主張する理由は、審査側が受審側よりも知識や経験不足ではかえって開発遅延の要因になりかねないことに加え、肝心の「安全性確保」の大目的にもそぐわないからである。また、メーカー内で役職定年を迎えたベテランや経験豊富な退職者（シニア）の恰好な活用対象にもなるからでもある。政府が掲げる「一億総活躍」の方針にも合致する。官庁組織（この場合は、航空局）の肥大化を避けるとともに、民間でもできることは可能な限り民間に委ねる柔軟な考え方が求められていると考える。

ここで提案するのは、新規開発の完成機プログラム、完成エンジンプログラムに対応する国有企業方式と、そのほかのプログラムを含む航空宇宙事業に対する持ち分法適用の合弁会社方式の2本立てである。図式化すると、図4.1のようになる。

合弁会社は、従来のメーカーである出資各社の技術や設備を持ち寄って形成され、配当やロイヤルティの形で利益還元を行う。また、持ち分法適用であるから出資会社の連結決算にリンクされることになる。要員の異動は出向スタイルを採り、出資会社に戻ることも可能とする。技術面でも合弁会社で得た知見を出資会社にフィードバックして民生分野の事業にも活用できるようにする。

細胴機や広胴機のような事業規模の大きい民間輸送機プログラムを立ち上げる場合には、事業推進母体として国有会社を設立する。国際共同開発の場合には、海外企業のパートナーの立場になる。国有会社には、開発に必要な要員を両合弁会社から派遣し、生産は両合弁会社に委託する形となる。開発要員はMSJ経験者を重点的に活用する。図4.1は、完成機・機体構造事業を対象にしたものであるが、エンジン事業でも同じ考え方を採る。但し、エンジンの場合は、合弁会社は最初からエンジン3社を集約した一つでよいかも知れない。

数多く存在する装備品メーカーの集約・統合も難題である。なぜならば、日本の装備品メーカーは、一部の例外企業を除いて、世界の航空機市場ではあまりにも技術力や体力の面で弱体だからである。今まで防需に頼って歩んできた企業が多く、技術やコストの面で競争力を有していないからである。機体やエンジンの場合と同様に兼業メーカーが多いという事情もある。また、弱体な企業同士を結び付けても効果はたいして期待できない。装備品メーカーの集約・統合は、基本的には、次の7)項で後述のように個々の企業の強化を優先してから考えるべきことである。

7) 装備品メーカーと材料メーカーを強化する。

装備品メーカーについて、最大の強化策は日本主導の完成機プログラムや完成エンジンプログラムを立ち上げることである。日本主導であるが故に、比較的力のあるメーカーは勿論のこと、現在は弱体なメーカーであっても欧米の有力なメーカーと組む場面が共同開発、ライセンス生産などの形で出現するので、力を付ける機会を得るからである。しかし、日本主導のプログラムの出現を待っている訳にはいかないのだから、地道な方策としては、まずは、意欲を有しかつ世界市場で将来有力なメーカーになり得るポテンシャルを持っている企業を選抜し、重点的に様々な助成を行うことが有効と考える。例えば、研究開発、海外進出、海外メーカーとのタイアップ（国際共同開発、合弁会社設立、資本参加、M&Aなど）の面で後押しすることなどが助成策の候補として挙げられる。

装備品の多くは（標準品的な性格を有するTSO品目を除いて）カスタムメイド品である。筆者が米国の完成機メーカーの設計チームに参加して降着システムの基本設計業務に従事したときに繰り返し言われた印象深い以下の言葉がある^{4,7)}。“For the best aircraft, not for the best landing gear” ここで、landing gear（降着システム）を装備品に置き換えると、全ての装備品に通じる言葉である。つまり、部分最適ではなく全体最適を実現することが完成機メーカーや完成エンジンメーカーにとって望ましいことである。このことを真に理解し実現できる設計技術者が歓迎されるということでもある。このような状態を真に現出するためには、装備品が属する上位システムの完成機や完成エンジンに求められることを装備品メーカーの設計技術者がよく知っていなければならない。最も有効な方法は、装備品メーカーの設計技術者を内外の完成機メ

メーカーや完成エンジンメーカーの設計チームに派遣して経験させ学ばせることである。このような方策を国がバックアップし、また装備品メーカーにも努力を求めるべきである。

材料について強化対象となるのは、金属材料（特に、アルミ合金）メーカーである。海外の有力な材料メーカーとの差はひとえにコスト競争力の違いにあると言ってよい。質の面で高いレベルを求められる航空機材料が、小規模な国内市場に依存してきたがために少量生産を余儀なくされ、その結果生産体制の構築も不十分なままに推移してきたので、コスト高を招き受注量も少なくなるという悪循環に陥ったのが実態である。高い材料性能と品質を求められ難度の高いプロセスを必要とする航空機用材料に取り組むことは民生用材料に対する波及効果があることを材料メーカー自身が認識して自助努力を行うことも肝要であるが、同時に新しい材料の研究開発（例えば、産学共同開発や国際共同開発など）と生産量拡大につながる輸出活動の両面で強力にバックアップすることが何よりの強化策となる。振り返って見れば、航空機用材料は日進月歩の進化を続けてきている。航空機側のニーズをより満たす新しい材料が出現すれば、世界中の顧客から求められることになるからである。

8) 防衛用航空機生産基盤の維持・強化を図る。

(1) 防衛予算の見直し

日本の航空機工業売上高は民需と防需から成る（図 3.1 参照）。防需比率は近年 30%前後で推移し民需比率に劣るが、それでも防需は航空機工業の二本柱の一つである。しかし、航空機工業の規模を大きくしたいという理由で、防衛予算を増やそうということになっては本末転倒の議論であることは明白である。適正な防衛予算は、あくまでも国際情勢、なかんずく日本を取り巻く周辺国の情勢により決定すべき性格のものである。また、航空機に配分する予算も、戦闘能力、兵站、後方支援態勢、継戦能力などの面を総合的に検討して最も有効な方策のもとに決定すべきであろう。ただ、これから述べるように、日本の防衛予算は明らかに少なく、航空機に配分される予算も決して満足な状態ではないので、防衛予算の適正化が図られれば、航空機の売上高や生産基盤の維持・強化は後から自然と付いてくる。

表4.1 主要国の軍事費 - 2019年

ランク	国名	軍事費 (億ドル)	対GDP比率 (%)	周辺国の増減率 (2019 vs.2010)	備考
1	アメリカ	7,187	3.4	0.85	NATO加盟国
2	中国	2,664	1.9	2.31	実体は2倍以上か
3	インド	708	2.4	1.37	
4	ロシア	641	3.9	1.30	
5	サウジアラビア	625	8.0		
6	フランス	522	1.9		NATO加盟国
7	ドイツ	512	1.3		NATO加盟国
8	英国	499	1.8	1.02	NATO加盟国
9	日本	466	0.9	1.02	
10	韓国	463	2.6	1.36	
11	イタリア	280	2.7		NATO加盟国
12	ブラジル	280	1.5		
13	オーストラリア	274	1.9	1.23	
14	カナダ	223	1.3		
15	イスラエル	201	5.3		

適切な防衛予算は、前述のようにあくまでも相対的な観点から設定されるべきものである。他国の動向、とりわけ近隣国の動向を見ることが重要になる。表 4.2 に主要国の軍事費を示す。表と参考文献 4.8) から読み取れる主な状況を列挙すると、以下の通りである。

- ① 日本の防衛予算の規模は、世界第 9 位に位置する。
- ② 日本の防衛予算は、20 世紀中は漸増、21 世紀に入ってから横這いが続き、2014 年以降僅かではあるが増加の方向にある。
- ③ 日本の防衛予算の対 GDP 比率は、今まで 30 年にわたりほぼ「1% 枠」を維持しながら推移してきている。
- ④ アメリカの軍事費は、オバマ政権下で減少が続いたが、トランプ政権に代わってから若干増加傾向に転じている。
- ⑤ 日本の近隣国（中国、インド、ロシア、韓国、オーストラリア）の軍事費は大幅な増加傾向にある。また、韓国の軍事費は日本と肩を並べる規模まで増加してきている。
- ⑥ 特に、中国の軍事費の額と伸びは異常なほどである。

このように軍事費だけを見ても、日本を取り巻く安全保障環境が厳しさを増していることが分かる。何時までも「対 GDP 比率 1%」の枠を防衛予算の目安にすることを続けていて、安全保障上問題はないのだろうか。防衛予算とは、本来的にはときどきの防衛環境に合わせて柔軟に増減すべきものとする。現時点以降の近未来を考えたとき、必要最小限の抑止力と戦闘継続能力を保有するためには、最低幾らの防衛予算を必要とするのか、原点に帰って抜本的に検討すべきときがきていると認識する。日本の防衛を論じるときに「対 GDP 比率 1%」が一体どのような合理性や妥当性を有するのかという問いに答えを出さなければならない。

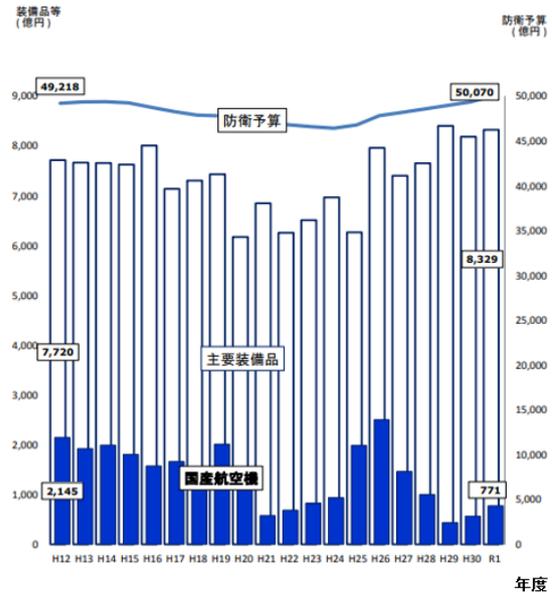
日本は、近隣諸国として、中国、ロシア、北朝鮮、韓国の 4 か国を有する。これらの国々の動向、とりわけ軍事動向に注意を払わなければならない。一方で、ヨーロッパの主要先進国である英仏独の 3 カ国は、地政学的に現在は潜在脅威国がほぼロシア一国であることと、NATO（北大西洋条約機構）加盟国として軍事同盟を結んでいるため軍事費も一種合算して捉えることができる。

にもかかわらず、それぞれが日本より 10% 程度上回る規模の軍事費を支出している事実には留意しなければならない。繰り返すが、日本に比べて安全保障面で圧倒的に恵まれていると言える英仏独の 3 カ国が、日本より多い軍事費を支出し、対 GDP 比率も大幅に上回った状態にあるのである。

日本は戦後日米安全保障条約のもとに軽武装路線を採用し経済発展をひたすら追求してきたが、そのような政策が果たして今後も通じるのか、疑問に思う時期に来ていると考える。日本の安全保障環境が悪化してきていること、唯一の同盟国であるアメリカの軍事力が相対的に弱くなってきていること、更には自国第一主義の傾向を強めていることなどを考慮する必要がある。安全が損なわれることになれば、経済も平和も失われるのが現実である

「自分の国は自分で守る」考えを持つことは、何時の時代にあっても絶対的な真実である。そのことを実現するための諸方策の中で、最も大事なものは必要な防衛力の構築と裏付けとなる防衛予算である。また、最近アメリカは NATO 諸国に対して、防衛費「対 GDP 比率 2%」支出の公約を履行するよう迫っている^{4.9)}が、日本に対しても同様に応分の負担増の要求を将来持ち出してくる可能性があることも考えておかなければならない。

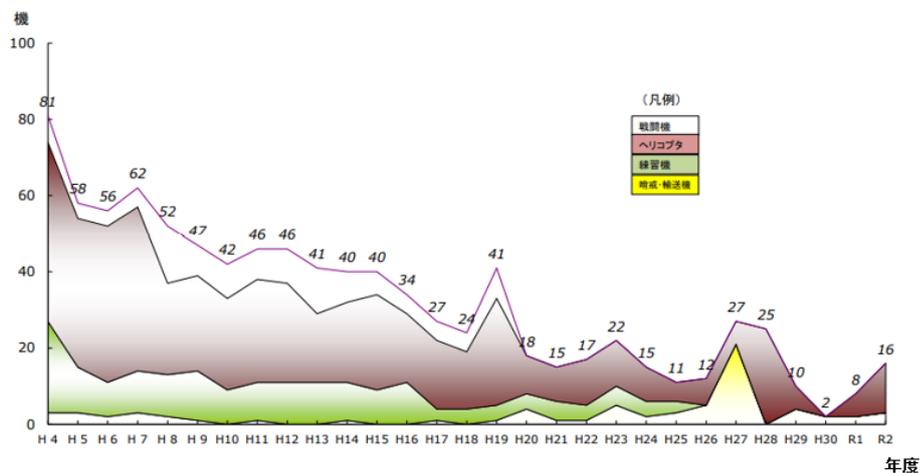
防衛用航空機に話を戻すと、近年は、防衛予算横ばいのなかで、人件費、整備維持費用などの増大が、航空機を含む主要装備品（武器・車両、航空機、艦船）の調達を圧迫している。防衛予算と主要装備品予算の推移を図 4.2 に示す。年毎に変動はあるが、主要装備品に要する費用は防衛予算の 20% 未満である。直近の令和元年度（2019 年度）では、17%（8,329 億円/50,070 億円）である。航空機に至っては、予算額は 771 億円である。



(出所：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」^{3.1)}

図 4.2 防衛予算と主要装備品予算の推移

図 4.3 に国産航空機の調達数推移を示す。ここ 3 年は、平均すると一桁の調達機数になっている（完成機メーカーが 4 社も存在するのに、新造機は月産 1 機にも満たないという危機的状況である）。諸事情はあるにしても、あたかも日本に航空機工業が存在しないかのような扱いである。このような状況が続けば、生産基盤の維持どころか崩壊につながりかねないと危惧される。重要装備品である航空機を僅かしか国産しないということは、有事の際の継戦能力欠如につながり、防衛上致命的な欠陥となる。国産の防衛用航空機の増産が求められる所以である。



(出所：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」^{3.1)}

図 4.3 国産航空機の調達数推移

(2) 防衛装備移転三原則に基づく振興—特に輸出の促進

新たな三原則に基づけば、一定の制約や歯止めのもとに、防衛用に開発された航空機や補用品となるエンジン、装備品、部品などの輸出や国際共同開発も基本的には認められることになる。具体化すれば、以下のような効果が期待できる。

- ① 生産額の増加
- ② 量産効果による防衛省の調達費の削減
- ③ 世界に通用するコスト意識の醸成
- ④ 国際共同開発による開発費の節減
- ⑤ 国際共同開発を通じた先端技術の習得
- ⑥ 同盟国、友好国との結び付きの強化

既に、政策変更の効果は、航空機分野でも具体的な案件の浮上などで出始めている^{4.10)}が、ここで重要なのは、防衛用航空機の運用者であり各国の防衛当局と人脈を有する防衛省の積極的な後押しである。上述の諸効果（特に、②、③、④、⑥）は防衛省のメリットにつながるという考え方が後押しのモチベーションになるであろう。一方で、新たな三原則に記述されている移転禁止対象の明確化や透明性の確保に努めなければならないのは、当然のことである。

9) 国際航空宇宙見本市に対する取り組みを充実する。

国際航空宇宙見本市に対する取り組み姿勢を根本的に改めるべきにきていると考える。内外各地で開催された見本市を観察してみると、日本側の対応は官民共に一言で言って「お粗末なまま」で推移してきていると言わざるを得ない。勿論強い意欲のもとに存在感を放っている少数の例外企業（例：Panasonic Avionics、ジャムコ、複数の有力な工作機械メーカーなど）も存在する。しかし、大多数の日本企業は、費用対効果を考えてのためだろうか、お付き合い程度の出展に終始しているように見える。ただ、上述の例外企業が世界市場において勝ち組であることは暗示的でもある。

個々の企業の出展については、企業の姿勢や諸事情に左右されるので、国の姿勢や意欲を問われる国内開催の見本市に対して少し是正点について述べる。国は、航空機産業を本気で成長させる方針を持っているのであれば、そして主要先進国のレベルまで追い付きたいと考えているのであれば、最低限の処置として開催頻度と開催場所を改めるべきである。開催間隔を4年から2年に短縮し、開催場所はデモ飛行が可能なように滑走路のある場所に変更すべきである。英仏独3カ国のように、国のトップの出席も必要である。現状では、ビジネスを目的とした海外からの出展社、来場者の数が少ないのが問題である。また、子供たちや学生を招待するなど未来の担い手の育成や航空文化の醸成に対する考慮も重要である。また、内外の見本市に出展する企業の費用と国内開催見本市の主催者の費用に対する助成も重要である。

4.3 振興策のまとめ

本章では、日本の航空機工業の振興策について研究した。得られた結果を簡単にまとめると、表 4.2 に示す通りである。各項目に対して、内訳と特記事項を整理してまとめている。

特に、注目したのは、「メーカーの集合・統合」に関する具体案である。とりわけ、図 4.1 に示した「機体メーカーの統合案と民間機用国有会社案」は、日本の航空機メーカーが強くなること、エンジニアが開発を多く経験できること、出身企業から出たままになるなどの不遇に遭遇しないこと、そして今後当たり前になる（と考えられる）国際共同開発の受け皿を用意することができることを考えて案出したものである。

表4.2 航空機工業振興策一覧

	項目	内訳	備考
1	国家方針の明確化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成長戦略に明示 ・ 航空基本法の制定 ・ 関係機関の強化 	司令塔を設けること
2	完成機プログラムの立上げ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細胴機、同左エンジン ・ ヘリコプター ・ 次世代ステルス戦闘機 	わが国主導であること エンジンも共に開発要
3	支援策の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新しい支援スキームの策定 ・ 助成メニューと研究開発投資 ・ WTO紛争対策の検討 	国有企業も選択肢
4	教育・啓蒙活動の充実		初等教育段階より実行
5	型式証明審査体制の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・ レベルアップ ・ 民活の促進 	日本版DER / DMIR制度
6	メーカーの集約・統合		特に、機体とエンジン
7	装備品 / 材料メーカーの強化		
8	防衛機生産基盤の維持・強化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防衛予算の抜本的見直し ・ 防衛装備移転三原則の遂行 	対GDP ≒ 1%の見直し 適正な歯止めが重要
9	国際航空宇宙見本市の充実		特に、開催頻度と場所

第5章 細胴機プログラムの開発を成功させるための要件

5.1 はじめに

わが国航空機工業の隆盛のためには、民間用完成機（特に細胴機）の日本主導による開発に早く取りかかることが必要と考えられる^{1.8), 1.9), 1.10)}。しかし、新型航空機開発プログラムの具体化が実現しても、成功裏に開発が進み、そしてビジネスとして利益を生まなければ、多くの人たちの期待を背負い、巨額の開発費を投入しただけに、その反動は無視し得ないものとなる。

近年のわが国の新型航空機開発プログラムを振り返ると、当初計画の開発完了時期に対する遅れだけを取り上げても、ホンダジェットやリージョナルジェット MSJ だけでなく、自衛隊向けの哨戒機 P-1 や輸送機 C-2 も考察の対象となる。また、言うまでもないが、航空機プログラムの成功要件は当初計画の**開発期間**の達成に加えて、当初に計画した**開発費**、**販売機数**、**累積販売利益**の実現が追加の成功要件と筆者らは考えている。これらの諸要件をすべて満足させることによって、初めて当初計画の時期に**損益分岐点**に至り当該プログラムは成功したと言え、次のプログラムにつながるのである。そこで、以降では**損益分岐点到達時期**をキーワードにして考察を行うことにする。

新型航空機開発プログラムの成功・不成功を論じる場合、開発期間、開発費、販売機数、累積販売利益という各要因、或いは損益分岐点到達時期について個々に考察した例^{1.3), 5.1), 5.2)}は過去に存在する。例えば、参考文献 1.3) においては、開発費と累積販売利益をベースに損益分岐点について言及している。特に累積販売利益を左右する販売価格とコストについて考察を行っている。参考文献 5.1) においては、開発期間や開発費に大きな影響を及ぼす TC 取得作業の難しさについて説明を行っている。また、参考文献 5.2) においては、開発期間や開発費について、主にエアバスの歴史を踏まえながら述べている。とりわけ、開発期間や開発費に大きく影響する TC 取得のハードルの高さや殆どの要因に影響を与える国策支援について事実に基づいて述べている。しかしながら、損益分岐点到達時期をキーワードに、損益分岐点到達時期を左右する要因を採り上げ、各要因を含めた相互の因果関係について整理したものは知見しない。また、各要因に対して影響を及ぼす要素について整理して述べたものも同様に知見しない。

ここで取り上げるのと同様のプロセスを用いてプログラムの成功・不成功を論じるのはどの分野においても有効と考えられるが、通常の民生分野の企業においては多くのプログラムが存在し、しかも開発期間と開発費は航空機に比べると桁違いに短く小さくなるので、このようなプロセスを用いた評価の必要性は小さくなる。一方で、新型民間航空機の開発の場合には、完成機メーカーにおいて経営上圧倒的に大きな部分を占めるプログラムとなり、その成功・不成功は企業の命運を左右しかねないほどのインパクトを有するので、ここで取り上げる評価は極めて重要であると考えられる。

また、考察の対象を完成機としているので、航空機というトータルシステムの開発に最終的な責任と権限を有する完成機メーカーを主役にした議論を展開する。

ここでは、住友精密工業の技術者として（或いは、出向・長期出張先の完成機メーカーの設計チームの要員として）C-1、MU-300、T-4、Gulfstream IV、Peregrine、A330 など内外の数多くの航空機開発プログラムに直接・間接に関与した経験と、住友精密工業と世界の航空宇宙防衛大手である BAE Systems との日英合弁事業の立上げと運営に経営者側の立場から関わった経験に基づくとともに、技術的な視点と技術経営の視点、それに加え、航空宇宙工学や経営工学的な視点から考察を加える。

5.2 「損益分岐点到達時期」に着目した新型民間旅客機開発事業の分析モデル

航空機の開発・生産と販売は言うまでもなく事業活動であるので、累積投資額を累積販売利益でもって回収すること（損益分岐点に到達すること）が最低限のこととして求められる。加えて、当初に計画していた時期までに損益分岐点に到達し、更に利益を計上し続けることができなければ、次の航空機プログラムの開発と販売に資金面から困難を招くことになるからである。出資者や融資先に迷惑を掛けることは言うまでもない。

図 5.1 に、「新型民間旅客機の開発に要する投資と回収のモデル」を示す。実線が計画通りの推移であるのに対し、破線が計画外れの推移の代表例を示している。すなわち、販売開始の遅れに伴う累積投資額の増加、販売機数や販売利益の見込み違いによる累積販売利益の減少を破線で表示している。例えば、「本プログラムの損益分岐点となる販売機数を当初 400 機と想定していたが、現時点の予測では 600 機と見込まれている」と言ったような表現がよくなされるが、この場合、400 機のケースが実線であるのに対し、600 機のケースが破線に相当する。

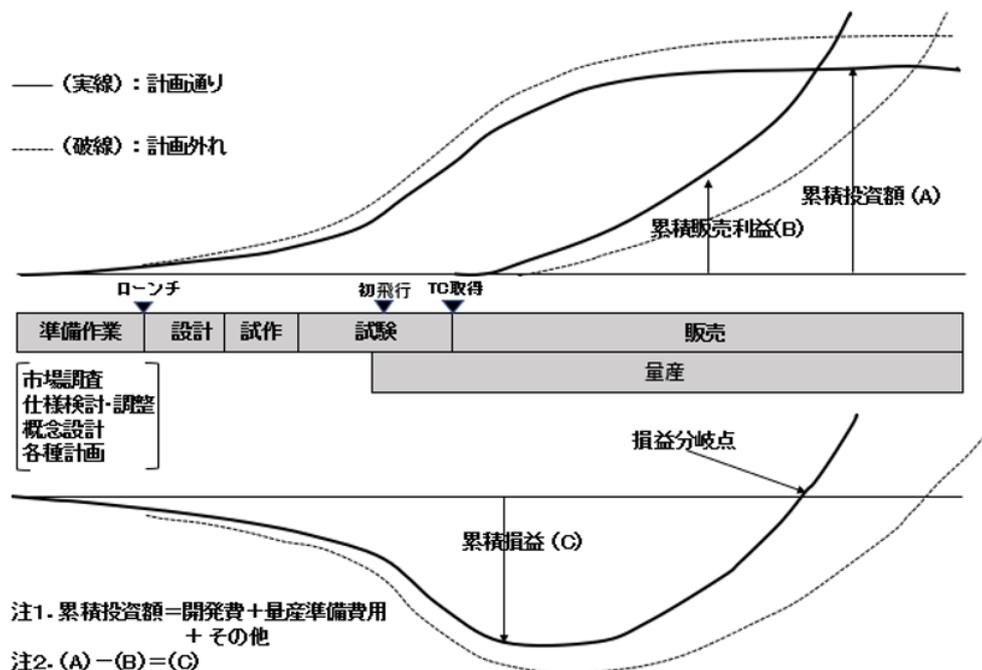


図5.1 新型民間旅客機の開発に要する投資と回収のモデル

本論文では、「損益分岐点到達時期の予定通りの到達」という分析モデルを提示している。新型民間旅客機開発プログラムにおいて、予定通りに損益分岐点に到達することによって以下のような成果が得られる。すなわち、このモデルに沿うことによって事業を成功に導くことができ、モデルが有効であると言えるのである。

(1) 後継機種の開発に及ぼす影響

「累積投資額 - 累積販売利益 = 0」に到達する時点が損益分岐点である。そして、その後得られる累積販売利益から次の航空機の開発費が捻出され、完成機メーカーとして事業の継続性が実現される。このサイクルが予定通りに回ると後継機種開発の実現を容易にするのである。

(2) ステークホルダーに対する影響

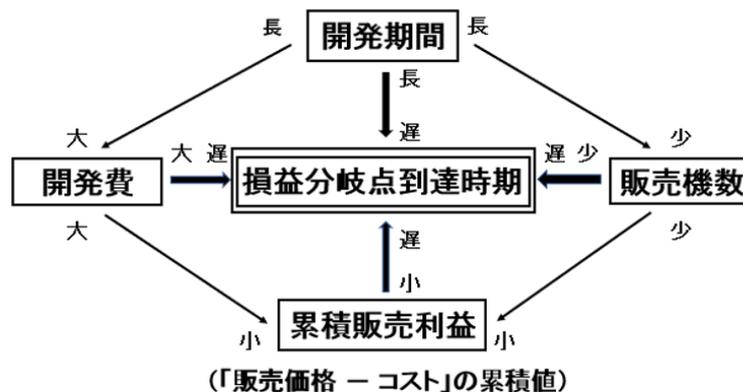
損益分岐点到達以降に、累積販売利益から出資者に対する配当金が捻出されるが、予定通りに到達すると期待に沿えることになる。また、損益分岐点に予定通り到達することは、開発期間（すなわち、販売開始時期）や販売機数（すなわち、生産機数）などの面で問題がないということに等しいので、サプライチェーン（顧客、パートナー、協力会社など）に有形・無形のダメージ（事業計画、損益、稼働状態、雇用、士気など）を与えることにならない。

(3) 完成機メーカーの業績や信用に及ぼす影響

損益分岐点到達以降に初めて会社業績にプラスに作用する。予定通りに到達すると、以降は業績のプラス要因であり続けることになる。結果、信用の向上にもつながる。

5.3 損益分岐点到達時期に係わる要件と相関

ここで、損益分岐点到達時期に影響を与える要件として、開発期間、開発費、販売機数、累積販売利益の4つを考えることにする。図 5.2 に、「損益分岐点到達時期に係わる要件と相関」を示す。つ



注：矢印は影響方向を示す。

図5.2 損益分岐点到達時期に係わる要件と相関

まり、損益分岐点到達時期を遅らせる悪要因を各要件単位で述べると、以下のようになる。

- (1) 開発期間が長くなる。
- (2) 開発費が増大する。
- (3) 販売機数が少ない。
- (4) 累積販売利益が小さい。

上述の各要件と損益分岐点到達時期の因果関係を、図中の上下・水平方向の矢印で示している。また、各要件の間でも、以下のような相互関係が存在すると言える。

- ① 開発期間が長くなれば、一般に開発費が増大し、販売機数が少なくなる。

開発費が増大するのは、開発期間の長期化に伴い累計開発要員数の増加を招き、人件費増となるからである。

販売機数が少なくなるのは、販売開始のタイミングの遅れによる機会損失が理由として大きい。

- ② 開発費が増大すれば、1機当りの割掛費が大きくなってコスト増を招き、販売利益を圧縮する。
- ③ 販売機数が少なくなれば、累積販売価格の減少を招くとともに、「1機当りのコストは慣熟低減曲線（Learning Curve）効果により下がってくる」というスケールメリットも小さくなるので、累積投資額の面でも効果が少なくなり、結局累積販売利益が更に小さくなる。

以下、これらの各要件について更に詳しく述べる。

5.3.1 「開発期間」に影響する要素

開発期間とは、民間機の場合プログラムのローンチから 販売開始の前提条件となる各国航空局（例：日本→JCAB、米国→FAA、欧州→EASA）の TC 取得までの時間のことである。耐空性基準に適合すると航空局が判断した場合に限り適合証明書が発行されて販売可能な実用機になり得るので、この時点で開発作業が完了したことになるからである。尚、開発期間を段階順に大別すると、設計（基本設計→詳細設計）、試作、試験（地上試験→飛行試験）になる。また、ローンチ前の準備作業として、市場調査、仕様検討・調整、概念設計、各種計画の策定などが実施される。更には、準備作業と開発の全期間を通じて、必要に応じ各種の先行予備試験が行われることも付記する。

以下に、開発期間に影響を及ぼす要素を列挙し、説明する。

1) 技術者のレベルと経験度

開発に従事する技術者（ここで言う技術者とは、主に設計、生産技術、試験、ソフトウェア作成に関わるエンジニアを指し、以下も同様である）のレベルと経験度がどの程度なのか。言うまでもないことであるが、レベルや経験度が開発作業の速さを左右する。開発要員は、員数よりも質を優先することが開発期間の面でも結局得策になると考えられる。

2) 技術・技能伝承の程度

過去の開発プログラムにおける失敗と同じような失敗を繰り返さないことが理想である。同じような失敗の繰り返しにより時間をロスしているケースが見受けられる。特に、開発頻度が少なすぎると、開発と開発の間が空き、個人の経験を同じ人が活かすというよりも、世代間のリレーの仕方が極めて意味を持つようになってくる。すなわち、過去に学ぶ仕組み作りが教育も含めて重要である。

3) 革新技术の採用

競争優位性を得るために必要な新しい技術をどの程度採用するのか。革新性が高くなれば自ずと適用性確認のための先行予備試験の必要度が増す。準備作業の段階ですべての要確認事項をクリアしておくのが最も望ましい。新技术の安易な採用は遅延の大きな要因となり得る。

4) サプライヤー・コントロール

サプライヤー（ここで言うサプライヤーとは、機体構造、エンジン、システム、機器、ソフトウェア、部品、材料、生産・整備用機材メーカーなどを指し、以下も同様である）の選定に際し、要求事項（特に、価格、納期）に対する必達の約束をどの程度取り付けているのか。ま

た、発注後に仕様変更が生じた場合の協力の約束もどの程度取り付けているのか。これらの約束と協力の履行について契約書で100%明文化しておくことが重要になる。

5) 開発体制の構築

開発要員の的確な選定と投入スケジュールが必須となる。特に、チーフエンジニア以下の部署要員の選定とチーム作りが重要である。

頻繁な幹部要員の交替や後手、後手の要員投入を招くようなことがあってはならない。また、開発体制の優劣は開発費の額にも少なからず影響する。

6) 安全性要求の高度化

安全性の向上などを目指して、耐空性基準は要求水準の高度化や要求項目の追加などの改定が絶えず行われている。開発中におけるこれらの改定に対応するためには設計変更を要することが多く、開発スケジュールにマイナスの影響を与える。従って、耐空性基準の改定に迅速に対応する能力が極めて重要になる。

7) 労使紛争

開発途次に労使間で紛争などが生じれば、解決するまでの時間が開発期間に影響する。ボーイング787の開発中に生じた2ヶ月に及ぶストライキ^{5.3)}が代表的な事例である。

8) 審査機関の選択

TC取得の全課程を審査する機関は各国の航空局であるが、経験を十分に有するのがFAAおよびEASAである。両者からTCを取得しなければ欧米市場に販売することはできない。そして、FAAまたはEASAの認証を取得すれば、それ以外の国々の航空局の認証も比較的容易に取得できる。一方で、FAA/EASA以外の審査機関のTC取得を先行させて無事終えても、相互認証制度は存在するもののFAA/EASAのTC取得が容易でないのが現実である。MSJ M90の最初の審査機関はJCAB (Japan Civil Aviation Bureau) であるので、この問題を最小化するために「シャドーイング」^{5.4)}と言って、事実上JCABにFAAが重なる形で審査作業が進められている。

参考までに過去のわが国の民間航空機プログラムを振り返ってみると、YS-11、MU-2も最初の審査機関はJCABである。一方で、MU-300とホンダジェットの場合はFAAである。

図5.3に、最近の新型民間旅客機の開発期間を示す^{5.5), 5.6)}。比較すると、MSJ M90の開発期間が長くなっている。なぜこのように長期間の開発を余儀なくされているのか。よく言われているのは、「経験不足」である^{5.7)}。確かに、「経験不足」はYS-11以来の長い空白期間が招いた動かし難い事実であり、また、上述1)～8)の要素に程度の差はあれ、殆どに係わってくる。このため、開発スケジュールの設定や想定される困難の克服のために、準備作業および設計の初期段階で予めどの程度打開策を講じておくかが重要になる^{5.8)}。そのような意味合いで、9番目の要素として「開発計画の練度」を追加すべきであるとも言える。

図5.3では、初飛行の時期を軸に「ローンチ→初飛行」と「初飛行→TC取得」の期間をそれぞれ示している。このように初飛行の時期を軸にして開発期間の評価を行った例は知見しない。

前者の期間内に、試作機の設計、調達、生産、殆どの地上試験（機体構造、各系統、各装備品が対象）とエンジン単体のTC取得が無事完了していることが審査機関から確認される。“殆どの”地上試験と表現したのは、全機静強度試験における終局荷重試験や全機疲労強度試験における残りの繰り返し試験が、初飛行の段階で、未実施であってもよいとされている^{5.9)}からである。初飛行の段階で、

審査機関から飛行試験に入ってもよいと言われるレベルまで航空機として完成度が高い状態に到達しているのである。この期間のスケジュール遅延の主な理由は、設計変更と調達品の納期遅れである。特に、試験供試体完成後の設計変更は、「変更→再試作→再試験」のサイクルを繰り返すことになるので、インパクトが大きい。

機種	ローンチ	初飛行	TC取得	ローンチ → 初飛行 → TC取得	
A380-800	00.12.19	05.04.18	06.12.12	4年5ヶ月	1年8ヶ月
787-8	04.04.26	09.12.15	11.08.26	5年8ヶ月	1年9ヶ月
A350-900	06.12.01	13.06.14	14.09.30	6年7か月	1年3ヶ月
MSJ M90 (E1MRJ90)	08.03.28	15.11.11	21.07.01	7年7ヶ月	5年8ヶ月
A220-100 (ECS100)	08.07.13	13.09.16	15.12.18	5年2ヶ月	2年3ヶ月

- 注1. 表内対象機種：全くの新規開発機(標準型機)
 注2. 表内西暦表現：全て2000年代なので、20XXの「20」を省略
 注3. 表内右半分に記述の年月は、凡その数値である。
 注4. M90のTC取得時期は筆者の想定値(三菱航空機は「2021年度以降」としている)

図5.3 最近の新型民間旅客機の開発期間

後者の期間内では、上述の終局荷重試験や全機疲労強度試験における残りの繰り返し試験に加えて、多くの種類の飛行試験（飛行性能、飛行特性、飛行荷重、フラッター、系統機能、などなど）が実施される。これらの飛行試験は、社内飛行試験と型式証明飛行試験に大別される。社内飛行試験では、機能・性能の確認を目的としてデータの収集と解析を行い、問題箇所が発見されれば設計変更と改修を行なう。型式証明飛行試験では、審査機関の要員が加わって耐空性基準に適合するかどうかの判断を行い、適合しない場合には、適合するように指摘箇所の設計変更と改修を行なうのである。これらの飛行試験におけるフィードバック作業（設計変更→改修→確認のための飛行試験）の回数と程度がスケジュール遅延の度合いに直結する。

MSJ M90 の場合、特徴的なのは初飛行から TC 取得までの期間が他の民間旅客機の場合に比べて特に長いことである。欧米の民間旅客機では2年前後であるのに対し、6年近い期間を必要としている。これは、型式証明審査における各要求項目に対し、具体的に事細かくどのようなやり方で安全性を証明しないとイケないのかという点で、経験やノウハウがないと効率よく証明作業を進めることができないことを意味している。そのため TC 取得に関する欧米の経験者を導入する方策も取られる^{5.10)}。尚、最近（2020年10月下旬）になって、後述（5.4.2節）するようにMSJプログラムを全面的に見直す旨の情報が出てきているが、「完成機事業をあきらめたわけではなく、M90のTC取得作業は続ける」とのことなので、本章では6回目の延期発表の際に言明のあった「納入は2021年度以降」に基づいて記述することにする。

結局、民間航空機プログラムにおいては、TC取得作業が順調に進むかが開発の成否、とりわけ開発期間の長短を左右すると言える。

5.3.2 「開発費」に影響する要素

近年、内外の新型航空機の開発プログラムにおいて、開発費の大幅な増大が話題になることが多い^{5.11)}。このことは、当初に計画した開発費の実現が如何に困難であるのか、そして同時に如何に重要であるのかを物語っている。

ここで、開発費の内訳について述べる。主な項目としては、人件費（設計、生産技術、各種試験、ソフトウェア、マニュアルなどの作成に関わるエンジニアの費用）、治工具費（試験供試体製造のための治具・工具、試験・検査用治具の費用）、試験供試体製造費用、モックアップ費、シミュレーター費などが挙げられる。「開発期間の長期化に伴い累計開発要員数の増加を招いて人件費増となり開発費が増大する」と5.2節で述べ、開発期間に影響する要素を5.3.1節で列挙したが、これらの要素の多くは、人件費以外の別の項目にも影響を及ぼす。従って、5.3.1節で列挙した要素が再登場することにもなるが、開発費に影響を及ぼす要素を整理して列挙し説明する。

1) 技術者のレベルと経験度

技術者の能力や経験が十分でないと、開発期間内における各種変更とその妥当性の確認に要する回数が増え、試験費用などが増大する。

2) 技術・技能伝承の程度

技術・技能の伝承が不足すると、過去の開発プログラムにおける失敗と同じような失敗の繰り返しにより再設計と確認のための再試験に要する費用が発生する。

3) 革新技術の採用

5.3.1節の3)で述べたように、革新性が高くなれば適合性確認のための先行予備試験が必要になることが多く、そのための試験費用が加わる。

4) 安全性要求の高度化

5.3.1節の6)で述べたように、開発中に行われた改定に対応するためには設計変更を要することが多く、その妥当性の確認のために試験が必要となる。そのための試験費用などが追加になる。

5) 審査機関の選択

5.3.1節の8)で述べたように、審査実績の少ない審査機関を最初の相手に選んだ場合、FAA または EASA の受審が二度手間の作業になる可能性があるため、その場合は新たな設計変更やその妥当性を証明するための試験が必要となり、試験費用などが追加になる。

6) 試験供試体の数量

試験供試体の数量を増やし、併行して各種試験を行うことがよくある。代表的な例が、飛行試験中の機数増加である。この場合、試験供試体製造費用が嵩むことになる。一方で、当該供試体を使用する試験のスケジュール短縮には貢献するので、全体の開発期間を守るのにある程度寄与する。

7) RSP (Risk-revenue Sharing Partnership) 方式の採用度合

完成機メーカーとサプライヤーの間でリスクと収入を分かち合う協力形態のことで、近年航空機やエンジンの開発プログラムにおいて一般化している。この場合のリスクとして、筆頭に挙げられるのが開発費の負担である。航空機トータルの開発費が変わるわけではないが、完成機メーカー自身が負担する開発費という点では大きな意味を持ってくる。従って、完成機メー

カーとしては、エンジン、システムメーカーと始めとする Tier 1 サプライヤーのどれだけ多くに RSP 方式の採用に協力してもらえるかが、自社の開発費圧縮のポイントとなる。最近では、Boeing 787 プログラムにおける広範な RSP 方式の採用^{5.12)}がよく知られているところである。

8) 国策支援の程度

新型航空機の開発を国の最重要戦略と位置付けて、基礎的かつ共通的なテーマの試験研究を公的機関も協力して実施するようにすれば、開発費の圧縮につながる。また、必要性が高かつ大規模な新たな試験設備も公的機関に導入し、完成機メーカーや協力サプライヤーが使用できるようにすれば、開発費の圧縮に寄与する。但し、具体案の策定に際しては、WTO（世界貿易機関）の協定に抵触するかどうかの慎重な検討が必要である。このことについては、5.3.1 節の 4) の内容と共通する課題なので、そこでまとめて触れる。

5.3.3 「販売機数」に影響する要素

販売機数を左右するのは、エアラインにとって「魅力ある航空機なのかどうか」という点と、続いて「販売開始時期」である。民間航空機市場では近年リース会社の存在感が極めて大きくなっている¹⁴⁾が、エアラインにとって魅力ある航空機でないとリース会社にとっても基本的には関心を寄せる対象でないので、ここでは主にエアラインがどのような航空機に魅力を感じるのかについて述べる。後者の販売開始時期については、既に 5.2 節で述べたように、販売開始が遅くなればその分販売機会を喪失し、販売機数が減少するからである。以下に、「魅力ある航空機」につながる要素、すなわち販売機数に影響する要素を列挙し、説明する。

1) エアライン・ニーズの満足度

完成機メーカーに求められるエアライン側のニーズは、座席数、航続距離などの基本要件に加えて、**燃費向上、整備性向上、快適性向上**（主に、客室空間、空調、座席、機内照明、ラバトリー、エンターテインメントが関係）、**高い信頼性と安全性、パイロットに好まれる操縦性・操作性**などである。ニーズを的確に満たすためには、常にエアラインの声に耳を傾ける姿勢と緊密な関係作りが求められる。

これらのニーズはどれも重要であるが、エアラインの経営にとって特に重要なのは燃費向上である。参考までに、エアラインの営業費用に占める各支出項目の割合例を図 5.4 に示す。対象としたエアラインは堅調な経営を続けてきている ANA である。注目すべきは、機体価

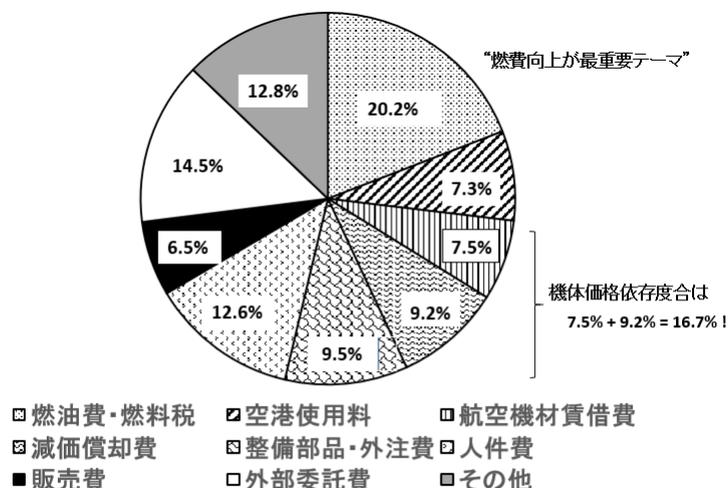


図5.4 航空会社の営業費用に占める各支出項目の割合例 (ANAにおける航空事業の例^{5.14)})

格に依存する「航空機材賃貸費+減価償却費」(16.7%)よりも燃費に左右される「燃料費&燃料税」(20.2%)の方が大きいということである。また、近年成長が著しいLCC(Low Cost Carrier: 格安航空会社)の場合には、人件費などを極限まで圧縮しているため、営業費用の中で燃費に左右される項目の割合が更に高まる。このような燃費の重要性が、燃費に優れた新型機への買い替え需要を生み出す要因となっている。ここで、断っておかなければならないのは、図5.4のデータは最新の2020年3月期決算の数値ではなく1年前の2019年3月期決算の数値を採用しているということである。理由は、2020年3月期決算の場合には、2020年1月~3月の間の数値が新型コロナウイルスの影響を受けて、常態を表わしていないからである。

2) 販売価格

市場価格レベルで購入者に提供できなければ売れない。この市場価格レベルとは、リストプライス(いわゆるカタログ価格)より何割もディスカウントした金額レベルのことである。エアラインの購入予算範囲に収まり、しかも低い価格であることが販売面からは望ましい。尚、ディスカウントの程度は、契約機数、オプション契約、各種契約条件などで決まると言われているが、実態は公表されていない。また、今後新興国(ロシア、中国など)が安値攻勢をかけてくるであろうことにも留意する必要がある。

3) サプライヤーのブランド

エアラインは購入機種を選定に当たりエンジンや重要装備品のメーカー名を気にする。技術力や実績に定評のあるメーカーでないと導入後の機体の運航や維持面で問題が発生しないか不安を覚えるからである。このことは、ロシアや中国などで開発の新型民間旅客機においても、エンジンや重要装備品はことごとく欧米の有力メーカー製である^{5.15)}、^{5.16)} ことから分かる。

4) 競合機種との差別化

将来の需要動向予測に基づき、従来のコンセプトとは異なる航空機を競合他社に先駆けて市場に出せば差別化を実現したことになる。そして、この需要動向予測が的を射たものであれば、大量販売に結び付く。

具体的な成功例として、Boeing 787プログラムを挙げることができる。運航概念として、従来のHub & Spoke方式ではなく、今後はPoint to Point方式のニーズが高まると予測したのである^{5.17)}。ハブ空港と言われる拠点空港で乗り継ぎを行わず、直接目的地の空港まで長距離の飛行が可能な中型の航空機のニーズが高まると予測して開発に踏み切ったのである。実際に受注が好調に推移し、また、同様なコンセプトの新型航空機をエアバスがA350XWBプログラムとして後追いで登場させ受注も好調なことからも、ボーイングの需要動向予測が正しかったことが分かる。

不成功の例としては、エアバスのA380プログラムを挙げることができる。ハブ空港とハブ空港を結ぶ超大型機の需要が高まると予測をして^{5.18)} 開発を行ったのであるが、今までのところ大量輸送のニーズは期待したほどではなく、生産計画の相次ぐスローダウンを余儀なくされ^{5.19)}、遂には2019年2月に至って、「2021年に生産を中止する」と声明する事態に陥っている^{5.20)}。

5) 後継機種計画の存在

後継機種の計画としては、2種類ある。1つは派生型機の計画、もう1つは全く新しい標準型機の計画である。先ず派生型機の計画であるが、エアラインは新型航空機を導入後、市場環境の変化に対応すべく、より乗客数の多い機材を、場合によっては、より乗客数の少ない機材を必要とすることがよくある。このような場合、同じ完成機メーカーが新型航空機を標準型機とした派生型機（胴体延長型、または短縮型）の計画を用意していれば、種々の面から移行が容易になりエアラインの運用計画に柔軟性を与えるのは自明である。また、エアラインによって同じような規模の航空機でも最も望む席数が異なることが多い。

これらの観点からプログラムの公表時においては、通常標準型機の計画に加えて派生型機の計画（併せて、シリーズ化計画）も同時にオープンにされる。このとき将来予測としてどの程度エアラインのニーズを的確に読み切って標準型機と派生型機の仕様を設定するかが、新型航空機シリーズの累計販売機数に影響を与えることになる。

次に全く新しい標準型機の計画である。国としてそして完成機メーカーとして、後継機種の開発の意思を示すことによって事業の「継続性」をアピールすることが、エアラインに対して一種安心感と魅力を与えて購買意欲を刺激し、累計販売機数にプラスの効果を与えることになる。このことは、ロシアや中国の取り組みを見ても裏付けられるのではなかろうか（ロシア：リージョナルジェット SSJ100 シリーズ → 細胴機 MS21 シリーズ、中国：リージョナルジェット ARJ21 シリーズ → 細胴機 C919 シリーズ → 広胴機 CRJ929 シリーズ）。わが国に当て嵌めて言えば、MSJ シリーズに続く細胴機の開発計画の有無ということになる。MSJ 単発で終わらせてはならない理由がここにもある。

6) カスタマー・サポート態勢

エアラインは機種選定に当たり、完成機メーカーと搭載エンジンやシステムのメーカーのカスタマー・サポート態勢を重要な評価項目にしているので、構築態勢の優劣が販売機数に大きく影響する。カスタマー・サポートは、プロダクト・サポートとも言われるが、主な役割としては運航中の「技術支援」、「交換部品の供給」、「マニュアル類の準備」、「トレーニング」、「整備・修理ネットワークの構築と維持」などである。このような態勢が世界市場で確立できているかどうか重要なのである。

7) 国策支援の程度

新型民間航空機開発の母体国が自国のエアラインに採用を働きかけ実現しているかどうかは大事なポイントである。自国のエアラインで採用されていない航空機を他国が果たして購入するであろうか。また、国のトップによる積極的なセールス活動も重要である。米仏独や中国のトップの動きをメディア^{5.21), 5.22)} 経由で見てもそのことがよく分かる。

5.3.4 「累積販売利益」に影響する要素

累積販売利益とは、1機毎の販売利益の累積値である。1機毎の販売利益は、「販売価格－コスト」である。従って、累積販売利益に影響する要素は、開発費と販売機数に加えて、1機毎の販売高とコストであると言える。

以下に累積販売利益に影響する要素を列举し、考察する。尚、開発費と販売機数の影響理由について

ては、既に 5.2 節で述べたので繰り返さない。

1) 販売価格

5.3.3 節の 2) で述べたことと真逆の話になるが、完成機メーカーにとっては少しでも有利な（すなわち高い）価格で販売したい。ディスカウントは避けられないが、競合メーカーに比較してより魅力のある航空機の提供や契約条件の提示を実現することによって価格の下げ幅を小さくすることが重要となる。

2) コスト（完成機）

通常コストは、対象が完成機であれ、エンジンであれ、装備品であれ、「材料費、購入品費、社内加工費、外注加工費、各種維持費、直接経費、開発償却費、販売管理費、一般管理費、金利など」の項目で構成される。

視点を改めて、完成機のコスト内訳をイメージすると、民間旅客機の場合、図 3.7 のようになる。機種毎に内訳の比率は異なるが、大まかには、機体構造＝40%弱、エンジン＝20%強、装備品＝40%強のイメージである。また、機種によって異なるが、機体構造の生産のかなりの割合を完成機メーカー自身が担う。従って、完成機メーカーのコストとしては、内製する機体構造に必要な材料、購入品、社内加工、外注加工などに要する費用と、サプライヤーである機体構造メーカー、完成エンジンメーカー、装備品メーカーなどに支払う金額が購入品費として発生する。そして後者が圧倒的な比率を占める。仮に機体構造の生産のすべてを完成機メーカーが担っても、図 3.7 に従えば、外払い比率が 60%を超えてしまうことになる。

このような実態を踏まえると、完成機メーカーは自社生産担当範囲のコストダウン努力もさることながら、最も大事なのはサプライヤー（特に、機体構造メーカー、完成エンジンメーカー、装備品メーカー）の価格面における協力を得ることである。そのために、どのようにサプライヤーの価格をマネージするかが完成機メーカーの力量として問われるところでもある。一方で、サプライヤーの販売価格のベースとなるコストは完成機メーカーの仕様に大きく支配されるので、過不足の無い適切な水準の要求内容でなければならない。

これらの仕様は、準備作業と設計（基本設計→詳細設計）の段階で固められる。「コストの 80%は設計段階で決まる」とよく言われる^{5.23)}。できるだけ早期の段階で、サプライヤーの協力も得ながら、徹底的な DTC (Design to Cost) 活動を遂行することによって、サプライヤーに対する割り付け価格を定めることが大事である。言い換えれば、開発の後半段階で設計変更に伴う仕様の見直しなどによってコスト増を招くような事態を最少化したいということでもある。

3) ペナルティ費用

納期遅れが生じた場合には、通常違約金の支払いが発生する。

4) 国策支援の程度

政府が、完成機メーカーや国内の協力サプライヤーに対して財政、金融、税制、規制の観点からあらゆる種類の助成策を実施することは、コストを削減する面で極めて有用である。具体的には、補助金、低金利融資、貿易保険、輸出税控除、優遇税制、工場立地規制緩和などが対象となる。

これらの助成策についても、5.3.2 節の 8) の場合と同様に、WTO の協定に抵触するかどうかの慎重な検討が必要である。不適切な国策支援を行なったかどうかを巡っては、海外でも

WTO で争われたケースが幾つもあった^{5.24), 5.25)} からである。WTO 対策の具体案については、参考文献 1.9) (第九話) を参考にされたい。

5.3.5 損益分岐点に影響を及ぼす要件と影響する要素の整理

本章では、新型航空機開発プログラムの成功・不成功に関する最大のキーワードを**損益分岐点到達時期**に設定し、予定通りに到達すれば成功、予定通りに到達しなければ諸問題が発生するという分析モデルを提示した。そして、予定通りに到達すれば、①後継機種開発の実現を容易にする、②ステークホルダーの期待に応えダメージを与えることにならない、③完成機メーカーの業績にプラスに作用し信用の向上にもつながる、ことを明確にしたので、提示した分析モデルの有効性は確認されたとと言える。

損益分岐点到達時期に係わる要件として**開発期間、開発費、販売機数、累積販売利益**の4つを挙げ、これらの要件に影響する要素について、それらの関係も含めて、詳細に述べた。尚、この中で複数回登場する要素（技術者のレベルと経験度、技術・技能伝承の程度、革新技術の採用、安全性要求の高度化、審査機関の選択、国策支援の程度）は、2つ以上の要件にまたがるので、影響度の高い要素であると言える。そこで分かり易いように、ここまで述べてきた要件とそれらに影響する要素の関係を整理してまとめると表 5.1 のようになる。

表5.1 損益分岐点に係わる要件と影響する要素

要素 \ 要件	開発期間	開発費	販売機数	累積販売利益
技術者のレベルと経験度	✓	✓		
技術・技能伝承の程度	✓	✓		
革新技術の採用	✓	✓		
サプライヤー・コントロール	✓			
開発体制の構築	✓	(✓)		
安全性要求の高度化	✓	✓		
労使紛争	✓			
審査機関の選択	✓	✓		
試験供試体の数量	(✓)	✓		
RSP方式の採用度合		✓		
国策支援の程度		✓	✓	✓
エアライン・ニーズの満足度			✓	
販売価格			✓	✓
サプライヤーのブランド			✓	
競合機種との差別化			✓	
後継機種計画の存在			✓	
カスタマー・サポート態勢			✓	
コスト（完成機）				✓
ペナルティ費用				✓

注：(✓)としているのは、✓印ほど影響は無いが少しは影響することを示している。

5.4 最近の新型民間旅客機プログラムの概略評価

最近の新型航空機開発プログラムの成功・不成功について、ここまで述べてきた趣旨に従って簡単

に評価してみる。評価の対象は、図 5.3 に掲載の新型民間旅客機（標準型機）にそれぞれの派生型機を加えたプログラム全体とする。尚、日本の MSJ プログラムについては、まだ開発途次のフェーズにあり販売開始にも至っていないため、既に販売局面に入っている外国機種とビジネス面で同列に論じることができない。そこで、開発期間と開発費を中心にやや詳細に分析した結果を、別途参考までに述べることにする。個々のプログラムの詳細な評価は、様々な記述が既になされている^{5.26)}ので、ここではあくまでも本章で述べているキーワードや複数の要件などに基づいて概略評価を行う。但し、本章の中でも重要な要件としている開発費や累積販売利益を算出するのに必要な販売価格とコストについては対外的に公表されていないので、損益に関わる評価は満足なものではないことを断っておく。

5.4.1 販売局面に入っている外国機種

(1) A380 プログラム

販売機数が期待外れに終わる（2021 年生産中止、合計 251 機）予定であることが大きく影響し、プログラムの的には不成功であったと言わざるを得ない。巨大ハブ空港間の超大型機の需要が高まると予測をして開発されたのであるが、従来の Hub & Spoke 方式による大量輸送のニーズは期待したほどではなかったことが、受注不振の理由である。結果論であるが、需要動向の予測が外れた例であると考えられる。

技術的には、新型機として各種の革新的な試み（先進表示装置、電動化比率アップ、複合材比率アップなど）を採用し成功したので、後に続く機種の礎となっているのは評価できる。

(2) 787 プログラム

2020 年に入って新型コロナウイルスによる悪影響はあったものの、現時点（2020 年 8 月末現在）の納入・受注状況を見ると（派生型も含め、販売機数 981 機、受注残 526 機）比較的好調であると言える。好調の最大要因は、巨大ハブ空港で乗り継ぎを行わないで直接目的地の空港まで長距離の飛行を可能ならしめる Point to Point 方式が主流になると予測して開発したことが需要動向に合致したことにある。損益分岐点は不明であるが、成功への道を歩んでいると見てよい。

技術的にも、A380 を超える各種の革新的な技術（複合材比率を機体重量比 50%まで大幅アップ、電動化の徹底など）を採用し実現したので、エポックメイキングな機体であると言える

(3) A350 プログラム

787 と同様のコンセプトに基づき後追いで開発された一回り大きい機体である。現時点（2020 年 8 月末現在）の納入・受注状況を見ると（派生型も含め、販売機数 372 機、受注残 558 機）好調である。787 と同じく Point to Point 方式の需要動向に適ったのである。やはり、787 と同様に成功への道を歩んでいると見てよい。

(4) A220 プログラム

標準型の A220-100（標準座席数：110）と派生型の A220-300（標準座席数：135）の 2 機種がボンバルディアにより開発された。機種名 CS100、CS300 として開発された機体であるが、ボンバルディアの経営不振もあって 2018 年 7 月にこれらの機種はエアバス機のラインアップに加わることが発表され、機種名も A220-100/-300 に変更された。現時点（2020 年 8 月末現在）の納入・受注状況を見ると（-100：販売機数 40 機、受注残：54 機、-300：販売機数 78 機、受注残：470

機)と堅調である。特に注目すべきは、派生型として引き続き開発された A220-300 が標準型に比較して受注が好調なことである。この理由は、100 席未満のリージョナル機と、エアバスやボーイングが生産する 140 席以上の旅客機の隙間を埋める機体であることが大きいと考えられる。低燃費の新型エンジンを搭載する A320neo ファミリーや 737MAX シリーズの中に 140 席未満の後継機が存在しないという市場の隙間を突いたことになる。

損益分岐となる機数は不明であるが、このまま販売が堅調に推移すれば、成功の範疇に入っていくと推察される。

5.4.2 開発途上にある日本の MSJ プログラム

参考までに、未だ開発途上にある MSJ プログラムを取り上げて、主に「開発期間」と「開発費」を対象に、表 4.1 に記載の要素と対比して分析を試みる。

まず、開発期間が長い。6 度にわたる TC 取得時期の変更を繰り返して当初予定の 2013 年から 8 年以上も遅れる見込みとなっている。(直近では、2020 年 10 月 30 日に三菱重工業社長が「いったん立ち止まる」と述べ、事実上の事業凍結を正式に発表した^{5.27)}ので、更なる遅れが予測されるが、本論文ではその先が不透明なためそこまでは織り込まないこととする。)

表 4.1 の全ての要素が、「労使紛争」を除いて、程度の差はあれ開発の遅れに影響している。全体的には“経験不足”がある。経験不足は、具体的には表 5.1 中の「技術者のレベルと経験度」、「技能・技術の伝承の程度」、「サプライヤー・コントロール」に特に関わってくる。「サプライヤー・コントロール」について補足すると、近年欧米のサプライヤーは M&A などを繰り返した結果、巨大化している。わが国航空機工業のトップである三菱重工業(含三菱航空機)であっても、自力で巨大サプライヤーをコントロールするのは難しかったと推察される^{5.27)}。

「開発体制の構築」についても、最高責任者であるべき三菱航空機社長の交替(現在 6 代目)や開発トップであるチーフエンジニアの最近の入れ替わり(現在 5 代目)を指摘することができ^{5.28)}、開発体制が強固なものになっていなかった印象を受ける。

開発の遅れに関して特に注目すべきは、初飛行以降の期間が長いことである(図 5.3 参照)。これは、安全性を証明するための TC 取得作業が、経験不足のため滞ったこと、更には「安全性要求の高度化」と「審査機関の選択」も大きく影響したと考えられる。

物理的に飛べる航空機を作って初飛行に漕ぎつけても、安全性を論理的に証明できるような設計になっていなければ TC は取得できない。実際、初飛行後 900 件以上の大規模な設計変更を与儀なくされたという情報^{5.29)}もある。エレクトロニクスやソフトウェアに関する変更が多かったとのことであるが、詳しくは参考文献 5.28)を参照して頂きたい。主な理由としては、TC 取得に関する経験不足であり、それに対してマネジメント上有効な手立てを打てなかったことが考えられる。具体的には、例えば TC 取得作業に精通した欧米の専門家を、設計チームに最初から招き入れなかったことなどが挙げられる。

開発期間の長期化に伴って、報道^{5.30)}によれば当初 1,500 億円と言われた開発費が 1 兆円規模にまで膨れ上がった^{5.31)}。開発費の増大には、開発期間の長期化に影響を及ぼした要素とほぼ同じ要素が、表 5.1 で示すように、程度の差はあれ影響を与えていると考えられる。開発期間の長期化が主に人件費の累積値を膨大にしたとも言える。

更には、少しでも飛行試験の期間を短縮するために飛行試験用の機体（表 5.1 では、「試験供試体の数量」に該当）を当初予定の倍の 10 機にまで増やしたことが開発費増大に影響していると考えられる。納入延期が続いていた 2016 年に経験豊富な海外技術者を高給で大量に採用したことも開発費を増大させた要因であろう。「RSP 方式の採用度」や「国策支援」も開発費に影響を与える要素であるが、当初予定と実態の差に関する情報が無いので、ここでは言及しない。

本章のテーマである「損益分岐点到達時期」に影響を及ぼす別の要件である販売機数と累積販売利益については、まだ TC 取得に至らず販売も開始していないので、論じることは困難であるが、予想として試算を行う。

先ず、販売面であるが、長期的な見通しは悪くないと思われる。最大ライバル会社 2 社の 1 つであったボンバルディアがリージョナルジェット（機種：CRJ700/CRJ900/CRJ1000）から撤退し、これらの MRO 事業をすべて三菱重工工業に 5 億 5,000 万ドルで売却することを、2019 年 6 月に発表した^{5.32)}。これは、残る有力なライバルはエンブラエル 1 社になったことと、MSJ プログラムに必要な「カスタマー・サポート態勢」が強化されたことを意味する。

リージョナルジェットの需要は、当面はコロナ禍の影響でよくないが、市場回復後は大きな期待が持てる。コロナ禍前までは、今後 20 年間で 5,000 機以上の需要があると言われていた^{5.33)}。従来三菱航空機が目標として示していたシェア 50%^{5.34)} を今後も目指すのであれば、20 年間で 2,500 機の販売機数ということになる。販売価格と利益率については根拠となる情報が無いので推測するしかないのであるが、仮に販売価格（実勢）を平均 35 億円、利益率を 10% と仮定すれば、20 年の間に、 $2,500 \times 3.5 = 8,750$ 億円の累積販売利益が得られる。しかし、これは 1 兆円レベルとされる開発費を下回り、損益分岐点には至らない。ただ、MSJ プログラムに係わる事業全体として MRO 事業も含めることが許容されるのであれば、そして、機体販売の 15% 程度の利益が得られると仮定すれば、合計の累積販売利益は 1 兆円近くになるので、販売開始後 20 年を少し超えた時点で損益分岐点に到達することにはなる。（プログラムのローンチ時点からカウントすれば、損益分岐点に到達するのに、33 年以上を要したという計算になる。）繰り返すが、販売価格や利益率については仮定の数値を用いて試算を試みたので、実際の差とは不明であるが、本章の論理展開を認識して頂く目的にはある程度適っているのではないかと考える。

従って、上述予想は荒い仮定の試算かも知れないが、少しでも実現に近づけようとするのであれば、表 5.1 にも記載の「後継機種計画」の存在は必須である。また、マイナス要素として、納入遅れなどに対する「ペナルティ費用」を忘れてはならない。

5.5 まとめ

新型民間旅客機の開発に際しては、予めプログラムの成功要件を明確にしておくことが必要である。本章では、プログラムの成功・不成功の重要な判断基準として、「損益分岐点到達時期が予定通りかどうかである」を提案した。次に、損益分岐点の到達時期を左右する要件としては、開発期間、開発費、販売機数、累積販売利益を上げ、これら要件間の因果関係について明らかにするとともに、各要件に影響を及ぼす要素をチェックリストとして表 5.1 にまとめた。最後にこの表を基に、幾つかの完成機プログラムを評価し、その有効性を示した。

また、本章を作成していく過程で改めて強く感じた成功のための条件は以下の通りである。これら

は、ここで述べた殆どの要件や要素に関係してくる。

- (1) 優れた技術力を有していることは、新型航空機開発の成功に必須の条件であるが、それだけでは成功につながらない。もっと重要なのは、プログラムを取りまとめる幹部が高いマネジメント能力を有していることである。
- (2) 下記の事柄を考えると、「何事も最初が肝心」だという意識を強く持つ必要性をすべての関係者が共有しなければならない。
 - ・ 準備作業段階で、徹底的な情報収集の実施とリスクの洗い出しを行うこと。
 - ・ リスクだと判断された事項に対しては、早目に対処策を立て実行すること。
 - ・ 経験不足だと判断される対象については、開発初期の段階から経験者を投入すること。特に、わが国の場合には、FAA の TC 取得作業で豊富な経験を積んだ要員を早期に投入することが重要である。
- (3) 開発要員が「根拠の無い自信」を持たないように意識付けと教育を行うこと。
 - ・ 飛ぶ航空機を作り上げるだけではプログラムの成功とは言えないという意識を持たせること。
 - ・ 経験者の話（特に失敗談）に徹底して耳を傾けさせる仕組み造りを行うこと。
- (4) エアラインと緊密な関係を構築し彼らの声を聞きながら開発を進めること。
- (5) 国は、新型航空機の開発は国家戦略に適う事業であると認識し種々支援すること。

現在、MSJ M90 の開発が、飛行試験における累計飛行時間にしても 3900 時間を超えるなど、最終段階にきているのは間違いがない。本機の開発の過程で得られた種々の貴重な教訓は得難いものであり、次の新型民間航空機プログラムに活かして初めて意味のあることになる。エアバスが A300 の市場投入後長年にわたって苦戦を続けたが、続く新機種 A320 の開発を決断したことがボーイングとの競争を可能にした事実^{5.35)}を我々も他山の石とすべきであろう。

また、本論文で述べた内容は、金額や時間軸などの規模では異なるものの、新型エンジン開発プログラムにおいてもほぼ通用するものであることを付記しておきたい。ただ、エンジンの場合、高温環境下で使用されたり高速回転に供される部品が多いため消耗品的性格が強いので、アフターマーケットも重視した考察を行わなければならない^{5.36)}。

最後に、参考文献 5.37) ～5.40) は本章の特定箇所を引用するためのものではなく、議論を展開する上で広く参考にしたものであることを断っておきたい。同時にこれらの筆者に謝意を表したい。

第6章 結言

本論文の目的は、日本の航空機工業の振興策を提示することにあつた。振興策を提示する理由は、航空機工業が重要だからである。では、なぜ重要なのか、第2章ではその重要性の理由について整理して述べた。特に、日本にとっての重要性について詳しく考察を行った。中でも、航空機⇔民生の両分野間の相互波及技術効果（シナジー効果）について詳しく考察を加えた。

第3章では、日本の航空機工業に関する考察を行った。先ず、航空機工業の中核を成す、3つのセグメント（完成機・機体構造メーカー、エンジンメーカー、装備品メーカー）について現状分析を行ない、主要先進国との比較も実施し、日本は戦前・戦中は航空大国であつたにもかかわらず、現在は不満足な状態であることを確認した。戦後の航空機工業再開に際し、日本以上のハンディキャップを背負ったドイツにも大きく水をあけられてしまっていることも確認した。では、現在はなぜ不満足な状態なのかを探るために、戦後の歩みを振り返った。また、大きく差を付けられてしまったドイツとの比較も行なった。これらの分析の結果、現在の不満足な状態の原因は、戦後の「空白の7年間」よりも、むしろ1980年代半ばから2000年代半ばに至る20年間の「低迷の時代」にあつたと考察した。日本主導の新規開発プログラムを持たず「国際共同開発」の名のもとに実質下請負生産に近い状態に甘んじて20年間過ごしてしまったことが現在の状態を招いたと推察した。

第4章では、振興策を考える材料として、日本の航空機工業にとって克服すべき課題として何があるのかを考え整理した。そして、列挙した要克服課題に対して解決策を考える形で振興策を提示した。諸施策の中で最も有効であると結論付けたのは、日本主導の新規開発プログラム（特に細胴機クラス以上の民間輸送機と完成エンジン）の立上げである。

第5章では、細胴機プログラムを成功させるための要件について、詳述した。今後の新型航空機開発プログラム具体化に際して指針として参考にしてもらえれば幸いである。

以上を要約すると、本論文は、日本の航空機工業に存在する諸課題と解決策を航空工学的な見地と技術史的な見地から明らかにしたものである。

参考文献と脚注

- 1.1) 航空総合技術政策フォーラム：『我が国の航空システムの振興に関する総合政策実現への提言』, 2011. 2. 24
<https://happylibus.com/doc/233178> (2020年6月6日閲覧)
- 1.2) 文部科学省 航空科学技術委員会：『航空科学技術に関する研究開発の推進のためのロードマップ』, (2012), 2012. 8. 21
www.mext.go.jp/b.menu/shingi/gijyutsu2/004/... (2020年6月6日閲覧)
- 1.3) 東京大学航空イノベーション研究会・鈴木真二・岡野まさ子編, 『現代航空論—技術から産業・政策まで』, 東京大学出版会, 2102. 9. 20, 1. 3 節
- 1.4) 藤田公子, 『民間航空機産業の成長戦略』, みずほ銀行産業調査部, 2016. 3. 1
<https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/...> (2020年6月6日閲覧)
- 1.5) 日本政策投資銀行：『本邦航空機産業の過去・現在・未来』, 2016. 7, 第VI章「次世代の航空機産業育成に向けて」
https://www.dbj.jp/pdf/investigate/etc/pdf/book1607_01pdf (2020年6月6日閲覧)
- 1.6) 日本航空宇宙工業会：『日本の航空宇宙工業』, 2019. 3. 1, 第1章第2節「航空機工業の特質」, 第2章第1節『日本の航空機工業の歴史』, 第3章第1節「航空機工業の産業基盤の確立」
- 1.7) 日本航空宇宙学会：『航空ビジョン』, 2020. 6. 1
www.mext.go.jp/b.menu/shingi/gijyutsu/gijyutsu2/004/shiryo/... (2020年10月6日閲覧)
- 1.8) 中村洋明, 『航空機産業のすべて』, 日本経済新聞出版社, 2012. 12. 7, 序章, 第1章
- 1.9) 中村洋明, 『航空機産業と日本』, 中央公論新社, 2017. 5. 25, 第七話, 第八話, 第九話
- 1.10) 中村洋明：『航空機産業の隆盛に向けて』, 「碧い風」VOL. 85, 中国電力株式会社 エネルギー総合研究所 (2015. 11. 1 発行)

- 2.1) 経済産業調査会編, 『飛翔 航空機産業公式ガイドブック』, 2008. 7. 10, 第1章「世界の航空機産業の動向と我が国の航空機産業の将来」
- 2.2) 日本航空宇宙工業会：『2019-2020 はばたく日本の航空宇宙工業』, 2019. 11, I
https://www.sjac.or.jp/common/pdf/sjac_gaiyo/info/habataku2019-20J.pdf (2020年6月6日閲覧)
- 2.3) 関東経済産業局編, 『航空機産業の動向と参入のタイミング』, 2017. 3, 9 ページ
https://www.kanto.meti.go.jp/seisaku/kouku_uchu/data/... (2020年6月6日閲覧)
- 2.4) 日本航空機開発協会：『民間航空機に関する市場予測』, 2020-2039, 37 ページ
www.jadc.jp/files/topics/157_ext_01_0.pdf (2020年10月6日閲覧)
- 2.5) Airbus : Global Market Forecast 2019-2038, 015 ページ
<https://gmf.airbus.com> (2020年6月6日閲覧)
- 2.6) 航空協会主催オンラインセミナー「COVID-19が航空に与える影響と今後を考える」, 2020. 8. 4
日本航空機開発協会
- 2.7) IATA : COVID-19 Outlook for air travel in the next 5 years, 2 ページ
<https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/covid-19-outlook-for...> (2020年10月6日閲覧)

- 2.8) 日本航空機開発協会 : 『航空機関連データ 第3章 需要予測』(2020年3月発行)
www.jadc.jp/files/topics/85_ext_01_0.pdf (2020年10月6日閲覧)
- 2.9) 朝日新聞デジタル, 2019年10月30日, 「御社の技術を使いたい」エアバスがやってきたわけ
<https://www.asahi.com/articles/ASMBG7WNHMBGUIFA01C.html> (2021年2月1日閲覧)
- 2.10) 自動運転ラボ編集部, 2019年9月6日
 空飛ぶクルマの開発企業まとめ 日本と世界 開発進捗は?
https://jidoun-ten.com/u_skycars_company_matome (2021年2月1日閲覧)
- 3.1) 日本航空宇宙工業会 : 『航空宇宙産業データベース』, (令和元年7月発行), 第1章
https://www.sjac.or.jp/common/pdf/toukei/7_database_20207pdf (2020年6月6日閲覧)
- 3.2) 日本航空宇宙工業界 : 『日本の航空宇宙工業 50年の歩み』, 第一部 日本の航空機工業, 2003.5
https://www.sjac.or.jp/data/walkcompaniesing_of_50_years/index.html (2020年6月6日閲覧)
- 3.3) 日本航空宇宙工業会 : 『世界の航空宇宙工業』, 2019.3.31, 第2章第2節
- 3.4) 経済産業省製造産業局 : 『航空機産業戦略策定以降の取組について』, (平成28年12月26日)
https://www.meti.go.jp/shingikai/seizo_sangyo/kokuki_uchu/pdf/001_02_00.pdf, (2020年10月28日閲覧)。
- 3.5) IBM Global Services (2008) : Keep them flying-Find your winning position in the MRO game
<https://www.ibm.com/downloads/cas/0VDARVDQ> (2020年6月6日閲覧)
- 3.6) ARTILLERY (2019) : Top 100 Aerospace Companies
<https://www.salesartillery.com/fs/top-100-aerospace-companies> (2020年6月6日閲覧)
- 3.7) statista (2018) : Revenue of China's aircraft and space industry from 2006 to 2016
<https://www.statista.com/statistics/276344/production-value-in-chines-aerospace-industry/>
 (2020年6月6日閲覧)
- 3.8) 文部科学省 次世代航空科学技術タスクフォース : 『戦略的次世代航空機研究開発ビジョン』
 (平成28年8月)
https://www.next.go.jp/b_menu/hondou/26/08/_icsFiles/a... (2020年6月6日閲覧)
- 3.9) 日本航空機エンジン協会 : 『事業概要』
[www.jaec.or.jp/pdf/JAEC\(ja\)2018.pdf#zoom=100](http://www.jaec.or.jp/pdf/JAEC(ja)2018.pdf#zoom=100) (2020年6月6日閲覧)
- 3.10) BDLI: German Aerospace Industries-Strong and Reliable Partners for Aviation Industry of Japan (11 September 2018)
www.japanbusinessportal.com/wp-content/uploads/180911-BDLI_Japan... (2020年6月6日閲覧)
- 3.11) JAXA | 宇宙航空研究開発機構 HP 組織情報
<https://www.jaxa.jp/about/org/index.j.html> (2020年6月6日閲覧)
- 3.12) 国土交通省 航空局 : 『航空安全に係る最近の動向について』, (令和2年3月), 3ページ
<https://www.mlit.go.jp/common/001285901.pdf> (2020年6月6日閲覧)
- 4.1) 朝日新聞デジタル, 記事, 2020.11.20, ボーイング、事故の737MAX 復帰でも「3つの困難」
<https://www.asahi.com/articles/ASNCN45SZNCNUHB1000.html> (2021年2月1日閲覧)
- 4.2) トラベルボイス, 観光産業ニュース, 2020年10月30日

- 世界の2大航空機メーカーも苦境に、エアバス、ボーイングともに大量解雇、第3四半期決算は巨額損失
<https://www.travelvoice.jp/20101030-147418> (2021年2月1日閲覧)
- 4.3) 時事ドットコムニュース, 2020年03月31日
次期戦闘機、開発本格着手、防衛装備庁に専属チーム
<https://www.jiji.com/jc/article?k=20200331009/u&q=soc> (2021年2月1日閲覧)
- 4.4) 独立行政法人経済産業研究所, 川瀬剛志, 2014年10月28日
航空機開発支援とWTO補助金規律—MRJ初号機ロールアウトによせて
https://www.rieti.go.jp/jp/columns/001_0409.html (2021年2月1日閲覧)
- 4.5) 東洋経済ONLINE, 梅沢正邦, 2008/04/09
覚悟の“見切り発車”MRJ ついに事業化
https://toyokeizai.net/articles/_/1119?page=2 (2021年2月1日閲覧)
- 4.6) 国土交通省航空安全部 航空機安全課長 甲田俊博: 航空機製造に関する安全認証制度(平成30年10月12日 第6回CMIシンポジウム), 16-20ページ
https://www.cmi.iis.u-tokyo.ac.jp/event/20181012/20181012_os.pdf (2020年6月6日閲覧)
- 4.7) 中村洋明: 航空機の脚設計における話題, 日本航空宇宙学会誌 第34巻 第395号, 1986.12
- 4.8) SIPRI 2020: SIPRI Military Expenditure Database, Data for all countries from 1988-2019
<https://www.sipri.org/sites/default/files/Dataformal...> (2020年6月6日閲覧)
- 4.9) ミリタリーレポート@アメリカ, 2020.01.22
トランプ大統領が日本に突きつける軍事的要求、駐留経費増にとどまらない
<https://globe.asahi.com/aritcle/13042950> (2021年2月1日閲覧)
- 4.10) 半田滋, 2018.08.26
初の武器輸出?インドが「日本製の高性能飛行艇」 US2購入を決定か
https://gendai.ismedia.jp/articles/_/57198 (2021年2月1日閲覧)
- 5.1) 一橋大学イノベーション研究センター編, 『一橋ビジネスレビュー』, 東洋経済新報社, 2018年春号, 2018, 16-18ページ
- 5.2) 藤田公子, 『航空機—民間航空機産業の成功要因』, みずほ銀行調査部, 2015
<https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/...> (2020年10月28日閲覧)
- 5.3) Financial Times 2008/12/06 記事, “Deliveries of Boeing 787 likely to be two years late”
- 5.4) 「半世紀の空白を超え、国産航空機の復活を!—いまこそ、日本の先端技術とブランド力20を生かす好機」, mugendai, 2016.6.02 (鈴木真二東京大学大学院教授インタビュー記事、
<https://www.mugendai-web.jp/archives/5403>, (2020年10月28日閲覧)
- 5.5) せきれい社: 『世界航空機年鑑 2019-2020』, 2020, 182~185, 198~199, 222ページ
- 5.6) 日本航空機開発協会: 世界の民間航空機と将来機の開発状況, 2020, 『令和元年度 民間航空機関連データ集、第VII章』
(www.jadc.jp/data/associate/, 2020年10月28日閲覧)
- 5.7) Aviation Wire (2015/12/23)
岸副社長 「経験不足」 特集 MRJ はなぜ納入遅れになるのか

- <https://www.aviationwire.re.jp/archives/77973> (2018年6月20日閲覧)
- 5.8) 川勝弘彦 (国土交通省 航空局 安全部 航空機安全課長) : 『型式証明制度の意義－ 航空機の安全性を確保するために－』、「航空と文化、No. 107、2013年夏季号」、日本航空協会, 2013, 2～9 ページ
- 5.9) https://www.airforce-technology.com/news/news_107721.html (具体例: Airbus A400M 全機疲労試験に関する記述) (2018年6月20日閲覧)。
- 5.10) 産経ニュース 2017/3/27 記事、「三菱航空機、MRJ 納期必達へ「背水の陣」、外国人技術者を追加雇用、・・・」など
<https://www.sankei.com/economy/news/170327/ecn1703270029> (2018年6月20日閲覧)
- 5.11) 青木謙知, 『航空機における国際分業』, 2 ページ
<https://www.teikokushoin.co.jp/journals/geography/pdf/...> (2018年6月20日閲覧)
- 5.12) Foster School of Business, UNIVERSITY of WASHINGTON, Revised October 14, 2008
https://foster.uv.edu/wp-content/uploads/2015/02/global_ (2018年6月20日閲覧)
- 5.13) 幻冬舎 GOLDONLINE (2019/6/15)
<https://gentosha-go.com/list/kamehamera> (2020年10月23日閲覧)
- 5.14) 全日本空輸 : 『2019年3月期決算説明会資料』, 2019, 19 ページ
- 5.15) 「航空技術」 2011.5月号記事, 「Sukhoi Superjet 100」(ページ23), 「Comac ARJ21」(ページ28)
- 5.16) China(COMAC) to take on Boeing , Airbus with homegrown C919 passenger jet (CNN)
<https://perennialinvesting.wordpress.com/2015/11/03/china-to-take-on-boeing-airbus-with-homegrown-c919-passenger-jet-cnn/>, (2018年6月20日閲覧)
- 5.17) せきれい社 : 『世界航空機年鑑 2014-2015』, 2014, 196 ページ
- 5.18) トラベルボイス 観光産業ニュース, 2016年7月18日, 【秋本俊二のエアラインレポート】
- 5.19) 日本航空機開発協会 : 『主要民間輸送機の受注・納入状況』, (2020年8月末現在) , 2020,
http://www.jadc.jp/files/topics/90_ext_01_0.pdf, (2020年10月28日閲覧)
- 5.20) <https://www.businessinsider.jp/post-185371>, (2020年10月28日閲覧)
エアバス「A380」生産中止、革新的な機体はなぜ10年余で期待を裏切ったのか
- 5.21) <https://www.recordchina.co.jp/b214338-s10-c20-d0035.html>, (2020年10月28日閲覧)
中国航空機の半数以上がボーイング社製、トランプ大統領の訪中にも随行
- 5.22) https://news.biglobe.ne.jp/international/0107/rec_180107, (2020年10月28日閲覧)
マクロン仏大統領訪中、中国はエアバス機100機発注など大盤振る舞いの返礼へ
- 5.23) 事業再生塾 (2019/9/8)
設計段階でのコストダウンの重要性
<https://www.imase-anei.com/archives/1129> (2020年6月20日閲覧)
- 5.24) 独立行政法人 経済産業研究所 川瀬剛志ファカルティフェロー, 『航空機開発支援とWTO補助金規律－MRJ初号機ロールアウトによせて』
<https://www.rieti.go.jp/jp/columns/a01.0409.html> (2020年10月28日閲覧)
- 5.25) <https://www.jiji.com/jc/article?k=2019032900405&g=int>, (2019年5月22日閲覧)
ボーイング補助金は不当＝米欧紛争痛み分け決着－WTO

- 5.26) イカロス出版：『旅客機年鑑 2020-2021』, 2020, など
 具体的には、A380：91-94 ページ、787：24-29 ページ、A350：105-116 ページ、MSJ：149-154 ページ、A220：126-128 ページ
 5.4.1 節（1）、（2）の革新的な試みや技術の例、（4）の機種名変更についても上記ページによる
- 5.27) <https://wedge.ismedia.jp/articles/-/21310> （2020年12月30日閲覧）
 なぜ国産ジェット機は開発凍結に至ってしまったのか？
- 5.28) <https://newspicks.com/news/5347531/body/> （2020年10月31日閲覧）
 三菱ジェット、開発費「95%減」の衝撃度
- 5.29) 日経 XTECH (2019/12/26)
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/03423> （2020年10月26日閲覧）
 MRJ 開発遅延の真相、知見不足で8年を浪費 直面した900件以上の設計変更
- 5.30) <https://www.asahi.com/articles/ASJ2D3HK8J2DOIPE004.html> （2020年12月30日閲覧）
 MRJ 開発費 3300 億円に 計画遅れ、当初の2倍超
- 5.31) 日本経済新聞 電子版 (2020/10/23)
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO65359980721C20A0000000> （2020年10月23日閲覧）
 三菱重工、決断先送りのツケ 航空機空費の一兆円
- 5.32) 日本経済新聞 電子版 (2019/9/6)
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO43808750X00C19A8000000> （2019年9月7日閲覧）
 三菱スペースジェットの命運握る次世代機、開発始まる
- 5.33) MHI Report 2015
https://www.mhi.com.com/jp/finance/library/annual/pdf/report_2015_14pdf (2020年12月30日 覧)
 時代の飛躍を牽引する MRJ
- 5.34) 三菱航空機幹部へのヒヤリング調査より (2019年6月19日など)
- 5.35) 藤田公子, 『欧州グローバルトップ企業の競争戦略』, みずほ銀行産業調査部, 2015
<https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/1050.02.07.pdf>
 (2019年5月12日閲覧)
- 5.36) 山崎文徳, 民間航空機エンジンメーカーの収益構造とアフターマーケット, 『立命館経営学』, 第52巻 第2・3号, 2013年11月, 405~427 ページ
- 5.37) 篠田和英, 『民間航空機の安全・開発保証プロセスについて』, 三菱航空機, 2014
<https://www.ipa.go.jp/files/000036469.pdf> (2018年6月20日閲覧)
- 5.38) ポール・クラーク, 『買うべき旅客機とは?』, イカロス出版, 2013
- 5.39) 半田邦夫, 『航空機生産工学』, オフィス HANS, 2006
- 5.40) 李家賢一, 『航空機設計法』, コロナ社, 2011

謝辞

本論文は、多くの方々のご指導・ご協力によって作成された著書や論文をもとに、行った研究をまとめたものです。

本論文に関し、主査を務めて頂くとともに有益なご助言、ご指摘およびご指導を賜りました大阪府立大学大学院工学研究科 新井隆景教授には心から感謝の意を表します。本論文の重要な要素のもととなる日本科学史学会投稿論文の作成におきましても、前段階も含め長期にわたり有用なご助言とご指摘を頂きました。心からお礼申し上げます。

副査を務めて頂きました立命館大学経営学部 山崎文徳教授には、同じく日本科学史学会投稿論文の作成におきまして、経営学の視点から有用なご助言とご指摘を頂きました。ご多用ご多忙の最中、ご尽力を頂きましたことに厚くお礼申し上げます。

大阪府立大学大学院工学研究科 千葉正克教授、同 下村卓教授には、何かとお忙しい時期にもかかわらず、副査を務めて頂き、貴重なご意見を頂戴いたしました。心よりお礼申し上げます。

本論文は、長年内外の航空機産業に色々な立場に関わってきた背景をもとに、航空機工業界全体を俯瞰した振興策を今後のために体系的かつ詳細に提示しておく必要があると考えて作成したものです。従って、本論文のベースとなっているのは、以前に刊行させて頂いた2冊の著書、『航空機産業のすべて』（日本経済新聞出版社、2012）、『航空機産業と日本』（中央公論新社、2017）でもあります。そして、これらの著書執筆の前段階として、10年以上前からほぼ月に一度のペースで大阪府立大学航空宇宙工学課程の3回生を主対象に実施してきている「エアロスペース・インダストリー・シリーズ」と銘打った講演と、2010年から2014年にかけて年30コマのペースで立命館大学理工学部の機械系の3、4回生を対象に行った「航空機の技術と関連する産業」というテーマの講義があります。

上述の講演や講義は、会社時代に得た知見だけで対応できるものではなく、更に学びかつ必要に応じて取材をした上で航空機産業や航空機技術について体系化することが必要でした。こうしたプロセスの成果が、上述著書の刊行につながり、更には、本論文の作成につながりました。このような意味合いにおいて、講演「エアロスペース・インダストリー・シリーズ」や講義「航空機の技術と関連する産業」はある意味本論文のルーツとも言えます。講演「エアロスペース・インダストリー・シリーズ」スタート時点から積極的に支援して頂いた新井隆景教授、千葉正克教授には改めて謝意を表したいと思っています。また、当時本学の教授であられた辻川吉春名誉教授、大久保博志名誉教授、砂田茂名古屋大学教授にも力強いサポートを頂きました。心からお礼申し上げたいと思っています。その後、下村卓教授、小木曾望教授、辻井利昭教授にも支援に加わって頂きました。お三方にもお礼を申し上げたいと考えています。また、講義「航空機の技術と関連する産業」の実現に動いて頂いた当時の立命館大学大学院理工学研究科の酒井達雄教授にも厚くお礼申し上げます。

更には、お名前を申し上げると切りが有りませんので、省略させていただきますが、取材にご協力を頂いた多くの方々に感謝申し上げます。著書出版時ご協力を頂いた出版社の方々にも厚くお礼申し上げます。特に、日本経済新聞出版社執行役員であられた森川佳勇氏と中央公論新社学芸局長であられた郡司典夫氏には企画、執筆、校正などにおいて大変お世話になりました。改めてお礼申し上げます。