

50年のあゆみ

1973（昭和48）年～2023（令和5）年

一般財団法人日本航空機開発協会



序文

一般財団法人日本航空機開発協会は 2023 年 3 月 30 日を持ちまして、設立 50 周年を迎えました。これを機に、ご支援いただいた関係各所の皆様への謝意を示すとともに、これから先の発展に向けての参考になればと思い、これまでの活動内容を「50 年のあゆみ」としてまとめました。

過去にも、節目であります設立 20 年、設立 30 年時点までの活動を、その時点での「あゆみ」として発行してまいりましたので、この 50 年の節目におきましては、設立 30 年目以降の 20 年間のあゆみを主体に記載させて頂きました。また、この 20 年間の大きな出来事でありました Boeing 787 の開発につきましては、民間航空機株式会社より「787 開発のあゆみ」として、開発当初から量産立ち上がりにかけての経緯がまとめられておりますので、本誌では Boeing 787 の開発があったことのみ記載させて頂きました。従い、本誌は、Boeing 787 に続き開発された Boeing 777X を中心に編纂させて頂きました。尚、記念誌を編集するにあたり、省庁並びに会社名におきましては現在の名称で表記しております。

尚、5 月 23 日に在シアトル日本国総領事館公邸にて、在シアトル日本国総領事館と共催の 50 周年記念レセプションを実施し、ボーイング社からは Stanley A. Deal 社長をはじめ、24 名のエグゼクティブ、領事館から招待のワシントン州関係者他 18 名、JAI 各社の航空宇宙部門、METI を含め、合計 67 名の方にご参加いただきましたことお礼申し上げます。

50 周年記念誌編集員一同

目次

序文	1
ご挨拶	
一般財団法人日本航空機開発協会 代表理事 理事長 中村 知美	4
口絵	
共同開発した民間航空機	6
共同開発の歴史	13
Boeing 777X プロジェクト参画の各社	14
祝辞	
Boeing Commercial Airplanes President & CEO Stanley A. Deal	32
経済産業省 製造産業局長 山下 隆一	33
公益財団法人航空機国際共同開発促進基金 代表理事 会長 渡辺 紀徳	35
本文	
初めに（これまでの 20 年を振り返り）	37
大型民間輸送機（777X）開発事業	39
大型民間輸送機関連技術開発事業(LCTRD)	55
中小型民間輸送機関連技術開発事業（AATRD）	57
民間航空機の市場に関する調査研究（CAMKT）事業	59
官需機活用民間航空機開発調査事業	64
革新的軽量構造設計製造基盤技術（ISTR）開発事業	66
航空機用先進システム基盤技術（ASYS）開発事業	69
超高速輸送機（HSTP）実用化開発調査事業	71
環境適合型高性能小型航空機（EASA）研究開発事業	74
まとめ（これからの 50 年に向かって）	76
特別寄稿	
三菱重工業株式会社 代表取締役社長 CEO 泉澤 清次	78
川崎重工業株式会社 代表取締役社長執行役員 橋本 康彦	79
新明和工業株式会社 代表取締役 取締役社長 五十川 龍之	80
日本飛行機株式会社 代表取締役社長 飛永 佳成	81
三菱重工業株式会社 常務執行役員 阿部 直彦	82
川崎重工業株式会社 専務執行役員 下川 広佳	83
株式会社 S U B A R U 常務執行役員 戸塚 正一郎	84
一般財団法人日本航空機開発協会 代表理事 副理事長 大道 正夫	85
資料	
年表（2003（平成 15）年以降 20 年間に記載）	87
役員在任期間一覧	90
事業費と人員の変遷	91
50 周年レセプション	92

写真提供／協力者／編集・事務局

ご挨拶

一般財団法人日本航空機開発協会 代表理事 理事長 中村 知美 4



一般財団法人日本航空機開発協会
代表理事 理事長 中村 知美

当協会は、民間航空機の開発に関する調査研究を通じて我が国航空機産業の発展、繁栄に寄与することを目的として、昭和48年3月30日に「財団法人民間輸送機開発協会」として発足しました。昭和57年12月には「財団法人日本航空機開発協会」と改称し、その後、平成25年4月に一般財団法人となり、令和5年3月30日をもって創立50周年を迎えました。

当協会は、これまで各種の開発事業を通じ、我が国の航空機産業の発展に幅広く貢献して参りました。これはひとえに、経済産業省をはじめとする関係諸団体のご支援とご指導、並びに航空機製造各社および関連各企業のご努力、ご協力の賜物です。この機会をお借りし、厚く御礼申し上げます。

さて、この節目の年を迎えるにあたり、「50年のあゆみ」を、平成15年に発行した「30年のあゆみ」以降の20年間を中心に取り纏めました。振り返れば20年前は、2001年の9.11米国同時多発テロ事件に端を発する航空機の大幅な減産から急速に立ち直りつつあった時期でした。その後、リーマンショック、SARSなどの影響はあったものの、2019年まではほぼ一貫して右肩上がりの増産が続き、航空業界にとっては順風満帆の時期であったと言っても過言ではなかったかと思えます。しかしながら、2020年から始まった新型コロナウイルス感染拡大（パンデミック）により、航空機産業は受注、販売とも大きな打撃を受けました。但し現在はパンデミックも終息に向かいつつあり、少しずつ回復の兆しが見えてきた状況と認識しております。

こうした時代背景の中で、当協会はボーイング社と共同で開発した767、777に続き、2004年にローンチした787プロジェクトにおいて、日本側の中核として機体メーカーを取り纏め、機体構造部分の開発について過去最高のシェアを獲得することができました。そして、それまでに蓄積された成果を発展・継承し、ステークホルダーとの緊密なコミュニケーションを図ることにより、現在開発中の777Xでも現777と同レベルのシェアを獲得致しました。更に、各種の先進技術開発事業や民間航空機市場に関する調査研究事業を通じて、我が国航空機産業が世界で欠かせない存在となるために様々な貢献をしてまいりました。

航空機産業は、今後とも大きな成長が期待されている産業です。しかしながら課題も色々あります。カーボンニュートラルの実現は最も大きな課題の一つであり、またデジタル化への対応も、日本の航空機産業が競争力を向上し発展し続けるために不可欠です。当協会は、航空機産業を取り巻く環境変化に的確に対応しつつこれらの課題解決に取り組み、我が国航空機産業の更なる成長、発展のため、精一杯努めてまいりますので、一層のご支援、ご協力を賜りますよう何卒よろしくお願い申し上げます。

最後になりましたが、当協会の創立50周年に対して多くの皆様からご祝辞、ご寄稿等を賜り、心からお礼申し上げます。

目 絵

共同開発した民間航空機	6
共同開発の歴史	13
Boeing 777X プロジェクト参画の各社	14

共同開発した民間航空機

Boeing 787

機体全景



写真提供：Boeing 社



写真提供：Boeing 社

※Boeing 787 に関する詳細は「787 開発の歩み（民間航空機（株）発行）」を参照願います。

共同開発した民間航空機

Boeing 777X プロジェクト

機体全景



写真提供：Boeing 社



写真提供：Boeing 社

共同開発した民間航空機

Boeing 777X プロジェクト

機体全景



写真提供：Boeing 社

Boeing 777X 初飛行 (2020.1.25)



写真提供：Boeing 社

共同開発した民間航空機

Boeing 777X プロジェクト

コックピット



写真提供：Boeing 社

客室内



写真提供：Boeing 社

共同開発した民間航空機

Boeing 777X プロジェクト

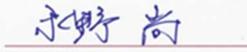
開発・量産参画・覚書調印 (2014.6.12)





Together, we fly.

With innovation, trust and commitment, Boeing and JAI will continue to achieve market leadership and create value for airlines and their passengers.

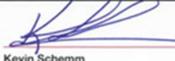
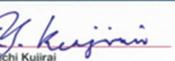
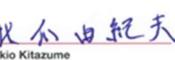
 Ray Conner Chairman, President and CEO Boeing Commercial Airplanes	 Yoichi Kujirai President and CEO, Commercial Aviation & Transportation Systems Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.	 Munenori Ishikawa President, Aerospace Company Kawasaki Heavy Industries, Ltd.	 Hisashi Nagano President, Aerospace Company Fuji Heavy Industries Ltd.
 Anthony (Kent) Fisher Vice President and General Manager Supplier Management Boeing Commercial Airplanes	 Kanji Ishimaru Director, Member of the Board, Senior Executive Officer ShinMaywa Industries, Ltd.	 Yukio Hayano President and CEO NIPPI Corporation	 Hideaki Omiya Chairman Japan Aircraft Development Corp.

共同開発した民間航空機

Boeing 777X プロジェクト

開発・製造 正式契約 調印 (2015.7.23)



 Kevin Schemm Senior Vice President Supply Chain Management, Finance & Business Operations Chief Financial Officer Boeing Commercial Airplanes	 Shigeru Murayama Chairman Japan Aircraft Development Corporation	 Yechi Kujirai President and CEO Commercial Aviation & Transportation Systems Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.	 Munenori Ishikawa President, Aerospace Company Kawasaki Heavy Industries, Ltd.	 Hisashi Nagano President, Aerospace Company Fuji Heavy Industries Ltd.
 Bob Feldmann Vice President and General Manager, 777X Program Boeing Commercial Airplanes	 Bob Noble Vice President, Partnering for Success Supplier Management Boeing Commercial Airplanes	 Yukio Kitazume Vice Chairman Japan Aircraft Development Corporation	 Kanji Ishiyama Director, Member of the Board Senior Executive Officer ShinMaywa Industries, Ltd.	 Toshifumi Kojima President and CEO NIPPI Corporation

共同開発した民間航空機

Boeing 777X プロジェクト

開発・製造 正式契約 調印 (2015.7.23)



Working Together Agreement

Vision

Guided by the Working Together principles, Boeing and Japan Aircraft Development Corporation will partner to make the 777X the most efficient and preferred airplane for the 21st century.

Objectives

We will:

- mutually strive for continued satisfaction of airlines
- deliver a service-ready and durable airplane on time
- ensure airline's expectations are considered in the design
- mutually support critical schedule milestones and program goals
- secure involvement and commitment from key suppliers as required
- ensure the highest reliability, maintainability, durability and operational availability of the airplane and its systems.

Key Actions

We will:

- establish a Working Together team with appropriate involvement from all companies
- establish continuous Senior Leadership engagement from all companies to ensure an integrated effort toward creating the airplane as envisioned
- share information up front and early
- openly discuss potential risks, opportunities and issues that arise, managing plans together for success
- review program progress and agreed-to milestones on a regular basis
- share each other's continuous improvement experiences and lessons learned

Program Culture

We will:

- build and enhance our relationships based on transparency and operating with facts and data
- act with resolve to meet our commitments
- actively help each other as we work toward our mutual success

Bob Feldmann

Bob Feldmann
Vice President, Program Manager
777X Program

Shigeru Murayama

Shigeru Murayama
Chairman
Japan Aircraft Development Corporation
for Julius Murayama



**Boeing and
Japan Aircraft Industries**

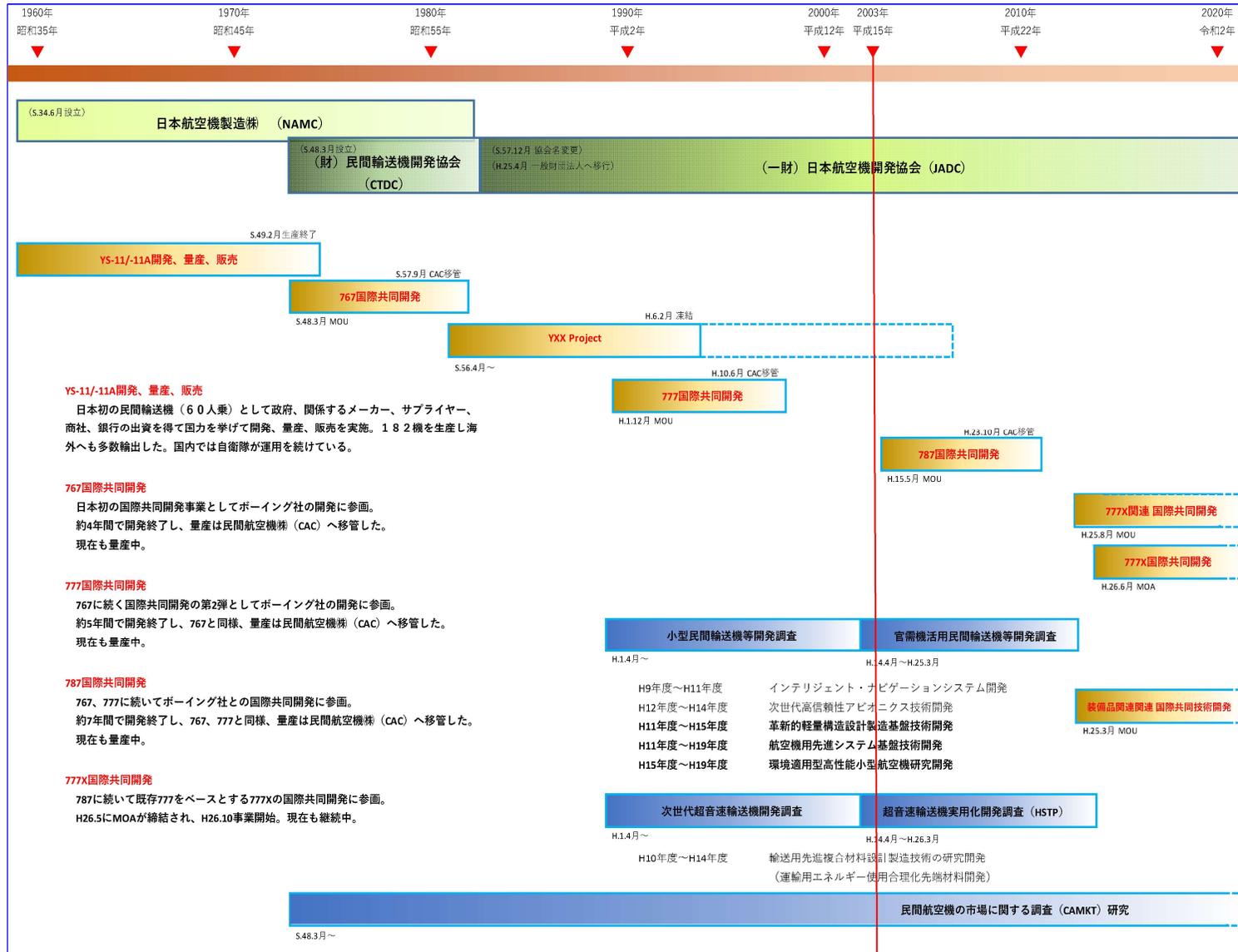
777X WT
WORKING TOGETHER

Strong and Enduring Partnership

Working together, we will produce the world's largest, most efficient twin-engine family of jets, bringing exceptional value to our customers and passengers.



共同開発の歴史



Boeing 777X プロジェクト参画の各社

三菱重工業株式会社

江波工場全景



写真提供：三菱重工業株式会社

MHI エアロスペースベトナム工場全景

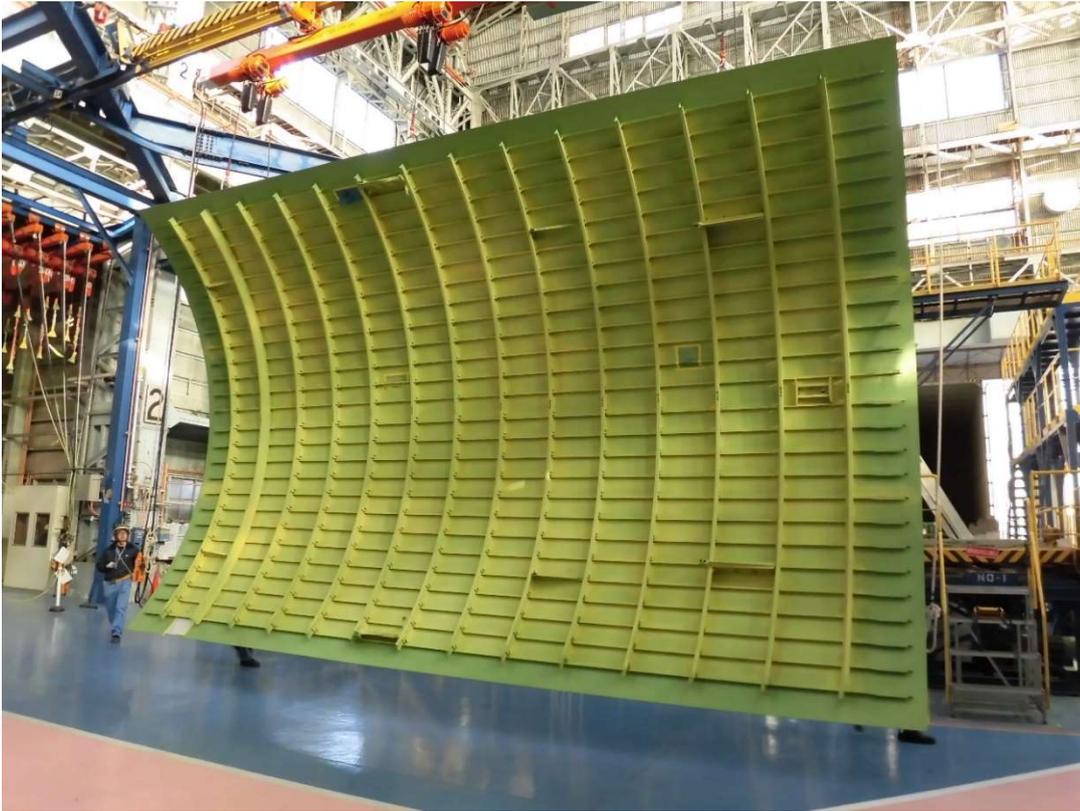


写真提供：三菱重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

三菱重工業株式会社

Section 46 スキンパネル製品



写真提供：三菱重工業株式会社

Section 47 スキンパネル製品



写真提供：三菱重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

三菱重工業株式会社

尾胴製品



写真提供：三菱重工業株式会社

乗降扉製品



写真提供：三菱重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

三菱重工業株式会社

初号機出荷記念式 (2018.2.7)



写真提供：三菱重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

川崎重工業株式会社

名古屋第一工場全景



写真提供：川崎重工業株式会社

777X 工場全景



写真提供：川崎重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

川崎重工業株式会社

名古屋第一工場竣工式 (2017.2.13)



写真提供：川崎重工業株式会社

Boeing 777X 初号機納入式 (2018.2.6)



写真提供：川崎重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

川崎重工業株式会社

新規導入設備①



写真提供：川崎重工業株式会社

新規導入設備②



写真提供：川崎重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

川崎重工業株式会社

組立作業状況



写真提供：川崎重工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

株式会社 S U B A R U

宇都宮工場全景



写真提供：株式会社 S U B A R U

半田工場全景



写真提供：株式会社 S U B A R U

Boeing 777X プロジェクト参画の各社
株式会社 S U B A R U
777X 組立工場（半田工場）全景



写真提供：株式会社 S U B A R U

中央翼製品



写真提供：株式会社 S U B A R U

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

株式会社 S U B A R U

Main Landing Gear Door 製品



写真提供：株式会社 S U B A R U

中央翼初号機出荷式 (2018.2.8)



写真提供：株式会社 S U B A R U

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

株式会社 S U B A R U

Fairing Structure 初号機出荷式 (2018.4.10)



写真提供：株式会社 S U B A R U

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

新明和工業株式会社

甲南工場全景



写真提供：新明和工業株式会社

宝塚分工場全景



写真提供：新明和工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

新明和工業株式会社

777X 打錠式 (2018.2.2)



写真提供：新明和工業株式会社

777X 初号機納入式 (2018.4.4)



写真提供：新明和工業株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社
新明和工業株式会社
Aft Fairing 製品



Boeing 777X プロジェクト参画の各社

日本飛行機株式会社

横浜工場全景



写真提供：日本飛行機株式会社

Stub Beams 初号機出荷式 (2018.2.5)



写真提供：日本飛行機株式会社

Boeing 777X プロジェクト参画の各社

日本飛行機株式会社

Stub Beams 製品



写真提供：日本飛行機株式会社

祝 辞

Boeing Commercial Airplanes President & CEO Stanley A. Deal	32
経済産業省 製造産業局長 山下 隆一	33
公益財団法人航空機国際共同開発促進基金 代表理事 会長 渡辺 紀徳	35



Stanley A. Deal
President & CEO
Boeing Commercial Airplanes

Dear Omichi-san,

It is a great honor to send my warmest congratulations to Japan Aircraft Development Corporation for 50 years of success. Our entire team at Boeing Commercial Airplanes extends its deepest congratulations as JADC celebrates this amazing accomplishment.

Our partnership, built upon mutual trust, is unwavering and we will continue to build upon our successes together. That is more evident than ever as Boeing and JADC have continued to enhance our relationship through the unique challenges our industry experienced over the past few years. I fully expect our collaboration to grow as the aviation market continues to recover. Our relationship is an excellent example of two expert organizations coming together to continue advancing the aviation industry.

Boeing and JADC have accomplished many great things together. We collaborated on classic aircraft such as the 767 and 777, as well as introduced new technologies within the 787 that will continue to shape the aviation industry. The latest partnership, within the 777X continues to build upon this history. These products have greatly impacted Boeing, our airline customers and the Japanese aviation industry.

I am confident that our continued collaboration, knowledge sharing and partnership will drive an extremely bright future for both of our organizations. The aviation market continues to show strong signs of recovery and growth. I believe we will be able to continue building upon our successes and carry that momentum into the future.

Boeing is excited to share this great achievement with you.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink that reads "Stanley A. Deal". The signature is written in a cursive, flowing style.

Stanley A. Deal

祝辞



創立 50 周年をお祝いして

経済産業省
製造産業局長 山下 隆一

一般財団法人日本航空機開発協会の設立 50 周年に当たり、お祝いの言葉を述べさせていただきます。

貴協会発足から 50 年間で、我が国航空機産業は、国際共同開発により大きく飛躍を遂げてきました。YX/B767 から始まったボーイング社との国際共同開発では、B787 において、日本企業のワークシェアが 35%まで増加し、ボーイング社がそれまで外注することがなかった主翼を始めとして、前胴、中央翼等を日本企業が担当するに至りました。これらの成果は、弛まぬ技術開発や品質向上に向けた活動、ボーイング社との長年の信頼関係を構築してきた各企業及び貴協会の尽力の結果と考えております。

コロナ禍で厳しい市場環境であった航空機産業も、足元、回復の兆しが見えてきており、中長期的には、アジア等の新興国の経済成長を背景とした成長産業と考えております。加えて、航空機の部品点数は 300 万点にも及び中小を含めて幅広いサプライチェーンで支える構造となっている波及効果の大きい産業です。また、様々な先端技術が適用され、そこで開発・実用化された技術が他の産業にも展開されることを通じ、産業全体にも波及効果が期待され、引き続き重要産業であると考えております。

一方で、現下の航空機産業は、これまでにない大きな環境変化に直面しており、GX、DX、経済安全保障など、これまでの延長線上ではない取組が不可欠となってきております。

当省としては、これまでも環境技術に対する研究開発や日本に強みのある複合材技術の開発の支援等に取り組んできましたが、さらにもう一步踏み込んだ支援に取り組んでおります。

DXについては、高度な安全認証への対応により増大している航空機の開発期間・コストを効率的にマネジメントするため、航空機の設計・製造・認証等のデジタル技術を用いた開発製造プロセス高度化に取り組んでおります。

GXについては、グリーンイノベーション基金による水素航空機向けのコア技術及び飛躍的な軽量化を可能にする構造部材の製造技術を開発プロジェクトの推進に加え、昨年末にGX実行会議で取りまとめられた「GX実現に向けた基本方針」において、2030年代の次世代航空機の実現に向けた取組を、GX移行債の活用を念頭に置いた取組分野の一つとして、位置づけております。

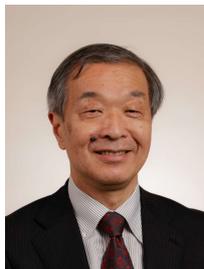
経済安全保障分野では、ロシアによるウクライナ侵攻の影響等、サプライチェーンリスクの高まりを受け、航空機の部品を経済安全保障推進法上の特定重要物資として指定し、特定国へ依存している、又は今後依存するおそれがあるものの安定供給に取り組んでおります。まずは、大型鍛造、CMC、炭素繊維について具体的な取組を開始しました。

航空機産業を取り巻く環境は大きな変化を迎えており、一つ一つの課題を個社で乗り越えていくことが難しい状況となっております。我が国航空機産業が更なる発展を遂げるためには、個社の取組を超えて、日本の航空機産業各社が一丸となり課題解決に取り組まなくてはなりません。そのような中、日本の航空機産業各社を取りまとめている貴協会の果たすべき役割は、ますます大きくなってきています。

当省としても、本年6月より産業構造審議会を開催し、我が国の航空機産業の更なる成長に向けた方針について議論を開始しており、航空機産業の更なる成長に向けた戦略構築に努めております。その中で、貴協会及び関係者の皆様の取組を御支援し、我が国航空機産業の一層の発展のため懸命に努力して参ります。

最後となりましたが、貴協会が長年、取り組まれた成果と、そのバトンを引き継いでこられた関係者の皆様の御活躍に敬意を表するとともに、我が国航空機産業の益々の発展を祈念いたしまして、私からのお祝いの言葉とさせていただきます。

祝辞



創立 50 周年をお祝いして

公益財団法人航空機国際共同開発促進基金
代表理事 会長 渡辺 紀徳

このたび、貴協会が創立 50 周年を迎えられましたことを、心からお祝い申し上げます。

貴協会は 1973 年の創立以来 30 年間で、ボーイング社との国際共同開発を通じて 767 型機、777 型機等の開発を推進し、我が国の民間航空機産業の振興・発展に寄与する多大な貢献を果たされました。

その後今日に至る 20 年間に、貴協会は 787 型機、777X 型機等の国際共同開発にも鋭意取り組んでおられます。

2004 年にローンチされた 787 型機は、効率性を重視し、環境適合性、快適性、利便性等を追求した 200～250 席クラスの中型民間輸送機としてボーイング社との国際共同開発を行い、2011 年に成功裏に完遂されました。この航空機では、複合材主翼の製造を我が国が担う等の技術的な進展が実現し、貴協会や我が国の民間航空機産業にとって画期的な機体となりました。

一方、大型民間輸送機の関連技術について 2013 年にボーイング社との国際共同開発を開始し、安全性を重視し、優れた効率性及び操縦性、価格上の優位性等を有する 310～399 席クラスの 777X 型機の開発が正式にローンチされて以降、同社との国際共同開発を継続しておられます。

また、中小型民間輸送機については、機体の設計開発の高度化、高付加価値化に寄与するシステム統合技術について、その要求を満たすための発電、高揚力、電源安定化の各システム関連基礎技術を 2014 年からボーイング社と国際共同開発しておられます。

このように貴協会は創立以来、国際共同開発に大きな貢献を継続してなされてきました。ここに改めまして関係者の皆様のご尽力に敬意を表します。

当基金は 1986 年に財団法人として設立され、また、同年に航空機工業振興法に基づく指定開発促進機関の指定を受けて、航空機等の開発事業者に対して助成を行っております。貴協会のこの 20 年間におけるプロジェクトについては、選定委員会における厳正な審議を経て、2004 年 11 月、2013 年 8 月、2014 年 9 月にそれぞれ助成対象事業に選定し、助成して参りました。

我が国の民間航空機産業は、旺盛な航空旅客需要に支えられて 2010 年代までは概ね順調な発展を遂げてきましたが、2020 年から世界的に蔓延した COVID-19 による航空業界への深刻な打撃などの影響により、先行きが見通しにくい状況となっております。また、深刻化しつつある気候変動問題に対処するため、電動航空機や水素航空機など新たな技術の開発が喫緊の課題となっており、我が国の民間航空機産業が将来にわたって競争力を維持し、成長していくためには、これらの技術に積極的かつスピーディに取り組むことが求められています。

このような大きく変化する状況におきまして、貴協会がこれまで培ってこられた 50 年間の豊富な経験と優れた実績をもとに、我が国の民間航空機産業をリードし、新たなプロジェクトを立ち上げて、今後ますます発展されることを祈念し、お祝いの言葉といたします。

本 文

初めに（これまでの 20 年を振り返り）	37
大型民間輸送機（777X）開発事業	39
大型民間輸送機関連技術開発事業（LCTRD）	55
中小型民間輸送機関連技術開発事業（AATRD）	57
民間航空機の市場に関する調査研究（CAMKT）事業	59
官需機活用民間航空機開発調査事業	64
革新的軽量構造設計製造基盤技術（ISTR）開発事業	66
航空機用先進システム基盤技術（ASYS）開発事業	69
超高速輸送機（HSTP）実用化開発調査事業	71
環境適合型高性能小型航空機（EASA）研究開発事業	74
まとめ（これからの 50 年に向かって）	76

※2003（平成 15）年以降に実施した次期中型民間輸送機（787）国際共同開発事業につきましては
民間航空機（株）発行「787 開発の歩み」を参照願う。

初めに（これまでの20年を振り返り）

本書は、冒頭の「序文」にある通り、「50年の歩み」とうたいつつも、2003年から今日（2023年初め）までの20年間を中心に、（一財）日本航空機開発協会の事績と協会がかかわった主な事業の足跡を辿る内容となっている。この20年間に日本航空機開発協会が関わった事業は、主としてBoeing787（以下、787という。）及びBoeing777X（以下、777Xという。）であるが、787については、これも「序文」で断っている通り、本書では、その開発の経緯等は、ほぼ割愛されている。従って、本書で述べられている主な国際開発事業は、777Xのみとなるが、それだけでは、20年間に総括的に眺めたことにはならないので、簡単に、この20年がどんな年月だったかにつき、協会の目線で、振り返ってみたい。

この20年間は、大きく3つに区分出来る。2003年～2015年までの急速な右肩上がりの成長の期間、2016年～2019年までの高収益維持の期間、そして2020年から今日（2023年2月）までの急激な減速の期間の3つである。

最初の右肩上がりの成長期間は、数字にも表れており、（一社）日本航空宇宙工業会の資料によれば、2003年の我が国の民間航空機（含むエンジン）全体の売上高は、3,698億円だったのに対し、2015年のそれは、1兆3,035億円であり、実に12年で3.5倍まで伸びたことになる（年平均2割以上の伸び）。この主な牽引車は、787であったことは言うまでもない。日本が35%のシェアで参画した787が、その前身である7E7という名称でATO（Authorization To Offer：事業化決心）されたのが、丁度、20年前の2003年12月であり、JAI各社が787の初号機をボーイングに納めたのが2007年、そして、その後、787は増産モードに入っていた。我が国における民間航空機の未曾有の成長は、まさに、787によりもたらされたのである。更には、この間には、777Xがローンチ（2013年11月）し、そして、ボーイングが次期中小型機の開発としてNMA（New Midsized Aircraft）の新計画を市場向けに言及し始め、それに呼応した形で協会として中小型民間輸送機関連技術開発事業を開始したのも2013年のことであった。また、勃興するRegional機市場への参画検討の為、協会では、2003年より、環境適合型高性能小型航空機の研究を開始した。まさしく2003年～2015年の13年間は、日本の民間航空機産業が、大きく飛躍し、かつ、更なる成長の機会を求めて積極的に活動した期間であったわけである。それ以降も、787が最高レートの月産14機を2019年に到達するなど、2016年～2019年までの我が国の民間航空機産業全体の売上高は、1.2兆円～1.3兆円の高水準を維持した。しかしながら、2020年に入ると事態は一転し、それまでの成長・安定軌道から、急速な減退を強いられる苦しい時代になった。例えば、2021年の売上高は、6,468億円に留まり、この数字は、それまでのピークから2年間で約半分にまで日本の民間航空機の出荷量が落ち込んだことを示している。これに追い打ちをかける様に、ボーイングのDavid Calhoun会長から、2022年11月の投資家向けInterviewで、「今後10年間は新型開発機の投入はしない」旨の発言がなされるなど、これまでの半世紀、ほぼボーイングの開発事業と共に歩んできた協会は、その先の開発事業すら見通せない状況に陥ってしまった。尚、先述のボーイングNMA計画も、2020年初頭には、白紙化されている。

この急速な減退の主因は、主に三つ挙げることができる。一つは、COVID-19（コロナ）の世界的蔓延（パンデミック）による全世界での旅客需要の冷え込みと航空機需要の減速である。そして、二つ目は、787の品質問題に起因する出荷停止を含む売上げの落ち込みである。そして、最後が、当初2020年には市場投入が目論まれた777Xの開発の大幅な遅れである。これら三つの問題が、2020年以降ほぼ同時期に起きたことにより、ボーイングの足踏み（財務状況の悪化や新型機の開発事業の中止、先延ばしなど）と共に、日本の民間航空機産業は、予期せぬ負のスパイラルに突入する事態になった。

一つ目のパンデミックの影響については、2020年初めにコロナが発生し、その後、世界中で猖獗を極めたが、幸いにも今日（2023年2月現在）、その蔓延は終息の段階にあり、航空機需要も急速に回復している状況にある。また、三つ目の経緯は、後述される「777X 開発事業」に詳しく記載した。従って、ここでは、二つ目の787の品質問題につき、簡単に触れておくことにする。

787の一連の品質問題が最初に発覚したのは、2020年夏のことであった。787後部胴体の結合部に不適切な作業があることがボーイング社内検査で発見され、不具合流出に該当すると考えられた就航中の8機の787が緊急点検のため、飛行停止となった。これを機に、787の作業の総点検が実施され、その結果、日本以外の作業（含むボーイング）を中心に多くの不具合（規定以上のギャップの発見など）が見つかり、2021年5月、米国航空局（FAA）は、ボーイングに対し、エアライン納入の停止を指示した。その後、ボーイングは、修理や改善に努めるも、エアライン納入が再開されたのは、ようやく2022年8月になってからのことであり、実に、1年3カ月に亘り、ベストセラー機と称された787の納入が止まってしまった。日本の生産や出荷も、当然ながら、この間大きな影響を受け、大幅な減産から中断へと事態は急速に悪化して行ったのである。

上述の複合的な要因の重なりにより、今日、日本の航空機産業界は非常に苦しい時代を迎えているわけではあるが、我が国の民間航空機事業の20年はどう総括されるべきだろうか。それは、上記で見た通り、果敢な挑戦と真摯な努力により未曾有の成長を果たした「成功の時代」でもあり、20年目の最後半の部分では、残念ながら、それまで築き上げたものが崩れて行った「陥穿の時代」でもあったと言えよう。

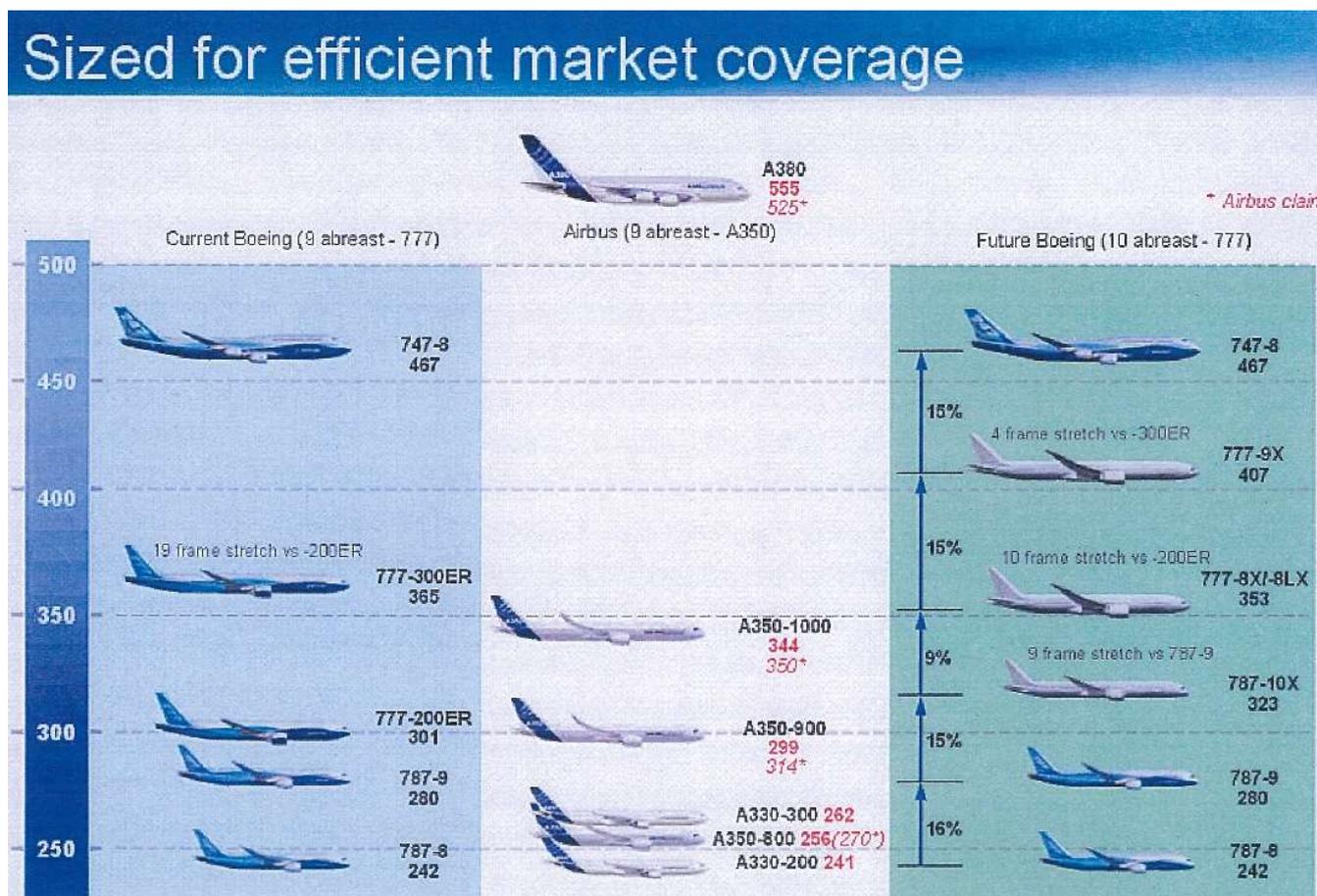
では、日本の民間航空機産業は、今後は、どの様に推移するのだろうか。最新の協会の市場予測（後述）によれば、世界の航空機市場におけるパンデミックからの回復は著しく、2022年からの20年間で、Single Aisle機（121席～230席）を中心に、約36千機の新規・代替機の需要があり、平均すれば、年4%程度の成長が見込める。即ち、ここ数年の苦しい状況を脱すれば、また、再び成長路線に戻ることが予測されているわけである。これは約束された数字ではないものの、世界の民間航空機産業が成長産業に変わりはないことを力強く語っている。但し、我が国の航空機産業が、この成長路線に乗っていくには、いくつかの課題もあると考えている。それについては、「まとめ（これからの50年に向かって）」に筆を譲るとして、以下の章では、協会が20年間携わってきた個々の事業や開発研究につき、順次、概括する。

大型民間輸送機（777X）開発事業

1. 777X 開発の経緯

1.1 777X ローンチまでの動静

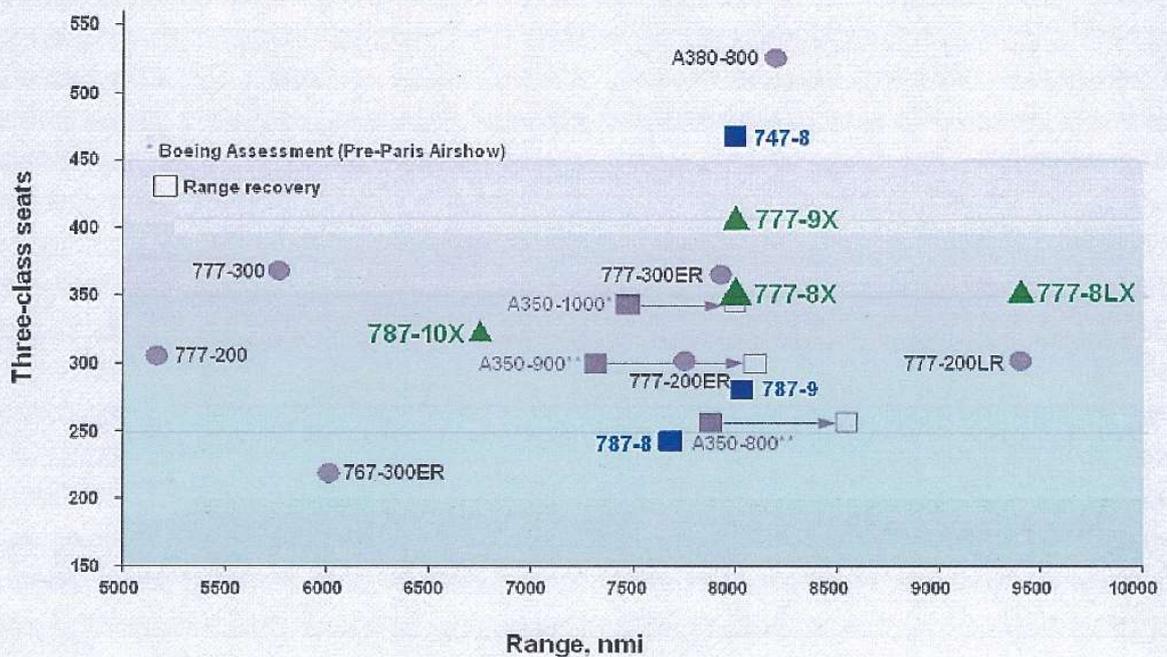
- ① 日本が35%のシェアで参画した Boeing 787 が、7回にわたる大きなスケジュール変更の末、2011年8月に、ようやく型式証明が取得することができ（FAA および EASA 型式証明 8月26日、JCAB 型式証明 8月29日）、同年9月25日には、ANA に対し、初号機の納入がなされた。
- ② この787の型式証明が取得されたこともあってか、2011年頃より、ボーイング社内では、「787の次の開発機種をどうするのか？ どの領域/クラスへ開発資源を振り向けるか？」の議論が盛んになってきていた。



- ③ 787後の新機種については、当時、二つの方向性が検討されていたと言われている。一つは、2000年代以降顕著になってきた Single Aisle の機体（ボーイング：737シリーズ VS エアバス：320シリーズ）におけるエアバスの急迫—エアバスは、2010年10月新型機 A320 NEO を発表—への対抗として、737NG を新規設計した Brand New 機体で、エアバスに対し技術的優位性を示そうと目論まれた「737RS (Replacement Study) 計画」、そして、もう一つは、市場伸張著しい中近東のフラッグキャリアの要求に応える形の、「新型 Long Range 大型機計画」であった。
- ④ この様な中、2011年の8月初旬ボーイングを訪問した日本航空機開発協会 (JADC) は、開発の順番は、これら二つの計画に先立ち、787シリーズの派生型である787-10が最初、次に777X (新型 Long Range 大型機計画)、そして、三番目が737RSであるとの情報に接した。
- ⑤ しかしながら、実際は、737MAX (2011年8月ローンチ)、787-10 (2013年6月ローンチ)、777X (2013年11月ローンチ) の順でローンチされ、777Xはこれらの中では最後のローンチとなった。737MAXが、A320NEOの登場によるエアバスの Single Aisle 市場席捲への圧力への対抗の必要性から、ボーイングにとり、最優先の選択肢となったというわけである。

- ⑥ さて、777X については、2011 年 9 月に、787 初号機納入と時を同じくして実施された、“将来プロジェクトおよびそのための技術 (R&D) 開発計画についての調整協議”において、ボーイングより、777X についてのコンフィギュレーションが初めて示された。それによれば、既存の 777 からの主な変更点は、複合材主翼、新エンジンの採用、胴体サイズの変更等であった。また、787-10 の開発と重なる可能性があるため、JAI の Engineering Resource に期待するところ大であるとの説明もこの時受けた。
- ⑦ これらの説明を取掛かりとして、日本との共同研究に関する MOA の協議が、2011 年 10 月ころから開始された。MOA で規定される 777X の為に必要な開発技術要素については、2012 年 10 月に日本側から 16 の技術開発項目を提案し、2013 年 4 月に個々の内容についてボーイングに対し、説明と調整を行った。その結果、6 項目が「詳細調整」、2 項目が「内容見直し」、8 項目については「推奨しない」との評価応答をボーイングから受けた。逆に、ボーイングからは、9 項目の追加提案もあった。
- ⑧ 加えて、ボーイングからは、777X の開発要素の方向性としては、「新技術より、むしろ、新生産方式の方に力点をおいて欲しい」旨の表明もあった。
- ⑨ これを受けて、経済産業省及び航空機国際共同開発促進基金 (IADF) には、「製造技術の革新」というテーマで助成頂ける様調整を実施した。
- ⑩ その後、ボーイング - 日本の両者間にて合計 25 項目 (日本：16 項目、ボーイング：9 項目) の技術開発項目に関する協議を行い、2013 年 6 月には最終的に次の 13 項目の研究を進めることで合意に達した。
- a) 航空機構造部材のレーザービームニング技術の開発 (SUBARU)
 - b) 高レート/低コスト生産に対応した胴体構造・製造技術の開発 (川崎重工業)
 - c) 先進アルミ材適用による軽量/低コスト胴体構造製造技術の開発 (三菱重工業)
 - d) 複合材構造のファスニング技術の改良開発-新ドリル (材料/コーティング /条件) (三菱重工業)
 - e) 複合材構造のファスニング技術の改良開発-ハイロック開発 (三菱重工業)
 - f) 複合材部品 (動翼) 組み立て工程の自動化 (日本飛行機)
 - g) 複合材部品製造工程の自動化 (新明和工業)
 - h) VaRTM によるファスナレス複合材構造の開発 (日本飛行機)
 - i) 摩擦攪拌接合 (FSW) の航空機構造への適用技術開発 (新明和工業)
 - j) 複合材用非金属製ファスナーの開発-セラミックスファスナー (SUBARU)
 - k) 複合材用非金属製ファスナーの開発-プラスチック等のファスナー (三菱重工業)
 - l) 将来型フライトデッキングシステムの開発-将来型フライトデッキングシステム用統合型モジュール方式アビオニクス (IMA) の開発 (東京航空計器)
 - m) 将来型フライトデッキングシステム用薄型デッキングユニットの開発 (横河電機)
- ⑪ 中東フラッグ キャリア (エミレーツ、カタール、エティハド) からの確実な需要に対応すべく開発を決断した 777X は、ボーイングから、2011 年末には、以下に示す Executive Summary としての形態情報が発表された。この Summary 資料には、Preliminary ながら、三菱重工業、川崎重工業については、既存 777 と同じ「Work Share」が想定として記載されており (注：SUBARU、日本飛行機、新明和工業については、“Under Study”となっていた)、後述する「サプライヤー/ベンダー選定方針」の一端を伺うことができる。

Delivering twin-aisle mission flexibility



777-9X baseline – a great new beginning

Changes from (777-300ER)

MTOW 760,000 lb, 344,730 kg
(775,000 lb, 351,534 kg)
407 passengers (365 passengers)

New interior

- Comfortable 10 abreast
- Lighter weight
- Quieter

New wing

- 5,150 sq ft, 1,570 sq m
- (4,700 sq ft, 1,433 sq m) wing area
- 233.3-ft, 71.1 m (213 ft, 64.9 m) span
- Next generation CFRP
- Advanced high lift system
- Load alleviation

Body

- 10 abreast modifications
- Aluminum/Al Li
- 4 frame stretch
- New wing to body fairing



Empennage

- HLFC empennage
- Stabilizer tip extension
50 in, 1.27 m per side

Landing gear

- Modified 777-300ER
- Enhanced SLG functionality

New GE engine

- 128-in, 3.25 m fan diameter
- 99.5k 115k lbs thrust
- New strut and nacelle

Systems

- Flight deck with large displays and upgraded avionics
- Systems changes associated with new wing and new engine
- Quiet Landing Attitude Modifier
- 60% commonality with 777-300ER

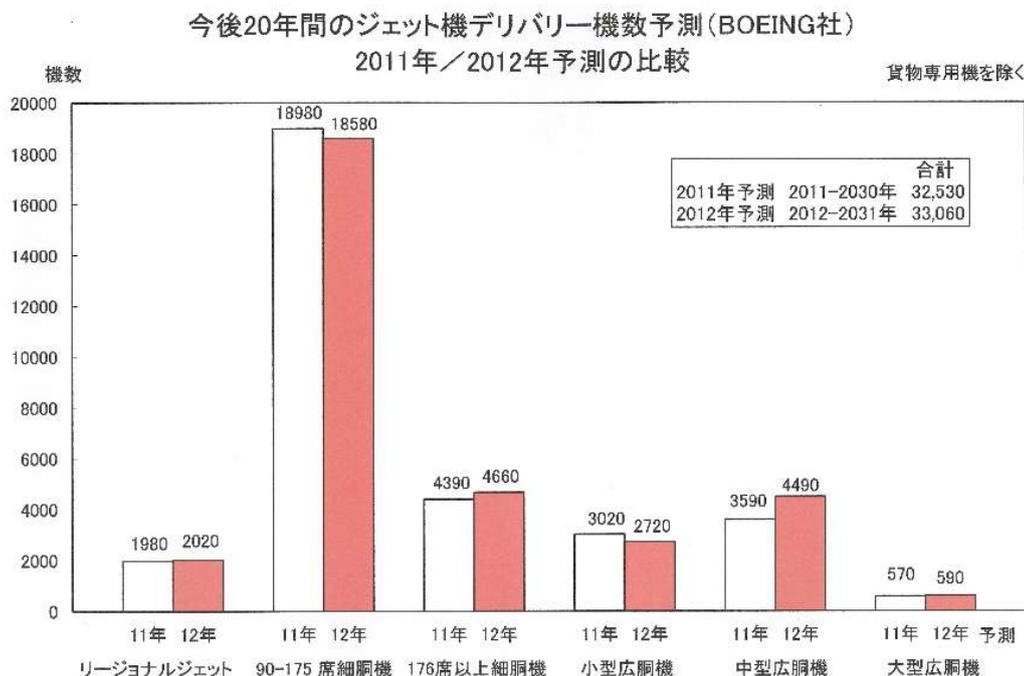
Copyright © 2011 Boeing. All rights reserved. BOEING PROPRIETARY – PRODUCT DEVELOPMENT STUDY

- ⑫ そして、777X 本機の開発についての本格的協議（主契約に相当する GTA/SBP に関する協議）は、2013 年 7 月初頭の“777X Supplier Conference”から開始された。この会議には、基本的に現行 777 のサプライヤーが参加し、ボーイングからは、
- ・ (777/787 の) コスト低減活動で成果を出した企業が (777X に) 参加可能
 - ・ 開発スケジュールの目標は、2013 年ローンチ、2015 年 Firm Configuration、2019 年 EIS などが表明された。
- ⑬ 上記会議後の同年 8 月 22 日に、ボーイングから、JAI に対し、777X ターゲット価格とその考え方（既存機 = 777-300ER ベースからの積算）が表明された。加えて、ボーイングは、PFS（Partnering For Success = 値引き活動の一環）として、777/787/777X 全部を含む Integrated/Comprehensive Agreement の締結も要求、JAI は、777X 以外の機種との抱き合わせ交渉を余儀なくされ、これまで以上に難しく、複雑な対応が求められた。
- ⑭ そして、同年 9 月の中旬には、777X についての、GTA/SBP 案、Production Planning Forecast、Baseline Schedule などをボーイングから受領した。
- ⑮ こうした中で、ボーイングは、ついに、2013 年 11 月のドバイエアショーにて、正式に 777X のローンチを発表した。これは、同年 9 月に受注したカタールからの 34 機に、ドバイエアショーにて新たに受注した、エミレーツ 150 機、エティハド 25 機、そしてカタールからの 50 機を加えた合計 259 機の発注をもつてのローンチであった。259 機は、民間航空機史上最大のローンチ時の発注数である。

1.2 777X の基本仕様

① 市場規模

2012 年時点のボーイングの市場予測は以下の通りで、777X は、中型～大型広胴機に分類されていた。



② 仕様設定

777X の仕様については、777 の後継機という側面を持つことから、777 既存機（特に最新の 300ER）との比較で定義されたが、2011 年末に発表された「777-9X baseline- a great new beginning」（1.1 項⑪参照）では、新エンジン（後に GE 9 X）、次世代複合材を使用した大型 New Wing、Stretch した胴体など新技術の採用の一方で、System などを中心に 60%の共通性を 777-300ER と持たせることにより、

- ・より大きいペイロード、より長いレンジを最少の座席あたりの消費燃料で実現
 - ・より低いメンテナンスコストで、より高いスケジュールリタイアビリティを実現
- を目指すことが示されている。
- 尚、この時点では、後に採用となった翼端の折り曲げ仕様等は含まれていない。

2. 日本のプログラム参画の経緯

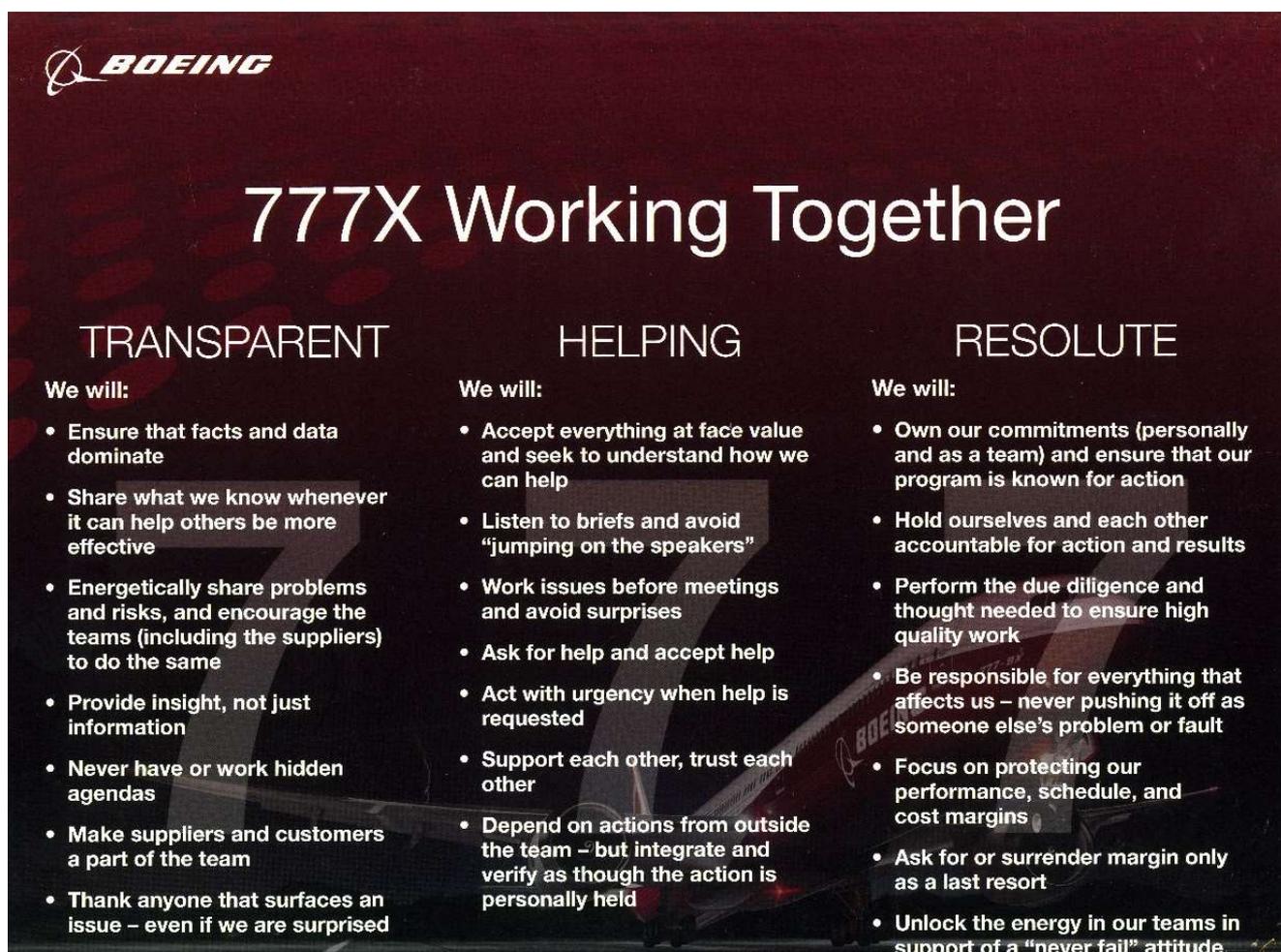
2.1 ボーイングのベンダー/サプライヤー選定方針

- ① 日本の各社（JAI）に対し、正式に、次期開発の機体としての 777X 参画に関する基本方針が提示されたのは、2012年8月シトルにおける「次期プログラムに関する技術開発について」の会議の場であった。
- ② 本会議は、JAI 各社（5社）とボーイングとの共同研究プログラムの今後の取り組み方を協議し、また、IADF の助成を受けて推進する各種研究・開発テーマについて、協議することが主目的ではあったが、それ以外に、ボーイングからは、本会議において、777X のベンダー/サプライヤー選定方針が示された。それは、前述のように 777X は 777 既存機との共通性を一定程度維持する狙いから、その製造分担は、777 既存機の分担をなるべく踏襲するとの説明であった。
- ③ これは、ボーイングが、787 で基本方針においた、“ボーイング社内分担作業を極力減らす（最終組み立てから飛行試験以降はボーイング社内でも実施し、残りは極力有力サプライヤーに、設計を含め任せる）”という方針を再転換し、777 時代の Supply Chain Management 思想に戻すことを意味した。
- ④ JAI の各社にとって、当該方針は、「作り慣れた」777 と同等の部位分担が期待できること、777/777X 双方の製造ラインの効率化が図れることなどのポジティブな面と、例えば、三菱重工業は、787 で新規獲得した主翼部位における複合材主翼製造技術を 777X では活かせないというネガティブな面の両方があった。

3. 覚書（MOA）から主契約（GTA/SBP）締結へ

- ① 2013 年に入ると、777X に関する技術開発についての調整も大詰めを迎え、777X 本機についての契約交渉が本格的に始まった。
- ② 本機の契約の交渉は、上述の通り、777X の契約は、PFS（所謂、値引き）の包括的な条件として扱うというボーイング基本方針により、困難を極めた。
- ③ 契約の構成についても、交渉は難航した。2013 年 9 月に提供された 777X の契約文書案は、777X の機体のベースとなっている 777 の主契約である MPC（Master Program Contract）方式ではなく、787 における GTA（General Terms Agreement）/SBP（Special Business Provision）方式がとられていた。更には、それは慣れ親しんだ 787 の GTA/SBP の内容がベースではなく、ボーイングにとり最新の契約であるが、JAI にとっては馴染みのない 737MAX の GTA/SBP の内容がベースとなっていた。そして、ボーイングは、MPC 方式を主張する JAI に対し、Company Policy として、737MAX の内容での GTA/SBP 方式の適用に、一切の譲歩は見せなかった。
- ④ GTA/SBP に先立ち合意すべき MOA（覚書：Key Terms and Conditions が規定される）交渉については、2013 年 9 月のボーイングからのドラフト提示を皮切りに、プライス、NRC（ノリカシココスト）、Change Pricing 方法等の主要な条件に付き議論、調整を重ね、2014 年 3 月 24 日に合意に達することができた。（但し、PFS の包括合意という点から、787 プライスダウン活動の合意要という条件が付せられた。）

- ⑤ その後 TLA (Termination Liability Agreement) の合意を経て、2014 年 6 月 5 日に正式に MOA サインが完了した。そして、同年 6 月 12 日には、プレス発表も兼ねて、777X 開発量産に関する覚書調印式が挙行された。(ボーイングからは、民間部門社長 Ray Conner 氏、資材部門担当副社長 Kent Fisher 氏等来日参加→巻頭口絵参照)。尚、JAI の Work Share は、基本的には、777 既存機と変わらず 21%と公表された。
- ⑥ しかしながら、MOA 合意後すぐさま問題になったのは、MOA 主要構成要素の一つである Industry Assist (JAI 各社のエンジニアの開発作業支援のためのチームへの派遣) の調整であった。ボーイングは、2014 年 9 月から三菱重工業、川崎重工業等のエンジニアを直ちに現地に派遣し、プログラムに参画してほしい旨申し入れてきた(1 年間 10 名程度ずつ)が、MOA では合意していなかったエンジニアへの適用作業レイトで紛糾。派遣は開始したものの、当該レイトに合意したのは、翌 2015 年 4 月になってからであった。
- ⑦ GTA/SBP の交渉は、2014 年 9 月初旬から開始されたが、主に、MOA 交渉で積み残された Change Pricing Methodology や NRC 設定方法等の主要項目につき行われ、交渉開始翌年の 2015 年 7 月 23 日、正式調印にこぎつけた。
- ⑧ 尚、契約交渉とは異なるが、同年 6 月 3 日に、Firm Configuration 決定のレモニーとして、主要パートナー/サプライヤーがシアトルに集結したイベントが開かれた。そこで、ボーイングプロジェクトマネージャーの Bob Feldman 氏より”777X Working Together”と称する「事業基本方針書」が披瀝されたが、Working Together という旗印は、777X の前身の 777 の開発で初めて掲げられ、777 を成功に導いた栄えある言葉である。それを 777X でも繰り返し掲げられたことから、ボーイングの、777X でも 777 の成功と同じ道程をたどりたいとの強い願望が見て取れよう。



BOEING

777X Working Together

TRANSPARENT	HELPING	RESOLUTE
<p>We will:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ensure that facts and data dominate • Share what we know whenever it can help others be more effective • Energetically share problems and risks, and encourage the teams (including the suppliers) to do the same • Provide insight, not just information • Never have or work hidden agendas • Make suppliers and customers a part of the team • Thank anyone that surfaces an issue – even if we are surprised 	<p>We will:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accept everything at face value and seek to understand how we can help • Listen to briefs and avoid “jumping on the speakers” • Work issues before meetings and avoid surprises • Ask for help and accept help • Act with urgency when help is requested • Support each other, trust each other • Depend on actions from outside the team – but integrate and verify as though the action is personally held 	<p>We will:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Own our commitments (personally and as a team) and ensure that our program is known for action • Hold ourselves and each other accountable for action and results • Perform the due diligence and thought needed to ensure high quality work • Be responsible for everything that affects us – never pushing it off as someone else’s problem or fault • Focus on protecting our performance, schedule, and cost margins • Ask for or surrender margin only as a last resort • Unlock the energy in our teams in support of a “never fail” attitude

4. 国内契約と助成事業認定

① 国内契約のコンセプト

- ・ 777Xに関する、JADCと国内機体各社（JAI）間の開発契約は、基本的に、787の国内契約スキームとは異なるスキームが構築された。
- ・ 即ち、JADCとの国内開発契約は、787が三菱重工業、川崎重工業、SUBARUのみが主契約者であったのに対し、777Xでは、ボーイングとの契約の構成を受けた形で、これら3社に加え、新明和工業、日本飛行機の2社を含む5社並列の建付けとなった。これは、777Xにおけるボーイングとの契約の「Tier-1 5社横並び体制」を踏襲した構成となっている。

777X開発事業は、ボーイングとの契約締結を受け、航空機工業振興法に基づく助成事業に認定されたが、この国内助成事業を進めるため、基本協定や事業関連契約が、国内当事者間で締結された。

- ・ 尚、777Xは、2013年8月20日に、IADFによる助成事業認定化のため、「選定委員会」が開催され、「大型民間輸送機技術開発」を「発電システム」とともに助成事業として選定、翌9月には、助成事業として認可された。

② 基本協定関連

イ) 777X型機事業協定書

- ボーイングとの関係と日本側当事者の契約関係

777X事業では、ボーイングとの交渉は、JADCが主導でこれに当たり、三菱重工業、川崎重工業、SUBARU、新明和工業、日本飛行機の5社が並列に参加するという形態を取った。契約上も、JADCが主契約者、三菱重工業、川崎重工業、SUBARU、新明和工業、日本飛行機は、プログラマーという構成となった。

- 国内契約体系の考え方

JADCとこれら機体5社との国内契約（777X型機事業協定書）も、ボーイングとの契約に準拠する形で締結された。

- 共通業務に関する各社分担の考え方

各社に共通する業務は、主にJADCで行われるが、その負担割合は、原則分担率（＝それぞれの会社の事業参加比率）に応じることとした。国内における各種の分担対象業務は、開発段階と量産段階ごとで各社の分担率を決め、これに応じ、事業の共同履行がなされる体制を決めた。ただし、特定の会社の責任とすべきことが明らかな部分は全て当該会社の負担とした。これらの考え方も事業協定書に盛り込んだ。

この様に事業協定書には、JADCの運営費などの共通費の分担や義務履行時の各社の負担割合を規定したが、その分担率は、開発事業では、機体5社の開発期間終了時の契約実績値合算に対する各社契約実績値の割合に従い設定されることとし、量産事業では、設計変更分を含む価格リセット以降の各社契約価格の割合に従い設定されることとした。

ロ) 777X機民間分担金契約

- 日本政策投資銀行借入れについて

777Xの場合、これまでのボーイングとの国際共同開発事業とは異なり、2号助成に対して、借入れ申し込みを実施しなかった（後述）ことにより、日本政策投資銀行（DBJ）からの借入れは、発生しないこととなった。

- 民間分担金

JADCは、777Xに関する開発事業費用の内、原則として補助事業費の50%、および事業関

連経費の100%を民間分担金として、機体5社から徴収した。

各年度とも、年4回4半期ごとの事業費実行見込みに基づき分担金仮払いを実施。年度末(3月)には、JADCと各機体会社個別に、各年度の「開発事業分担金契約書」を締結し、当該翌年度に当該年度の実績額が出たところで、「変更契約書」を結び、清算する方式とした。

分担率については、上述の通り、「事業協定書」に規定し、「共通費用の分担」に適用された。

● 収益納付

航空機工業振興法第8条に定める納付金については、経済産業大臣の定める「納付金納付要綱」の改正が、2021年7月21日に行われた(777Xの追記)。これを受けて、IADFの「納付要領」の制定は、同年9月7日に実施された。

ハ) 消費税還付不足問題

JADCのような一般財団法人に対する消費税納付の適用は、一般企業に対するそれではなく、国・地方公共団体に対する規定(消費税法第60条)が適用されるため、仕入れ消費税の内の相当の割合を控除することができないこととなっている。

それに従うと、開発委託契約分と開発期間中の量産機出荷分の内、JADCの仕入れ分(原価)に対しては、一般企業であれば受けられたはずの消費税免除が受けられず、結果、消費税還付不足という形で問題が生じ、機体メーカーが最終的にその不足分を負担することとなる。

787開発の場合、2004年から2011年の開発期間における機体メーカー各社が負担した消費税還付不足分の総額は、約34億円に上ったが、777Xの場合も、各社にとり、相当な負担になることが懸念されている。

③ 事業にかかわる契約

イ) 開発契約

- ・基金の仕組み上、契約は、開発といえども単年度契約とする必要があるため、各年度ごとに1号助成とそれ以外に作業区分し、契約を締結した。ただし、実際の開発作業は、複数年度にわたるため、年度単位での作業の区切りは難しく、実際の作業と基金の予算の切り分けをどう折り合いをつけるかは毎年の契約締結時の課題であった。
- ・各年度ごとの契約は、上限付き概算契約による中途確定契約方式とし、上限金額の設定は、ボーイングから示された開発スケジュールに従って、JAI5社が個別に積算したものを各年度の費目別予算の限度内でJADCが査定し、設定した。

ロ) 量産契約

長く続く量産事業において発生する様々な事業リスクは、契約者であるJADCではなく、プログラマーであるJAI5社がとることになる。従い、例えば、JADCが為替リスクを回避するため、シアトル駐在員には、ボーイングからの外貨建て入金からそのまま相当分を支払うことを行うことや、ボーイングからの製品代価の各社への支払いは、入金即日以外貨建てで行うなどの規定をこの契約の中で設けている。

ハ) 民間航空技術サービス株式会社(CAESCO)との契約

ボーイングとの契約上、JAI各社は、各社の分担部位に関する技術作業を、ボーイングの本拠地である米国シアトル等で実施する必要がある。

CAESCO (Civil Aircraft Engineering Service COmpany) は、JAI 各社から多くのエンジニア他の要員をボーイングに円滑に派遣するため、JAI 3社の共同出資の下 1978 年設立された現地会社で、1990 年には JADC の子会社化がなされた (株式保有率 51%)。

777X でも、JAI 各社からの派遣者数が相当数に上ることが予想されたため、JADC が、CAESCO に設計作業を発注する形で、毎年各社から提示される要員派遣計画に基づき、CAESCO との役務請負契約を締結、CAESCO に技術作業を委託する形をとった。

④ 国家プログラムとしての航空機国際共同開発と助成決定について

イ) 従来、「航空機国際共同開発」事業が、国の助成事業として認定され、助成金の交付を受けるためには、次のプロセスを経る必要があった。

航空機工業振興法に基づき、産業構造審議会航空宇宙産業分科会航空機委員会の協議による「開発指針」の改定 (当該機種・プログラムを加える)



航空機国際共同開発促進基金選定委員会における採択 (JADC からの選定申請を受ける形で)



助成金交付決定通知 (IADF→JADC)

ロ) しかしながら、777X の助成認定の際には、最初のステップたる「航空機委員会」開催 (787 の場合、直接関係した委員会だけでも 3 回の開催、1 年以上の期間を要した) の条件は緩和され、短期に選定委員会へ申請ができるようになっていた。そして、2013 年 9 月 26 日に「選定通知」が、同月 30 日には「交付決定通知」が発行された。

777X の助成金交付については、それ以前のプログラムとは大きく異なる点があった。助成の種類としては、

A) 供試体費の 50% が交付される「1 号助成」

B) 設計費・試験費・治工具費等の 70% を日本政策投資銀行から借り入れ、その利子分が交付される「2 号助成」

の二種類があり、これまでは、この二種類とも支給を受けてきた。ちなみに 787 の例では、1 号助成金として 68 億円ほど、そして、2 号の利子補給分として、46 億円ほどが、支給されている。

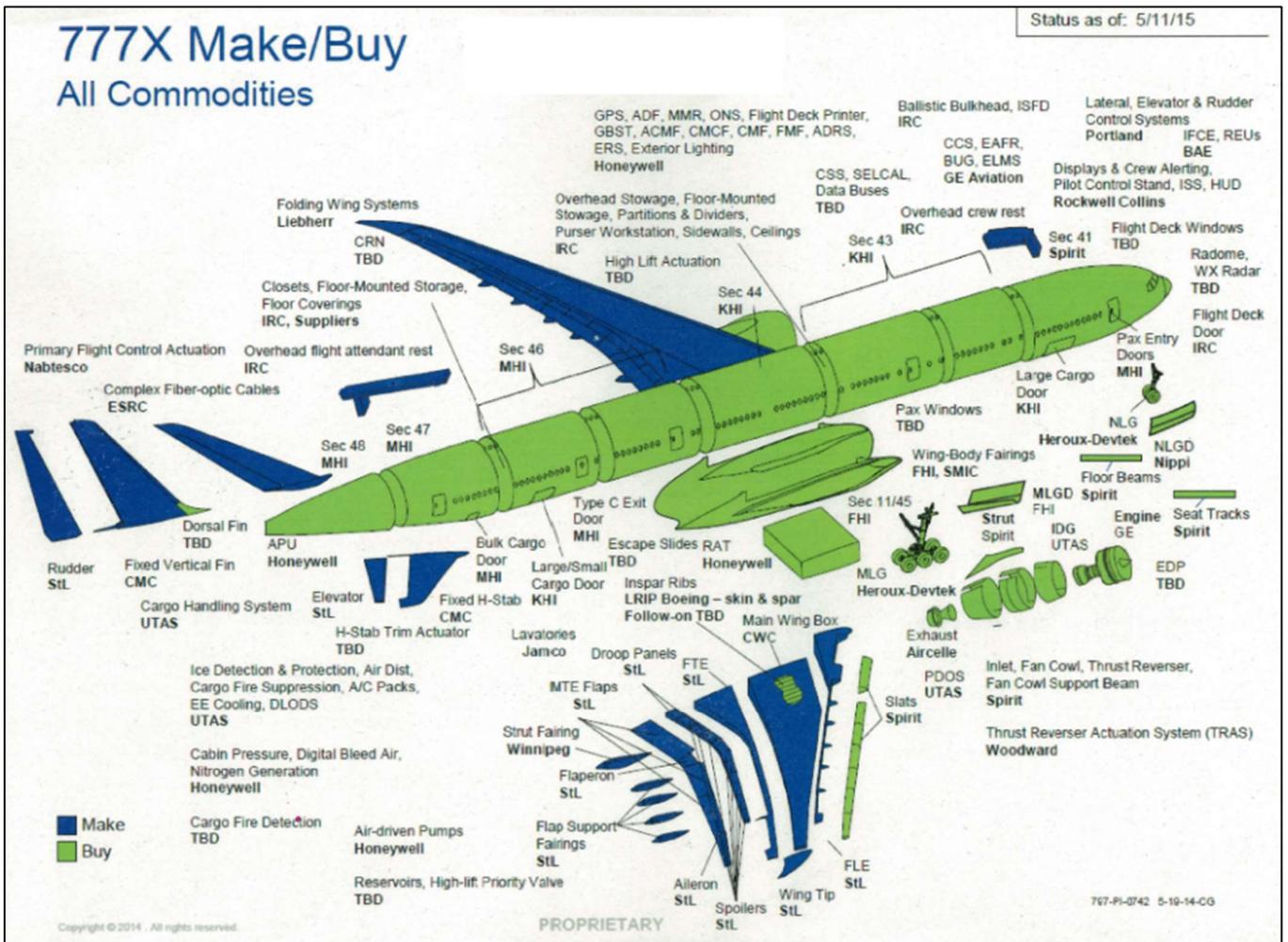
ハ) 777X においては、助成金申請時の市場金利は低く、管理に多大な労力のかかる 2 号助成を受けるメリットは乏しいとの議論が出た。つまるところ、JAI 各社は、各社独自の銀行レート適用の方が、2 号助成よりメリットありと判断し、その意を受けて、JADC は、基金に対し、最後まで 2 号助成を申請することはしなかった。

ニ) 本決定は、同時期に開発活動に入る 777X エンジン開発活動への影響も懸念されるところではあったが、最終的には 777X (機体) では、1 号助成のみというスキームとなった。

5. 開発の開始

5.1 担当部位及び SOW (Statement Of Work)

- ① ポーイング との契約締結を受け、JAI 各社においては、合意された担当部位及び SOW に従い開発作業が開始されたわけであるが、その SOW については、JAI 各社において、必ずしも同一ではなく、内容に差異があった。
- ② 基本的には、担当部位及び SOW については、777 におけるそれを踏襲していたが、例えば、日本飛行機は、777 では主翼リブ を担当していたものの、主翼リブ はオープンビッド となり、日本飛行機の担当部位からは、外れるという事態が生じた。(2016 年 10 月)。
- ③ JADC としても、JAI トータルシェア減少を防ぐため、日本飛行機と協調して、主翼リブ の代替パッケージ 交渉も試みたが、主翼リブ が日本飛行機に戻ることはなく、日本飛行機の 777X における担当は、サブビームのみとなった。
- ④ その他の各社の担当部位の SOW の内容にも差があり、SUBARU、新明和工業は設計込み、三菱重工業、川崎重工業、日本飛行機は、製造のみと言う差異も生じた。
- ⑤ 以上の結果、JAI の 777X におけるシェアは、以下のようになった。



会社	部位
三菱重工業	Passenger Entry Doors
	Service Exit Door (Optional)
	Service Exit Door Plug (Optional)
	Bulk Cargo Door
	Section 46 (with plug)
	Section 47
	Section 48 FWD
	Section 48 AFT
川崎重工業	FWD Large Cargo Door
	Aft Small Cargo Door
	Aft Large Cargo Door (Optional)
	Section 43 (with Plug)
	Section 44
	Section 45 Keel Beam
	Section 45 Aft W W Bulk head
	Section 45 Horiz. Press. Deck
	Section 48 Pressure Bulkhead
	SUBARU
Section 45 Sloping Pressure Deck	
Section 45 STA 1287 Transverse Beam	
Section 11&11/45 Integration	
Section 49 Wing to Body Fairing FWD	
新明和	Section 49 Main Landing Gear Doors
	Section 49 Wing to Body Fairing Aft
日本飛行機	Section 49 Wing to Body Fairing Underwing & ECS Door
	Section 49 Wing to Body Fairing Overwing
	Section44 Stub Beam

5.2 開発作業の推移

- ① こうして開始された開発作業であるが、JAI 各社の担当部位のうち、JAI に設計作業が付されていない部位の設計作業は、ボーイングが担当した。ボーイングは、本拠地のシアトルだけでなく、それ以外のハツベル、モスクワ、フィラデルフィアの自社デザインセンターに設計作業を分担させた。JAI の中には、ハツベル等通常付き合いのない相手との情報伝達や出来上がり状態に懸念ありと判断し、現地(ハツベル)へ駐在員を派遣する企業もあった。
- ② 設計作業は、2017年2月には、全機レベルのCDR(Critical Design Review)が1週間をかけて実施されたが、Fuselage重量が420lbsの超過という問題が生じた。(Opportunitiesの実現で、解消の見通しとの条件は付いていたが)
- ③ 2017年5月には、ボーイングより静強度試験機(ST機)へのひずみゲージ貼付作業追加の要求があり、JAI各社で技術的打ち合わせを進めるのと並行して、JADCとしては、「値決め」「契約変更手続き」について注力した。
- ④ 2017年10月には、JAIの中では最初の出荷となる、川崎重工業のSec.45初号機(静強度試験機)が、SUBARU半田工場へ搬入された。
- ⑤ その後、2018年に入ると2月から4月にかけて、各社工場で、「打鋸式」、「出荷式」が行われ、最初の試験機のコンポーネントが続々と組立・出荷され始めた。
 - ・2018年2月2日 新明和工業 甲南 打鋸式
 - ・同年2月2日 日本飛行機 横浜 打鋸式
 - ・同年2月6日 川崎重工業 名古屋 出荷式
 - ・同年2月7日 三菱重工業 広島 出荷式
 - ・同年2月9日 SUBARU 半田 出荷式
 - ・同年4月4日 新明和工業 宝塚 打鋸式
- ⑥ 尚、ボーイングにおいては、静強度試験機は、2018年8月29日にロールアウトされ、2019年1月30日に静強度試験が開始された。
- ⑦ 2018年11月20日、最初の飛行試験機のFinal Body Joinが実施され、2019年2月25日には、飛行試験機初号機がロールアウトした。
- ⑧ しかしながら、2019年6月、GEエンジンにおいて、コンプレッサのチタン部品異常摩耗という問題が発生し、試験準備に数か月遅れるとの報道がなされた。
- ⑨ その後、2019年9月9日には、静強度試験機において、与圧試験中に貨物ドアが外れるという問題が発生し、静強度試験が一時中断されるという事態が起きた。
- ⑩ それでもようやく、777Xは、2020年1月25日、初飛行に成功、同日午前10:09 Paine Fieldを離陸、約4時間の飛行後、Boeing Fieldに無事帰還を果たした。
- ⑪ ところが、その後も、意図せぬ機体の挙動や飛行制御プログラムの問題点等が続発し、客先納入は、当初2020年内とされていたものが、2021年初頭(2019年10月発表)、2021年半ば(2020年5月発表)、2022年中(2020年11月発表)、2024年初頭(2021年7月発表)とどんどん後ろ倒しになっていった。
- ⑫ そして、現時点(2022年末)での最新状況は、型式証明取得が2024年Q4、市場投入が2025年Q1となっている。
- ⑬ 繰り返された開発の遅れの原因は、上述の通り、試験中に発生した様々な技術的な問題もさることながら、その他にも、737MAXで起きた2件の人身事故*の影響で、これまでのボーイング/米国航空局(FAA)の開発プロセスに対し米国政府及び議会から疑義が提示され、開発中の777Xの開発プロセスを再Reviewせざるを得ない事態にボーイングが追い込まれたこと、2020年初

頭に発生した COVID-19 の世界的蔓延（パンデミック）により航空旅客が大幅に減退したため、エアラインが 777X を含む新型機の発注や引き取りを急がない事態となったことが、あげられる。むしろ、こちらの影響の方が大きかったとも言えるだろう。

*2018 年 10 月 29 日に、ライオンエアが運航する 737MAX8 がインドネシアにて墜落事故を起こし、乗員乗客 189 名全員が死亡、続く、2019 年 3 月 10 日には、エチオピア航空が運航する同じく 737MAX8 がエチオピア国内で墜落し、乗員乗客 157 名全員が死亡するという重大なインシデントが発生した。その原因として、米国政府及び議会は、ボーイングと FAA が進めた機体の認証作業に問題があったと結論づけ、是正措置を両者に厳しく要求した。

- ⑭ 尚、最近の特記事項としては、2022 年 2 月に勃発した「ロシアのウクライナ侵攻」により、ボーイングモスクワのエンジンセンターの閉鎖を余儀なくされたため、ボーイングは、777X (-9) の後継機として 777X 貨物機 (777-8XF) に対し、JAI からの技術者支援を求めてきたことがあげられる。

6. 量産機の状況

6.1 量産スケジュール

- ① ボーイングより、量産機（#7以降）の納入スケジュールが、初めて示されたのは、2017 年 6 月 29 日のことであった。
- ② ところが、上述の通り、度重なる開発の遅れより、量産機のスケジュールもどんどん後ろ倒しとなった。まずは、開発の遅れが顕在化し始めた 2019 年 8 月に、それまでの納入スケジュールが、Firing Order（納入指示書）U64 により改定され、直近の納入スケジュールが 2 か月先送りとなった。
- ③ 続いて、2020 年 3 月には、Firing Order U65 が出され、20 年度の生産機数を 25 機から 18 機へと減産された。さらには、その 2 か月後の同年 5 月には、Firing Order U66 が発出、20 年度納入は 16 機に減産となった。
- ④ この減産要求は、さらに続き、U67（2020 年 8 月発行）では、20 年度納入は、16 機から 7 機へ、21 年度納入分も、これまでの 31 機から 10 機へと大幅な減産となった。
- ⑤ さらには、U71（2021 年 3 月発行）が出され、21 年度納入機数は 4 機にまで減らされ、市場投入見込みも 2023 年 10 月までの延期が示された。
- ⑥ 2021 年 10 月発行の U73 では、23 年度納入の減産も要求され、納入機数は、それまでの 19 機から 17 機となった。また、その理由には、既存機 777 への機種変更が加えられた。
- ⑦ そしてついに、2022 年 6 月 6 日に発行の U75（現時点で最新）において、2022 年 4 月～2023 年 7 月までの「出荷停止」の要求があり、現時点（2023 年 2 月現在）では、777X は、出荷停止状態となっている。
- ⑧ 結局、777X プロジェクトについては、当初計画から大幅に遅れ、JAI 各社からはこれまでに強度試験機用を除き、28 機分が出荷されているのみである。

6.2 量産への準備

JAI 各社においては、777X 量産に備え、新工場の稼働、新ラインの敷設等の設備投資が進められた。

- ・ 2016 年 4 月 27 日 SUBARU 777X 新工場竣工式（半田）
- ・ 2017 年 2 月 13 日 川崎重工業 777X 新工場竣工式（弥富）

三菱重工業では 777X に向け”M-PAL” (Multi-Panel Pulse Assembly line) と称する航空機胴体パネルの混流生産を可能とする世界初の組立ラインを自社開発し、初号機より適用した。同ラインは三菱重工業担当部位において 1 機当たり 12 種類存在する胴体パネルを 1 つのラインで組立可能としたラインで、従来の定置式治具を多数台並べた工法とは全く異なり、ライン内を治具に固定されたパネルがタクトタイムで移動しながら製品が完成していく画期的なラインである。ラインはロボットによるパネルローディング設備、相互に打鉚作業を補完するオートマチックリベッター群、製品の要求寸法を自動計測するロボット計測器、タクトタイムに合わせパネルを自動搬送するコンベアシステムで構成される。また、同ラインでは専用開発された MES(Manufacturing Execution System)によりラインが統括制御される。ひとたび組立が開始されると、ラインに投入された治具の RFID タグ情報と事前に共有されている生産スケジュールとのマッチングを行って生産号機と対象パネルを認識し、必要な NC プログラムがオートマチックリベッターなどの設備へ自動的にダウンロードされる。MES にはその他に設備の加工データはもちろん、工程の進捗管理、設備の消耗部品交換時期を提案する機能も有しており、デジタル化された生産設備となっている。サブ組立においてもロボットで組み立てる設備を開発し、完全に人を排除した工程を実現している。同設備は 3D モデルをベースにし、完全にデジタル化したデータを基にレーザートラックで部品の取付位置を計測し、ロボットが位置決め、打鉚を行う無人設備を実現している。777X の開発を通じて、航空機製造に関する次世代のモノづくりの方向性を示すことが出来たと言える。尚、2018 年 2 月には、このラインで組み立てた初号機が納入されている。

川崎重工業においては、低コスト化と工期短縮を目的とした組立工程の自動化を図った。ボーイングにおける最終組立工程でのロボット自動組み立てを可能にする部品の高精度化にも取り組み、加工中の温度環境の変化に対応できる加工法など、高精度化につながる様々な工法を開発した。生産にあたっては、名古屋第一工場に 777X を生産する新たな専用工場を 2017 年 2 月に竣工、胴体パネルと部品を取り付ける NC リベッタ設備や、画像センシング技術の採用により正確な穿孔加工や仮締結を実現した自社製ロボットを配置し、世界でも最先端の航空機自動組立工場となった。2018 年 2 月、777X の初号機胴体パネルをボーイングに向けて初出荷した。同社は、更に、2017 年 5 月、米国ネブラスカ州にある現地法人 KMM (Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.) のリカン工場に 777X 用貨物機扉の組立ラインを構築し、2018 年 9 月、貨物扉を完成させ、ボーイング Everett 工場に出荷した。同工場は、同社航空宇宙事業では米国における初の生産拠点となった。

SUBARU においては、777 オリジナル当時から、中央翼の大型構造組立及び川崎重工業分担の Section45 のインテグレーションまでを担当しており、部品加工のみならず組立作業の効率化が生産効率改革の重要な部分である。777X では、最新鋭のオートマチックリベッター導入に加えて、自動搬送装置を生かし、大型部品の供給の動線もシミュレーションして特に組立フローの効率化を追求して新工場設計し、半田工場内エリアを増設した。また、777X では 777 オリジナルではなかった翼胴結合部のリブ取付を製造分担に取込み、燃料タンクの中央翼ボックス構造を仕上げてリブ試験までを行う機能試験エリアを加えた。ボーイングワイドボディ機の生産の要所となる中央翼部インテグレーションという特殊部位を 777、787 と続けて 25 年以上単独で請け負った実績を生かして、ボーイングの組立作業を容易にする全体視点から、細部に至る工場設計を行い、2016 年末より稼働させた。

7. 777X 纏め

2013年11月、ボーイングは、開発から四半世紀が過ぎたベストセラー機の777をベースとした派生型機777Xを開発することを決定した。ボーイングは、この777Xに、「優れた飛行性能」「快適なキャビン」「高性能な燃料消費」を実現した上で、エアバスに対する優位性を確保するため低価格であることを求めた。これらを実現するため、複合材の主翼採用や新型エンジンの搭載等の機体コンセプト（下記詳細）を777X開発に盛り込んだ。

- 1) 複合材主翼
- 2) 新型エンジン
- 3) 主翼長を伸ばすための折り畳み式翼端
- 4) LED
- 5) 大型客室窓
- 6) 機体与圧引き上げ
- 7) 静粛性の向上
- 8) 胴体径を変えず座席数を増加 など

ボーイングはこれらのコンセプトを盛り込んだ777Xの設計作業の開始にあたり、777の標語でもあった「Working Together」の精神の下、「ワンボース（開発機こそが親分の意）」「ワンチーム（顧客、ボーイング、サプライヤー一体の意）」の標語も掲げ、各パートナーがチームとして結束しつつ、開発にあたることが求められた。

787の登場まで長く日本の航空機産業を支えてきた777の後継機として、777Xは、こうして各社の協力体制の下、設計作業が開始されたわけであるが、一方で当然ながら、777同様以上の成功と成果がもたらされることも期待された。

そして、各社とも、本文にある通り、一層の生産効率とコスト削減に向けて、これまでとは格段に進歩した自動化ラインの構築に心血を注ぎ、それを実現させたわけである。この自動化という考えは、ボーイングの生産ラインの基本コンセプトでもあった。ボーイングは、Everett工場に、約12万平米の新しい主翼製造工場（Composite Wing Center : CWC）を建設し、複合材主翼の成型から組み立てまでの工程の自動化に取り組んだ。また、前胴組立、中胴組立、後胴組立のそれぞれの結合にボットを適用し、ラインの効率化とコスト低減を図ろうとした。日米ともに、月産8.3機までの生産ラインを万端に整えたわけであるが、開発開始から10年たった今日に至っても、777Xの開発は終了せず、市場投入まではあと2年は待たないとならないという状況になっていることは、本文で詳しく述べられた通りである。

この様に、日本の各社は、まだ開発中のこの期間に、契約上の義務として、最大月産8.3機までの設備投資を完了したわけであるが、開発と増産計画の著しい遅れにより、結果的に、多額の遊休資産を抱えることとなり、経営に大きなインパクトが出ているのも、また、偽らざる実態である。契約にリスクはつきものとは言え、我々は、次に向け、ここから何かを学ぶことも、また、必要であろう。

例えば、国により手厚い補助を求めること、あるいは、契約に開発中の増産投資への補償を求めることなどが、今後、検討すべき課題として挙げられるかもしれない。しかし、国の予算にも制限があり、また、契約上大きな補償を求めることは、日本がTier1というサプライヤーの立場から飛躍する上では、むしろ、逆行するかもしれない。助成の在り方や契約上でのリスクマネジメントの仕方は課題ではあろうが、我々製造メーカーがまず今後考えなければならないのは、777Xでなしえた自動化を基に、より生産レイトに

柔軟で汎用性の高い生産ラインをより経済的に構築し、生産レートの変動のリスクを出来る限り回避する生産システム体制ということではないだろうか。それを、ここに、777Xの今日の問題点に対する一つの提言ということを示させて頂くものとする。

747 や Airbus380 という超大型航空機がもはや新造機として市場に投入されなくなった今、ひとたび777X が市場に登場すれば、それは、世界で最も大型の新型航空機となる。それには、まだ少し時間を要するとは言え、旅客飛行が開始されれば、その後は、ポストコロナ時代の旅客回復・拡大の時代を担うに相応しい大型新型機として、大きな成功を収めることが期待される。そうなれば、各社の工場では、敷設された自動化ラインが、大いに働いてくれることであろう。777X の将来への大いなる期待と先述の課題提示をもって、777X の開発事業の項を閉じたいと思う。

大型民間輸送機関連技術開発事業（LCTRD : Large Commercial Transporter Research and Development） （のちに大型民間輸送機（777X）開発事業に統合）

1. 開発事業の背景

1990年代以降、大型民間輸送機市場はボーイングの777がほぼ独占している状況であったが、それに対抗すべく欧州エアバスではA350シリーズの新規開発が進められていた。ボーイングにおいても、777の後継機777Xの新規開発計画が検討されており、小型機市場に加え大型機市場でも熾烈な競争が始まった。

また新興エアラインの勃興や市場拡大を背景に、次期大型機では、価格競争力やいち早く顧客に機材を提供するためのリードタイムの短縮、更には、大型機では運航コストに占める燃料費の割合が大きいため、とりわけ優れた運航経済性が求められた。

このような要求に対応するため、機体開発の面では、製造コストの大幅な低減、生産工程の効率化、および省エネ・低燃費性能が強く求められた。

一方、経済産業省からは、かかる航空機産業を取り巻く動向を背景に、大幅なコスト削減や急速な増産への対応、重要性が高まる装備品の開発力の向上が、航空機産業拡大への課題として挙げられ、開発指針において以下の達成すべき技術上の目標が示された。

- ① 軽量化・低コスト化を実現するための複合材料及び金属材料の実用化技術
- ② 量産工程の早期安定化に資する製造組立技術
- ③ 機体の設計開発の高度化及び高付加価値化に寄与するシステム統合技術

これを受け、JADC及び参画事業者（三菱重工業、川崎重工業、SUBARU、新明和工業、日本飛行機、東京航空計器、横河電機）は、Boeing767、777、787の開発製造を通じて我が国がこれまで蓄積してきた技術的な強みを活かしながら、航空機産業の規模拡大と技術力およびコスト競争力の強化、並びに開発における技術リスクの低減をめざし、国際共同開発を行うことについての覚書（MOA）をボーイングと交わし、助成金交付対象事業として、平成25（2013）年8月9日に航空機国際共同開発促進基金（以下、IADF）へ選定申請書を提出した。

同年8月20日、IADFによる選定委員会を経て同月28日に大型民間輸送機関連技術開発が助成対象として選定され、翌月9月1日より開発事業を開始した。

同年11月、ドバイエアショーにおいてボーイングにより777Xプログラムが正式にローンチされ、平成26（2014）年度下期より強度試験機製造等のために大型民間輸送機（777X）開発事業が開始されると、ここにこれまでの大型民間輸送機関連技術開発事業も統合され、以降は大型民間輸送機（777X）関連技術開発として開発作業が実施された。

令和4年（2022）度現在において開発作業を実施中である。

2. 事業概要と開発期間

本事業は三菱重工業、川崎重工業、SUBARU、新明和工業、日本飛行機、東京航空計器、横河電機により実施された。令和4（2022）年度末時点において川崎重工業及び新明和工業が開発事業を継続中である。

開発期間：

三菱重工業：平成25（2013）年度～平成26（2014）年度、平成30（2018）年度～令和2（2020）年度

川崎重工業：平成25（2013）年度～令和4（2022）年度（継続中）

SUBARU：平成25（2013）年度～平成28（2016）年度、平成30（2018）年度～令和2（2020）年度

新明和工業：平成 25（2013）年度～令和 4（2022）年度（継続中）

日本飛行機：平成 25（2013）年度～平成 27（2015）年度、平成 29（2017）年度～令和 2（2020）年度

東京航空計器：平成 25（2013）年度～平成 29（2017）年度

横河電機：平成 25（2013）年度～平成 29（2017）年度

3. 開発状況

本事業では三菱重工業、川崎重工業、SUBARU、新明和工業、日本飛行機により、先に示した①、②に関する技術開発が、東京航空計器、横河電機により③の技術開発が実施された。

東京航空計器、横河電機によるシステム統合技術の開発は平成 29（2017）年度までに完了した。

平成 30（2018）年度以降は「強化技術」と称し、三菱重工業、川崎重工業、SUBARU、新明和工業、日本飛行機の 5 社により 4 か年計画で技術開発が継続されたが、ボーイングの計画変更（777X 開発遅延）のため、三菱重工業、SUBARU、日本飛行機は令和 2（2020）年度で開発を中断した。一方、川崎重工業、新明和工業は同年度以降も開発を継続し、令和 4（2022）年度以降はボーイングから生産の自動化に対する要望に応えるため、「自動化技術」を主とする生産技術開発を実施している。

1. 開発事業の背景

次世代の中小型民間輸送機分野においては、現行の機体と比較して燃費向上、信頼性の向上による運航コストの削減及び製造コストの削減に関する要求が一層高まることが予想され、その対応として機体システムの更なる電動化が進むと考えられた。

日本企業が既に経済産業省の委託研究またはボーイングとの共同研究で確立した装備品関連基礎技術を技術実証レベルに発展させることにより、中小型民間輸送機に最適な装備品の開発が可能となり、航空機用装備品の分野において日本企業の事業機会拡大に寄与することにもなることから、経済産業省より開発指針として中小型民間輸送機関連技術に対して以下の達成すべき技術上の目標が示された。

- ・機体の設計開発の高度化及び高付加価値化に寄与するシステム統合技術

これを受け、JADC 及び参画事業者（川崎重工業）は発電システム技術について国際共同開発を行うことについてボーイングと覚書（MOU）を交わし、助成金交付対象事業として、平成 25（2013）年 8 月 9 日に航空機国際共同開発促進基金（以下、IADF）に対して、選定申請書を提出した。

同年 8 月 20 日、IADF による選定委員会を経て同月 28 日に次世代中小型民間輸送機用発電システム関連技術開発事業が助成対象として選定され、翌月 9 月 1 日より開発事業を開始した。

続く平成 26（2014）年、JADC 及び参画事業者（川崎重工業及び島津製作所）はそれぞれ電源安定化システム技術及び高揚力システム技術について国際共同開発を行うことについてボーイングと覚書（MOU）を交わし、助成金交付対象事業として、同年 9 月 5 日に IADF に対して選定申請書を提出した。

同年 9 月 16 日、IADF による選定委員会を経て同月 26 日に中小型民間輸送機関連技術開発事業が助成対象として選定され、翌月 10 月 1 日より開発事業が開始された。なお、この機会に、前年から開始していた次世代中小型民間輸送機用発電システム関連技術開発事業は中小型民間輸送機関連技術開発事業に統合された。

（注 1）発電システムについては、日本精工は平成 25（2013）年度のみ参画事業者として参画。次年度以降は川崎重工業の外注企業として参画した。

（注 2）電源安定化システムについては、開発当初よりシフオニテクノロジーが川崎重工業の特別外注として参画している。

2. 事業概要と開発期間

本事業では先に示した通り、以下の 3 つの技術開発を実施した。開発期間と共に示す。

- ・ 発電システム技術 : 平成 25（2013）年度～令和 3（2021）年度
- ・ 高揚力システム技術 : 平成 26（2014）年度～令和 2（2020）年度
- ・ 電源安定化システム技術 : 平成 26（2014）年度～令和 4（2022）年度（継続中）

本事業は当初、2020 年代中頃にボーイングによって市場投入されると見込まれていた中小型民間輸送機への採用を目標としていた。その後、ボーイングにより、一旦は中小型機開発開始が見送られることとなったが、次世代の中小型民間輸送機への採用を目指して現在も開発事業を継続している。

3. 開発状況

3. 1 発電システム技術

電動化による発電機容量の増大に対応した、高効率で信頼性が高く、良質の電力を供給する発電システム技術の開発を実施した。

平成 25 (2013) 年度より次世代中小型民間輸送機用発電システム関連技術開発として開発がスタートし、平成 26 (2014) 年度下期より中小型民間輸送機関連技術開発に統合され、技術実証確認用新型発電機の開発を実施し、平成 29 (2017) 年度に TRL6 を達成した。

ボーイングからの信頼性要求の高まりを受け、同年度から信頼性実証確認用新型発電機の開発、続いて令和 2 (2020) 年度からさらなる信頼性実証のために開発を継続したが、COVID-19 の影響を受けたボーイングの方針変更などもあり、令和 3 (2021) 年度に開発作業を一旦中断することとなった。

3. 2 高揚力システム技術

電動化及び薄翼化に対応した小型・高効率の電動分散型高揚力システム技術の開発を実施した。平成 26 (2014) 年度下期より開発を開始し、平成 29 (2017) 年度に TRL6 相当を達成し作業を完了した。

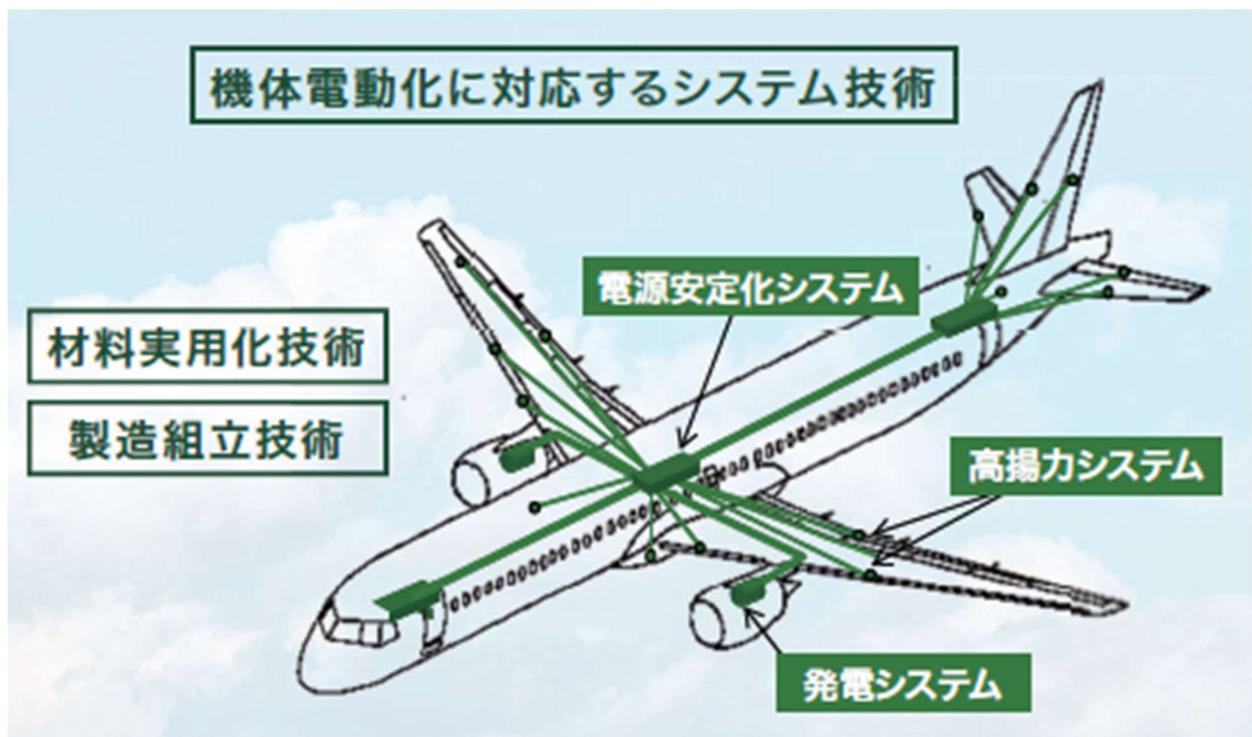
3. 3 電源安定化システム技術

本技術開発は中小型民間輸送機関連技術開発として実施する以前より、平成 23 (2011) 年度～平成 25 (2013) 年において経済産業省の助成事業として実施されていた。

電動化による電力戻り等の電力変動を抑えるための電源安定化システム技術の開発を実施している。令和 4 (2022) 年度時点で開発実施中である。

平成 26 (2014) 年度下期より基本性能確認用供試体の開発を開始し、平成 29 (2017) 年度に TRL6 を達成した。

ボーイングからの信頼性要求の高まりを受け、平成 30 (2018) 年度から信頼性実証確認用供試体の開発を開始した。令和 2 (2020) 年度からはシステム実証確認用供試体の開発を開始したが、COVID-19 の影響を受けたボーイングの方針変更などもあり、令和 3 (2021) 年度からは一部機能に特化した供試体の技術開発に変更し、継続している。

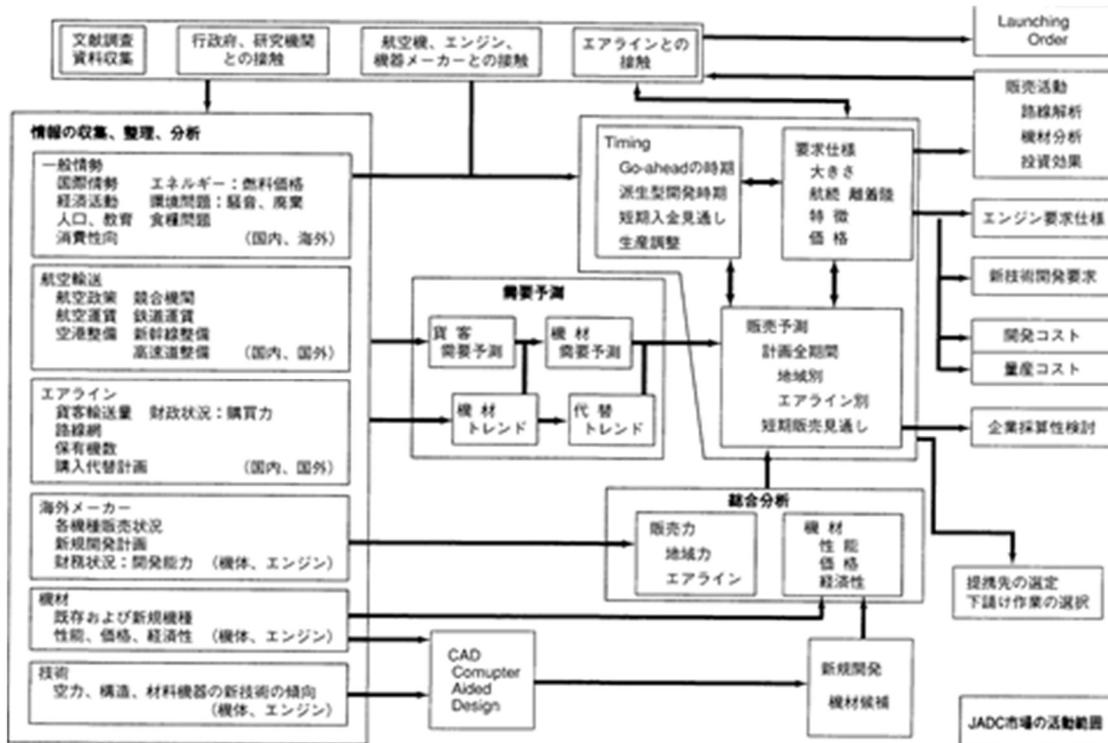


1. 事業概要

民間航空機の市場調査は、新しく開発する機体の計画立案と推進およびその事業性検討を支援するため、必要な情報提供、調査、市場分析、需要予測等を行う作業で、これらは計画開始と同時に開始されるものでなく、不断の調査活動が必要である。

本稿では“30年のあゆみ”に纏められた以降の20年間でおこなった、官需機を活用した民間航空機開発検討、超高速輸送機実用化検討、ソニック・クルザーから移行された787開発、777X開発のそれぞれにおいて、その事業性検討を支援するため、日常の情報収集やエアライン調査を元に市場分析や需要予測を行った市場調査活動について述べる。

市場調査活動フローチャート



2. 官需機活用民間航空機開発調査における市場調査

YSX 計画/ボーイングとのNSA共同作業の終了とほぼ同時の平成14(2002)年4月、川崎重工業が開発していた官需機の次期輸送機(XC-2)および次期固定翼哨戒機(XP-1)の民間機転用輸送機である貨物機(YCX)と旅客機(YPX)の開発調査が開始された。JADCでは、YCXは主として需要予測、YPXは市場調査と需要予測を支援した。

YCXは、最大離陸重量：141トン、最大搭載重量：38トン、航続距離：3,000NMのワイドボディの貨物輸送機で、同じ中型貨物機DC10-30F(最大離陸重量：252トン、最大搭載重量：46トン、最大航続距離：5,200NM)の最大搭載重量の2/3ではあるが、貨物扉の幅と高さが4m×4mと大型貨物機747-400F(3.3m×3.1m)より大きく、例えば大型エンジンの輸送においては、エンジンを分解せずに搭載できるなど747-400Fでは搭載できない大型の貨物も搭載可能、という特徴を有する。平成20(2008)年4月における貨物機の需要予測では、20年間で3,100機の需要が見込まれ、そのうちYCXクラスの中型広胴貨物機は980機であるが、中古旅客機から貨物機への改造もあるため、新製中型広胴貨物機は280機と見積もった。

YPX は、100 席以下のリージョナルジェット機と大型化していく A320 および 737 ファミリーの間を埋める 100~130 席の細胴後継機と位置づけられた。市場調査では、欧州エアラインは、欧州域内路線をカバーする航続距離 1500~2000NM が必要で、北米エアラインは、メインラインの最小機材として、航続距離 3,000NM の経済性が良い新型機を望んでいることが判明した。競合機としては、YPX とほぼ同じ市場を目指していたボンバルディア CS100/200 (2016 年運航開始、後の A220-100/-300) があったが、この時の調査では、YPX が当時計画していた運航開始の平成 22 (2010) 年では遅いとの指摘があった。平成 20 (2008) 年におけるジェット旅客機需要予測では、YPX のクラス (100~119 席) は、20 年間で 3,800 機の需要があると見込まれている。

これらの開発事業は、官需機から民需機への転換であり、官民共通部品があっても、設計思想が前者は性能、後者は経済性を重視しているため、エアラインとしては最初から経済性を狙った純民間輸送機を好むとの意見が多かった。この事業は平成 25 (2013) 年 3 月まで実施された。

3. 超高速輸送機実用化 (HSTP) 開発調査における市場調査

第二世代の超音速輸送機 (SST) 開発調査を 11 年間実施した後、引き続き平成 15 (2003) 年 4 月より日本独自の実用化が可能な超音速輸送機 (HSTP) 実用化開発調査が行われ、平成 26 (2014) 年 3 月まで実施された。

平成 15 (2013) 年に行われた欧州エアライン市場調査では、当面は経済性の良い亜音速機で十分であり、超音速機は特段必要としないというエアラインが大半ではあった。但し、中にはマッハ 1.6 なら北大西洋を一日 2 往復できるので経済的にも興味があるというエアラインもあった。北米エアラインは、HSTP は市場が限られるので経済的に成り立つ規模のフリート (10 機以上) を持つのは難しいと思われたが、実際、平成 16 (2014) 年に行われた北米エアライン調査では、3クラス 250 席、マッハ 1.6、6,000NM の HSTP に対し、NYC-PAR は片道 4 時間かかる為、メンテナンス時間も入れると一日 2 往復は難しく、運航時の経済性に問題ありとの意見であった。アジアエアライン調査では、HSTP はやはり経済的に成立することが重要で、運賃増加は 30% くらいが限度、その上で、300 席・7,000NM (太平洋路線) の航続距離ならば運航可能とのことであった。

尚、HSTP の需要予測では、エアラインの要求仕様に基づいた機体を想定し、その機体が競合亜音速機より時間短縮できる路線 (86 路線) を選択し、それらの各路線で HSTP の座席当り機体価格を亜音速機より 3 倍まで段階的に上げた時の運賃比で旅客シェアを求め、その旅客を運ぶための需要機数を予測した。その一例として、マッハ 1.6/250 席/6,000NM HSTP 対 787-9 では、機体価格比が 787-9 と同じなら運賃比は 1.06 倍で、旅客シェアは 95.2%、需要機数は 2,540 機となるが、機体価格比が 3 倍となると、運賃比は 1.35 倍、旅客シェアは 60.8%、需要機数は 1,612 機に減ると予測した。

4. 超高速輸送機計画における市場調査/787 計画 (7E7/787) における市場調査

平成 13 (2001) 年 3 月、ボーイングは 200~300 席の超高速輸送機 (SC:ソニック・クルザー) の計画を発表、JADC においても平成 14 (2002) 年 4 月から超高速機の開発調査や市場調査、及び、需要予測を実施した。

同年 10 月には、ボーイングは、SC として 200~250 席、マッハ 0.95~0.98、航続距離 6,500~9,000NM の性能を満たす、①案：カブト付きの後部主翼機、②案：中央主翼機、③案：従来機と同じ形状だが SC の技術を適用した経済性の良い機体 (7E7) の 3 案を発表し、どれを選択するかエアラインとの調整作業に入った。

平成 14 (2002) 年度に JADC が実施した市場調査では、欧州、米国のエアラインの SC に対する反応は、マッハ 0.95/0.98 の超高速機は、大きな時間短縮にはならず、燃費は上がるのでメリットは少ない、むしろ、これらの技術を 7E7 に適用した方が良いとのことで、③案を選択するとの意見が多かった。これらの調査結果を纏めて、JADC による SC 開発調査等は平成 15 (2003) 年 1 月で一旦終了した。

同年5月、日本とボーイングは、7E7から移行された787の共同開発に関する初期検討の覚書(MOU)を締結し、その後、平成16(2004)年4月には、全日空から納入開始2008年、国内線用787-3(290~330席):30機、長距離用787-8(210~250席):20機、合計50機の確定受注を得て、787プログラムはローンチされた。初飛行は平成21(2009)年12月で、型式証明取得は平成23(2011)年8月、最初の787-8が全日空に出荷されたのは、同年9月、運航開始は同年10月であった。なお、全日空が発注していた短距離用787-3は、市場が小さく、中古市場での価値も下がる為、開発がキャンセルされた。

787が運航され始めた同年に行われた市場調査では、欧州エアラインは、航続距離は6,500NMで十分、このサイズの新型機の導入で競争が激しくなることで、より経済的な機体を期待している、というものであった。北米エアラインは、787は2013年から2014年に掛けて納入が開始されるが、空港で地上機材との接触で損傷した場合の複合材胴体の修理をどうするかなどにまだ不安材料があるとの意見があったものの、当該年度の需要予測では、787を含む230~309席クラスの広胴機の需要は、2012年から20年間で4,700機の需要があり、これらを767/787とA330/A350で分け合うものの、他のクラスと比べ大きな成長が見込める市場であると予測した。

そして、平成23(2011)年10月、787-8の開発が終了し、787はYX/767、777と同様に民間航空機株式会社に移管されることになり、787開発としての市場調査活動も終了した。

5. 777X計画における市場調査

平成25(2013)年11月17日、ボーイングは、エミレーツ等4社から計259機の受注を得て、777X(777-8(350-375席)及び777-9(400-425席))プログラムをローンチした。平成26(2014)年には、ボーイングと777Xの開発・量産事業参画の覚書を締結し、平成27(2015)年には777Xの開発・製造に関する正式契約に調印した。777-9は、令和2(2020)年1月25日に初飛行を行った。777-9初号機の顧客引渡しは令和7(2025)年を目指している。

777Xローンチ前後の市場調査では、出現時期が2020年以降ということもあり、一部のエアラインを除き各社とも情報収集の段階に留まっていた。777Xで採用予定のフォルディングウイングについては、空港インフラの制限から採用を容認するものの、将来、空港インフラが改善されれば必要なくなるのではないかとの意見もあった。北米エアラインは、米国から世界中の主要都市へ運航していることから、787やA350のような中型機が効率的であり、777Xは大きすぎるとの意見が多かった。しかしながら、中東、アジア太平洋や欧州のエアラインは、自身のハブ空港から遠方の高需要大都市間を結ぶ路線を主に運航していることや、ハブ空港の混雑問題もあり777Xは有用であるとの意見を得た。

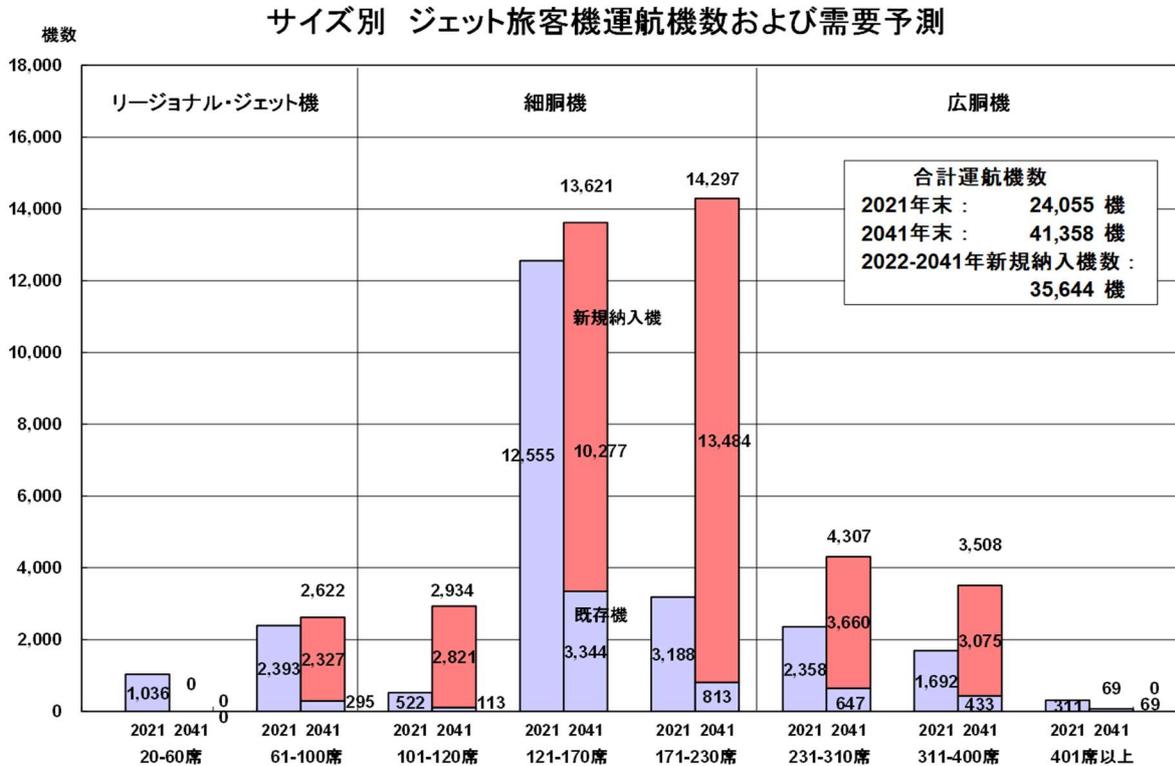
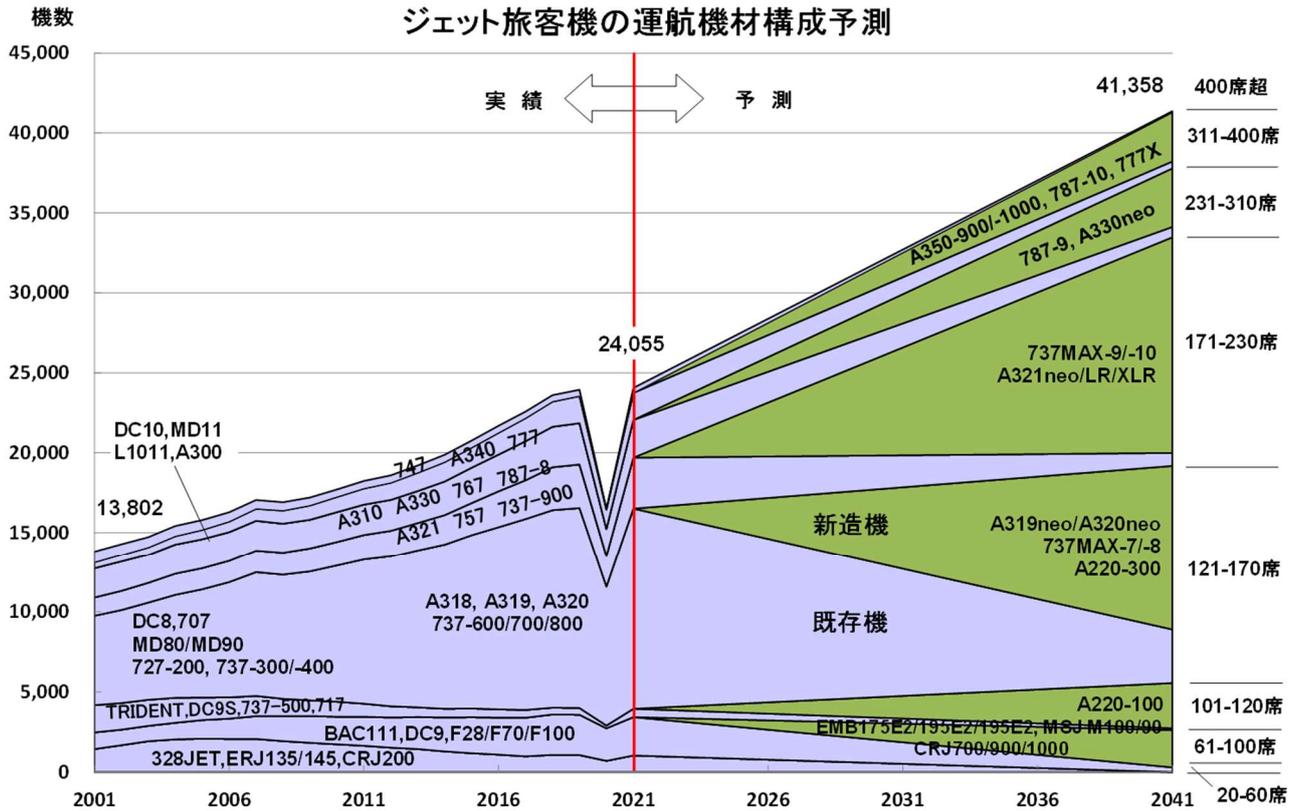
平成26(2014)年度に行われた需要予測では、777Xを含む310~399席クラスの広胴機需要は、平成27(2015)年から20年間で4,025機の需要があり、これらを787-10とA350-900/1000で分け合うものの、大きな市場があると予測した。

6. まとめ

JADCでは設立以来、50年にわたり市場調査活動を継続している。本活動は民間機事業を進めていくためには必要不可欠の活動であり、航空機関連データの収集や民間航空機の需要予測を通して航空機開発の将来プログラムの市場面での調査・分析を続けていくことは重要である。

この活動は経済産業省、日本自転車振興会、日本小型自動車振興会および各社の支援を受けながら行ってきたもので、平成10(1998)年度からは毎年、「民間航空機に関する市場予測」及び「民間航空機関連データ集」として広く社会に提供を続けてきた。今後も継続していく所存である。

【 2021 年度予想 】



1. 調査事業の概要

防衛省で開発中あるいは開発された航空機の技術を最大限に活用し我が国主導の民間航空機の開発を目指し、フィジビリティスタディを実施した。次期固定翼哨戒機（XP-1）を100席から150席クラスの旅客機へ転用する YPX、次期輸送機（XC-2）を民間貨物輸送機へ転用する YCX について、課題の抽出、構想検討等を行った。US-2 救難飛行艇については、海上監視、離島支援、消防飛行艇等への転用について、課題の抽出、構想検討等を行った。検討結果に関する中間報告実施後、YCX と US-2 民転については、需要予測、機体仕様検討、事業化検討等まで実施した。

2. 調査実施期間

平成 14（2002）年度から平成 23（2011）年度まで

3. 調査結果概要

（1）事業検討の評価

事業検討を行うことの意義や課題が、以下の通り、報告された。

- ・我が国で開発された防衛省機の有効利用・追加投資による民間機開発は、我が国主導の民間機開発に対して有効な方途であり、国内の技術資源活用、実証技術力の向上のため、意義が大きい。
- ・YCX、US-2 民転などのニッチ市場の検討はあらゆる可能性を探るという点で重要であり、今後も市場の成立性についての徹底的な調査が必要である。
- ・US-2 民転は消防や海難救助の面でニーズが高く、推進すべき事業である。
- ・YCX についても、具体的なニーズをさらに明確にしておくべきである。
- ・YCX、US-2 民転については国内需要が限られているので、パートナーの選択やアフターサービスを含む海外展開の具体化に見通しを立てる必要がある。
- ・民間機開発に対抗できる需要適合性、経済性、事業化後の運航支援体制などなど広範な検討・深堀が必要と考える。

（2）調査終了までの提言

以下の通りに提言が纏められた。

- ・防衛用機の民転事業は、その目的設定や需要見通しを得る上で難しい点があるため、民間用機材としての十分なニーズの見極め、セールスポイントの明確化及び関係府省庁間の密接な連携が必要となる。

（3）纏め

- ・市場状況、動向、ユーザー要求等を継続して調査し、顧客ニーズに応えられる機体構想を行うとともに、開発・生産体制の検討、並びに運航後まで視野に入れたカスタマーサポート体制の構想検討を実施した。また、それらの結果を基に、開発計画、販売予測、収益計画等を含めた事業化計画を検討した。

次期輸送機XC-2の民間貨物機化研究



特殊大型貨物の輸送



コンテナの輸送



後部貨物扉や大きな貨物室で定形外貨物を運ぶ輸送機への転用



US 民転消防飛行艇



1. 開発事業の概要

経済活動の活性化、生活の質的向上のために、輸送機関の高速化が今後一層進み、同時に、省資源・省エネルギーの必要性も年々高まり、これに対応するために、輸送機関の低コスト化・軽量化が強く求められている。航空輸送システムも、低コスト化・軽量化に対する要請が、経済効率改善ばかりではなく地球環境保全、エネルギー消費改善の観点から増大している。しかし、先進技術の導入は、航空機開発費を高騰させ、機体価格とのギャップを逆に拡大させている面があることも否めない。従い、もはや従来の単なる新技術導入だけでは、事業として成立が非常に困難であるため、これを打破するために、抜本的な低コスト化が必須の課題である。本研究開発では、コスト低減を主目標とし軽量化も同時に達成する設計検討を行なう。軽量化と低コスト化を同時に満足できる技術に答を見出すことができれば、民間機の新規開発を加速することができるであろう。

2. 開発実施期間

平成 11（1999）年度から平成 15（2003）年度まで

3. 重量軽減目標及び部品点数削減目標

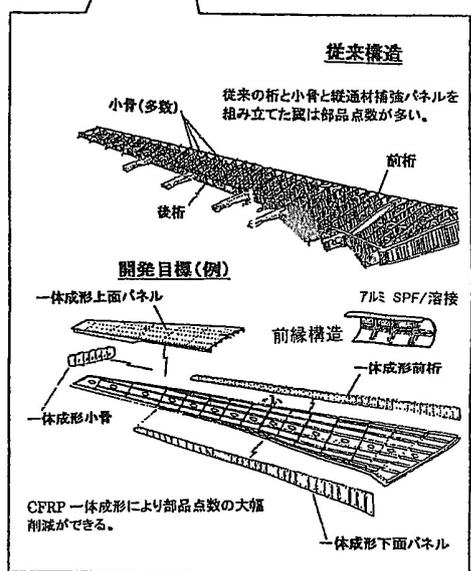
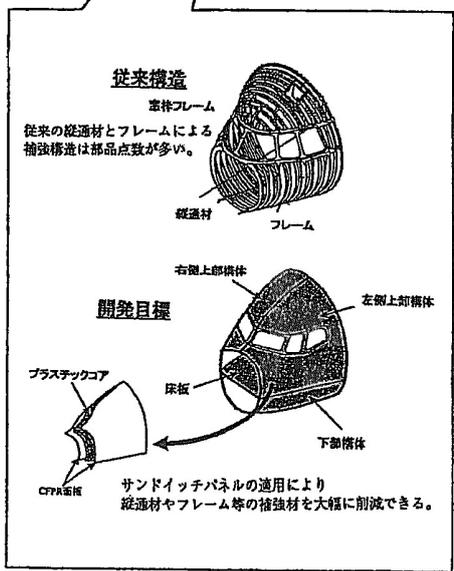
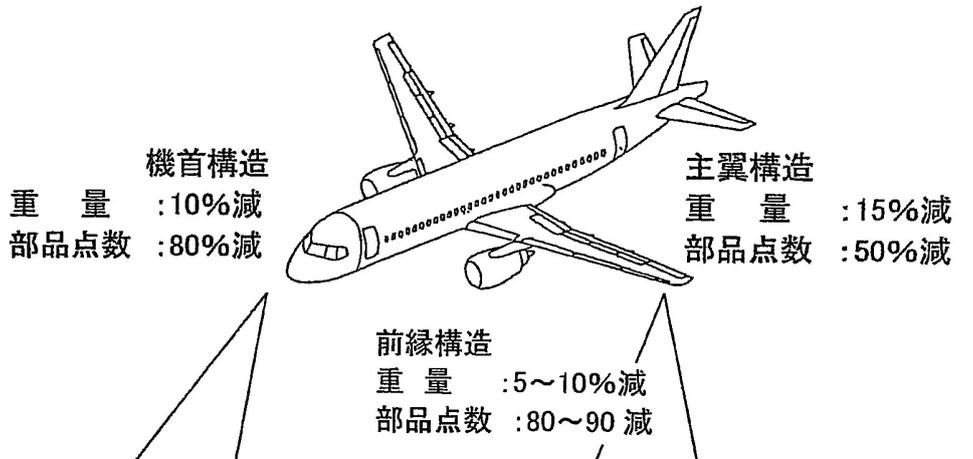
航空機構造を軽量化する方法として、現在の主流は複合材料の適用である。アルミニウム合金構造に対する軽量化実績を過去の統計値から求めると、主翼構造重量の 60%に複合材を適用した場合、軽量化に最大の努力を払った設計(最軽量設計)で重量軽減率 25%程度、コスト削減に努力を払った設計(低コスト設計)で重量軽減率 15%程度である。胴体構造重量の 45%に複合材料を適用した場合、重量軽減率は最軽量設計で 15%程度、低コスト設計で 10%程度となる。本研究では、従い、重量軽減目標を、低コスト設計で、主翼構造 15%、機首構造 10%とした。

航空機の構造は、多数の部品をリベットやファスナで結合して組立てるビルトアップ方式を取る場合が多く、結果、部品点数が多くなる。部品点数の削減は、部品の加工工数、組立工数、加工処理時間等を直接・間接的に低減・短縮し、低コスト化に最も効果がある。本研究では、複雑で部品点数が多い構造の代表として、荷重密度が高く燃料タンクを形成する主翼構造と、与圧操縦室を形成する機首構造を研究対象に選び、主翼構造の部品点数 50%減、機首構造の部品点数 80%減を削減の目標とした。

6C&4W project

Cockpit & Wing世界初のCFRP化
 Cost & Weight saving挑戦的目標
 Composites低コスト成形法
 Casting & Welding...アルミ自由新加工法
 CAD & Work station設計技術の革新
 Certification.....実証開発へのステップ

実物大構造の試作



4. 開発事業内容

革新的軽量構造設計製造基盤技術開発に係る研究につき、以下の項目を実施した。

- ① 一体成型型 CFRP 部材の設計・製造技術
- ② 大型構造金属部材の精密鋳造・溶接技術
- ③ 革新軽量構造インテグレーション技術

5. 成果

表 1 に目標達成状況を示す。数値目標を全てクリアする事ができた。ただし、与圧胴体 FSW 接合⁶の重量軽減目標 5~10%及び前縁構造の重量軽減目標 5~10%の達成が非常に難しかった。FAR 適合性や技術実証も目的を達し、実用化に繋がる成果を得た。

表1「革新的軽量構造設計製造基盤技術開発」目標達成状況

開発技術	主翼ボックス		前縁		機首		与圧胴体パネル		高信頼性効率的構造技術	
	目標	達成度	目標	達成度	目標	達成度	目標	達成度	目標	達成度
複合材料	RTM一体成形: 部品点数50%減	重量 27% 部品 54%	**	**	サンドイッチパネル: 重量20%減、 部品点数1/5- 1/10	23% 1/50	**	**	加速試験による 寿命予測法、 縫合効果評価 法、データベース	・寿命予測法*1 ・縫合効果評価法 ・JAXA-ACDB
アルミニウム 合金	薄肉一体化铸造: 重量10%減、 部品点数1/10	固定後縁: 11% 1/10 (1mmt達 成)	SPF+精密铸造: 重量5-10%減、 部品点数1/5- 1/10	6% 1/8 (1mmt達 成)	薄板大型铸造: 重量10%減、 部品点数1/10 FSW: 重量10%減、 部品点数1/2-1/4	耐圧床支持構 造: 10% 1/100 前方耐圧隔 壁: 13% 1/4	FSW接合パネル: 重量5~10%減、 部品点数1/2- 1/4	5% 48%	**	**
各構造全体	重量15%減、 部品点数50%減、 開発期間15%短縮、 開発コスト20%減	21% 54% 16% 21%	**	**	重量10%減、 部品点数80%減	11% 82%	**	**	**	**
技術実証	FAR満足	実大供試体 静強度試験 +要素試験 /解析	FAR満足	実大供試体 鳥及び電衝 突試験	FAR満足	実大供試体 ND試験+要 素試験/解析	**	**	FAR適合性	DER評価

(注) *1 寿命予測法は次の要素からなる長期寿命予測法

- ①ATM=Accelerated Test Method (加速試験法)
- ②TTSP=Time-Temperature Superposition Principle (時間温度換算則)
- ③TTWSP=Time-Temperature-Water absorption Superposition Principle
- ④PIF/BVID=Post Impact Fatigue from Barely Visible Impact Damage
- ⑤Under-threshold Criteria

革新的軽量構造・設計製造基盤技術開発



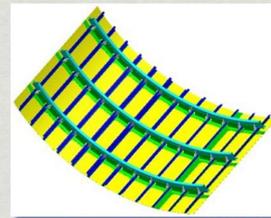
機首構造



主翼前縁構造



主翼桁間構造



パネル組立構造



床受組立構造

ISTR

1. 開発事業の背景

最高度の信頼性が追求される航空機の操作システム分野では、これまで人間の判断による操作から電子技術による自動化を進めた制御へと移行することにより信頼性の向上が図られてきた。しかし、こうした航空機のハイテク化に対して、機構の複雑化など技術的問題も発生しているのも現状である。

そこで、高磁性体を用いた高出力／高応答のブラシレス DC モーターや先進制御技術を用いることにより、油圧アクチュエーターや複雑な関連システムを必要としない簡素な操縦システムを成立せしめる研究をおこなった。

2. 開発期間

平成 11（1999）年度から平成 19（2007）年度まで

3. 事業概要

本事業は、人間の判断能力と飛行制御技術とを調和させる機力・人力操作ハイブリッド型の先進操作システムを中心とした、コックピットに係る革新的基盤技術を開発することを目的としており、以下の 3 つの技術開発からなる。

- ・ 先進的手動・電動ハイブリッド操縦システムの技術開発
- ・ 人間中心コックピットの技術開発
- ・ 操縦システム関連コックピット・機首構造統合に係る技術開発

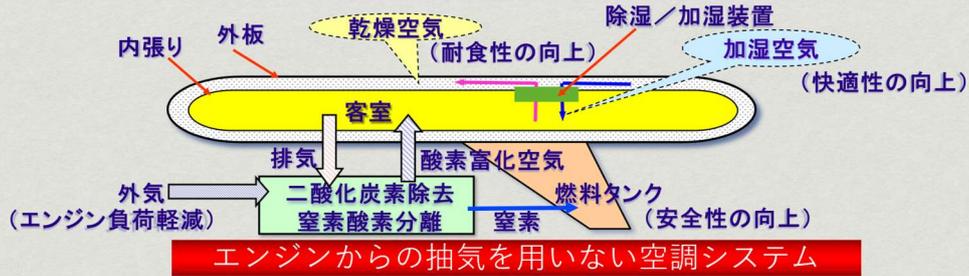
4. 開発結果

航空機の安全性向上及び運航コスト低減に資する先進的なシステム技術の開発を実施した。

- ・ 先進空調システム
(ノ・ブリード型電気式空調システムの開発)
除湿加湿装置、窒素酸素分離装置、CO²分離装置、電動コンプレッサ
- ・ 電源系統制御システム
(SSPC及び電源系統制御装置の開発、電源系統操作表示装置の開発)
電源系統制御装置、電源系統操作表示装置
※SSPC：半導体型電源制御素子
- ・ 電子制御小型アクチュエータ
(主舵面及び脚系統用EHA、EMAの開発&脚用電動ブレーキの開発)
主舵面用EMA、主舵面用EHA、脚系統用EHA、電動ブレーキ
※EMA：Electro-Mechanic Actuator EHA：Electro-Hydrostatic Actuator
- ・ 機内信号伝送システム（高速光伝送システムの開発（ギガ・ビットクラス）
WDMモジュール、EOトランシーバ
※WDM：Wavelength Division Multiplexing EO：Electro-Optics
- ・ エンジンストール予兆検知システム
(アクティブストール制御用ストール予兆感知システムの開発)

先進空調システム

ASYS



エンジンからの抽気を用いない空調システム

窒素酸素分離装置 (OBNOGS)



除湿/加湿装置 (デシカントユニット)



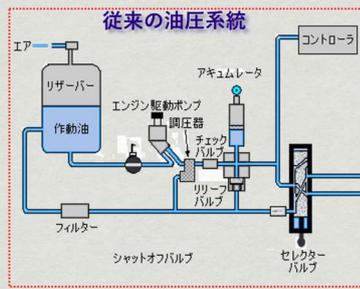
二酸化炭素除去装置



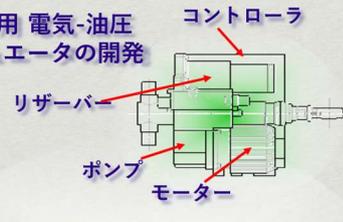
【構成要素の技術開発】

電子制御小型アクチュエータ

ASYS



主舵面用 電気-油圧
アクチュエータの開発



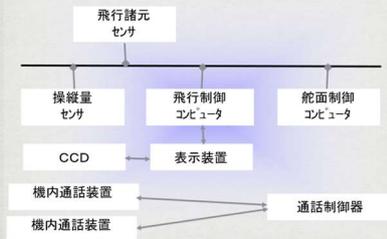
主舵面用電動アクチュエータの開発

脚用 電気-油圧アクチュエータ及び
電動ブレーキの開発

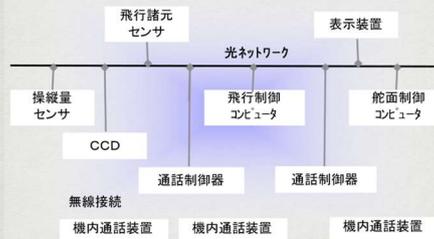
機内信号伝送システム

ASYS

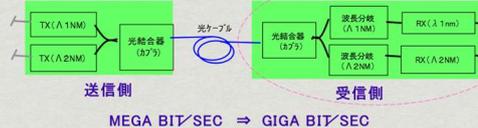
【従来システム】



【将来システム】



波長多重インターフェース・モジュールの開発



MEGA BIT/SEC ⇒ GIGA BIT/SEC



E/Oトランスシーバ

超高速輸送機（HSTP）実用化開発調査事業

1. 調査事業の背景

民間航空輸送は、高空を高速で多くの旅客を安全かつ経済的に輸送することを目的にしている。現在の民間航空機はマッハ 0.7-0.8 の超音速機が主流で、その速度はジェット輸送機出現以来殆ど進歩していない。一方、マッハ2クラスの超音速機としては僅かにコンコルドが運航されていたが、その経済性及び環境適合性（特に騒音等）に問題があった。

また、平成 13（2001）年 3 月に、ボーイングがマッハ 0.95-0.98 のスピードで 9000nm の航続距離のある高速長距離機（ソニッククルーザー）を 2008 年の市場投入を目指して研究する計画を発表した。

2. 調査期間

平成 14（2002）年度から平成 26（2014）年度まで

3. 調査計画概要

（1）調査の目的・目標

これら背景の下に、経済産業省が平成 14（2002）～16（2004）年度の 3 年計画で超高速輸送機実用化開発調査を補助事業として予算化し、これを JADC が担当することとなった。

本開発調査では、超高速輸送機（マッハ 0.9-1.5 程度の遷・超音速輸送機）を実現するための遷・超音速輸送機の空力・構造関連技術の確立を図り、具体的な国際共同開発プログラムに関わる企画・立案能力の取得を目標とする。

（2）調査の基本方針

マッハ 0.9-1.5 程度の巡航性能を有する機体の要素技術の実用化研究を実施し、国際共同開発への積極的かつ主体的に参画を図る。

（3）調査の実施内容

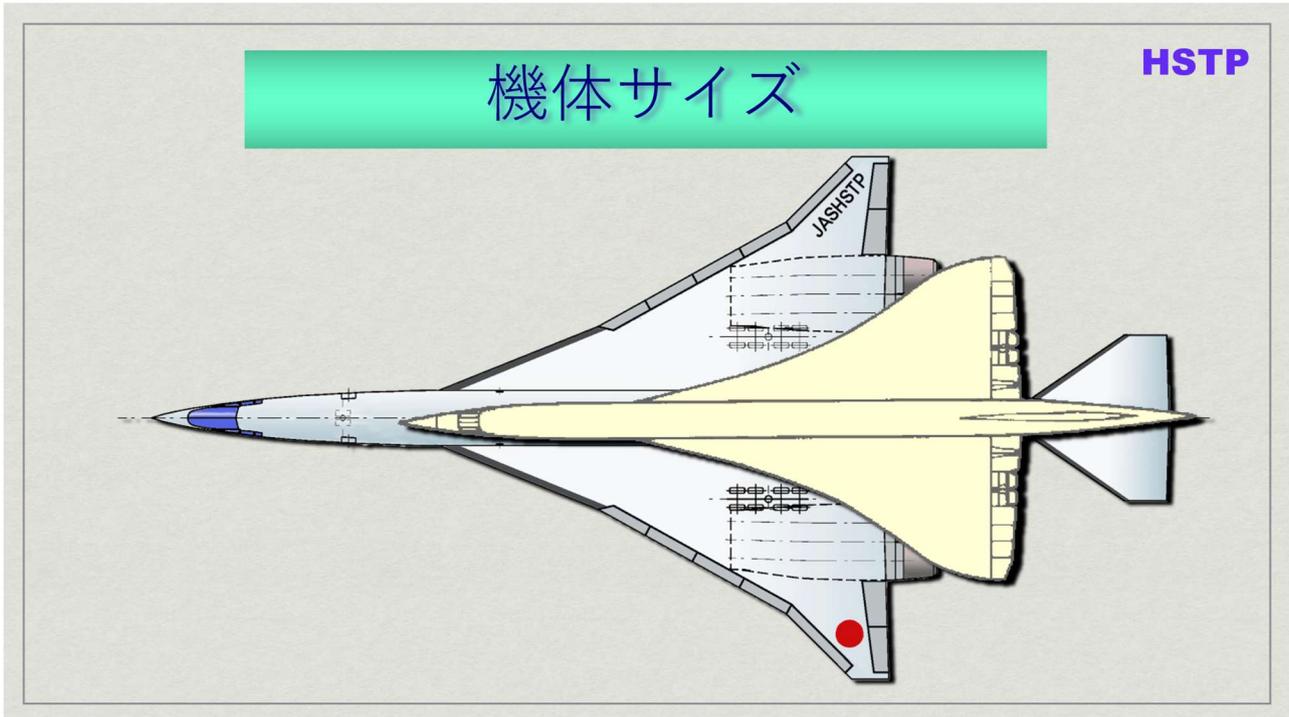
主翼・胴体などの主要構造部位の最適化設計、適用構造材料の選定・開発、低コスト化製造技術の開発などに関連する要素技術の実用化研究を実施し、マッハ 0.9-1.5 程度の巡航性能を有する機体デザインを確定する。

4. 結果概要

以下の項目を実施した。

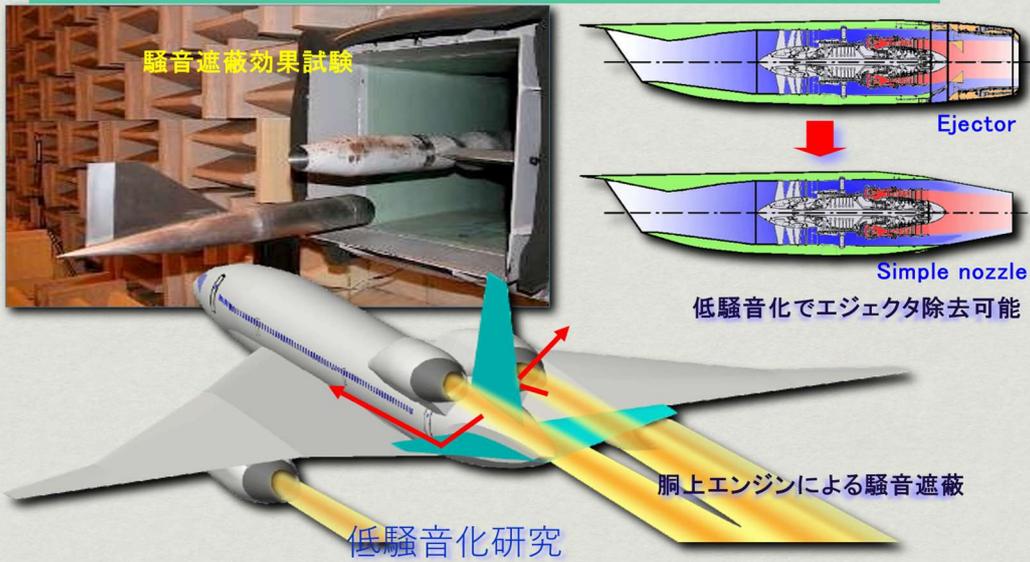
- （1）技術動向調査/極超音速機の需要予測
- （2）低速飛行特性を考慮した空力形状の検討（低速風洞試験の実施）
- （3）複合材適用による内翼構造軽量化検討
- （4）低速飛行特性を考慮した空力形状の検討（非定常空力特性の解析・評価手法の検討）
- （5）超高速輸送機の機体形状最適化検討（機体空力特性の解析及び試験）
- （6）超高速輸送機の機体形状最適化検討（騒音低減技術の検討）
- （7）超高速輸送機の機体形状最適化検討（機体形状の最適化設計の検討）
- （8）超高速輸送機のインテーク・ノセル設計検討
（インテーク・ノセル形態の空力特性推算精度改善のための解析及び風洞試験）
- （9）超高速輸送機の構造最適化検討（主翼桁間構造最適化の検討）
- （10）超高速輸送機の構造最適化検討（CFRP 高強度結合手法の検討）

- (11) 超高速輸送機のインテーク・ノセル設計検討（胴上配置ノセル・機体統合形態の空力設計検討）
- (12) 熱可塑性複合材料の適用検討
- (13) 複合材一体化構造の検討



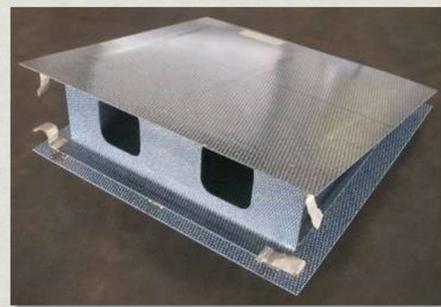
機体形状の空力検討

HSTP



構造軽量化、低コスト化研究

HSTP



複合材による構造軽量化研究

1. 開発事業の概要

環境適合型高性能小型航空機の設計仕様検討のための基礎データを得る目的で、米国、欧州での運航状況を踏まえた調査を実施した。

2. 開発期間

平成 15（2003）年度から平成 19（2007）年度まで

3. 調査結果概要

（1）平成 15（2003）年度調査結果

- ・航空機旅客輸送の市場要求：約 1.5 倍／10 年で伸長を続けており、空港及び航空路はその容量の限界に近い状況で運行している。
- ・環境問題：航空輸送量予測をもとにした温室効果ガス 2010 年には現在の 1.5 倍、2050 年には最大 10 倍となり、航空機からの排出量の比重が大きくなるとの予測。
- ・CNS/ATM による排出削減の期待：今後計画の将来航空管制の採用により、この利点を運航に生かさない場合に比べ 3%～7%程度の燃料削減の可能性を FAA 及び Eurocontrol を主体にした欧米の共同研究が示している。

（2）平成 16（2004）年度調査結果

- ・航空機を取り巻く運航環境：航空旅客市場は増加（50%／10 年）を続けている。これに伴う温室効果ガス等の排出量は、高性能航空機投入による削減量（20%／10 年）を遥かに超え、増加傾向に歯止めがかからない。
- ・運航による環境負荷低減の研究動向：高々度専用航空路（日本は SkyHighway、米国は Q ルート）において、CNS/ATM を利用した運航で、約 5%の温室効果ガス等低減の可能性がある。
- ・CNS/ATM に対応する機体システム要件：「衛星利用」と「アビオニクスと自動操縦の統合化」を要件とする。要件の骨子は個別システムの性能ではなく、全機性能の規定である。よって、詳細設計段階での機能追加は難しく、システム構想段階からの重要検討事項である。

（3）平成 17（2005）年度調査結果

- ・航空機を取り巻く運航環境：航空旅客市場の増大と昨今の石油価格高騰を背景に、運航効率の高い機材の市場要求が高まっている。
- ・我が国の将来航空管制計画：我が国は世界有数の過密路線であるが、高性能航空機と通常性能航空機との混成運航をしており、高性能航空機の能力を十分に発揮できていない。対策として、我が国では高性能航空機の能力を最大限に活用するために、高々度専用航空路を設置し、高密度運行できる空域の整備が進められている。こうした管制側の能力向上に加え、効率性と安全性の両立のために機体側にも高機能が求められる。なお、我が国で運航されている最新の欧米の 100 席クラス以上の機材にはこの要求に対応できる機能を有するものが多い。
- ・運航による環境負荷低減の研究動向：環境適応型機クラスの機体性能として、国内代表路線での運航をモデルケースに、将来航空管制への対応能力の有無で、どのような環境負荷が生じるかを検証した。
 - > 将来航空管制への対応能力有の場合：5%程度の環境負荷低減が期待できる
 - > 将来航空管制への対応能力無の場合：2%程度の環境負荷増大が懸念される

(4) 平成 18 (2006) 年度調査結果

- ・航空機を取り巻く運航環境：米国国内空域での旅客輸送量は年間 5%前後の増加を続けており、しかも、主要 30 空港に集中している。燃料消費量の 70%はこれらの空域で消費されており、周辺の大気環境への波及が今後の課題である。
- ・将来航空管制と機体システム要件：現在、米国空域での機体運航においては、定時性能 (80%前後) の維持が目標とされている。その為には、最新の運航技術 (24 時間運航、衛星航法、高々度の広域航法等) の駆使が必要であるが、それがないままの今の方式では、空域性能低下 (空域での平均遅延時間が 2006 年の 10 分から、2015 年では 30 分) が予想される。米国における将来航空管制は、航法精度要件を伴う航法 (衛星航法、フリーフライト、航空交通流管理等) を骨子に、空域全体のシームレスな運航機能の構築を進めることで、定時性能の維持を目指している。
- ・将来航空管制の航空機運航効率に関わる導入効果：平成 8 (1996) 年を基準に米国の将来航空管制で、航空機運航に関わる運航効率と大気環境負荷低減への導入効果を調査した。
 - ＞空域全体での運航効率 (燃料消費量低減比率)：7%程度低減
 - ＞環境適合型機種の機体モデルで、代表的路線での運航効率 (同上)：～20%程度低減

(5) 平成 19 (2007) 年度調査結果

- ・欧州での航空機を取り巻く環境問題：欧州空域の航空旅客輸送量は年間 5%前後増加しており、しかも、30%は主要な 10 空港に集中している。周辺の大気環境への波及が今後の課題である。
- ・欧州における運航環境：短距離路線が多く、かつ空域構造をはじめとする各国の航空管制方式の差異は、空域性能低下の要因となっている。将来航空管制の導入を契機に OneEuropeanSky 計画のもと、統一の模索が続けられている。
- ・欧州の航空管制と空域性能 (含む、日本の空域性能の調査)：欧州空域の航空管制と空域性能を調査した。併せて、我が国の運航データと将来航空管制計画をもとにした空域性能を設定した。
- ・将来航空管制による環境負荷低減効果：欧州及び日本の代表的混雑路線で、将来航空管制による環境負荷低減効果を試算した結果、運航で 5%程度環境負荷を低減できる見通しを得た。
- ・騒音環境と評価ツールの予備調査：騒音評価法の調査と最新ツールを用いたシミュレーションの結果、実用レベルの模擬が可能であることを空港騒音の実測データで確認した。

まとめ（これからの50年に向かって）

我が国の民間航空機産業は、これまで、ボーイングと主にワイドボディ機と呼ばれる双通路機を共同開発することで、成長を果たしてきたわけであるが、本文の「初めに（これまでの20年を振り返り）」でも述べた通り、ここ二、三年以内にたて続けに発生した日本の民間航空機産業に対する大打撃は、言わば日本のビジネス構造の脆弱性を露にする事態でもあった。ここに来て、漸く、この厳しい時代を脱しようとはしているが、我が国の民間航空機産業の回復後の更なる発展のためには、今回明らかになった日本の航空機産業の構造的な問題を克服する必要があるものと考え。その為に、「まとめ」として、三点の課題に言及しておくこととしたい。

一つは、脱炭素への取り組みである。国際民間航空機関（ICAO）は、第41回総会（2022年）において、2050年までにカーボンニュートラルを達成する“2050ネットゼロ”を決定した。エアラインを含めすべての航空機関連産業は、脱炭素への取り組みを加速し、目標を達成することが、広く社会から求められており、我が国の航空機産業もこの例外たりえない。脱炭素社会、サステナビリティ社会の実現に、どう技術的に立ち向かうのかが、航空機の技術開発の一翼を担う協会に課せられた課題と認識する。

二つ目は、開発期間の短縮と低コスト化である。本文にも触れられているが、2018年と19年に立て続けに起きたBoeing737MAXの墜落事故を契機に、航空機の安全への規制は強化され、その結果、航空局による耐空性審査が厳格化されることとなった。次世代航空機には、元々高速化や省エネ化の高まりで、革新的な新技術の開発が求められていたが、こうした規制強化は、これらに加えて、航空機の開発期間の長期化やコスト増の動きにもつながるものでもある。従って、航空機産業は、社会からのこうした幾つかの絶対的な要求事項を全て満足させつつ、一方で、それにより生じる開発期間の増大やコストのアップを抑え込むという難題を突き付けられていることになる。この難題を克服する一つの鍵が、DX（デジタルトランスフォーメーション）であろう。開発から量産まで、設計から工場までをDX化することで、量産時に想定される諸問題を、開発の段階で見える化し、解決する、そのためのDX化に、国の支援を得つつ、航空機産業界は今取り組みを開始したところにある。これを完遂することが、明日の発展につながるものと考え。

三つ目は、中小型機への足掛かりである。これまで、協会/JAIは、1980年代にYXX/7J7計画において、150席クラスの航空機をボーイングと共に開発することを目指したことはあったが、それは結果的に頓挫したことで、中小型機クラスの国際共同開発は携わってこなかった。代わりに、日本の航空機産業（機体）は、777や787といった所謂ワイドボディ機を国際共同開発し、その成功に浴して来たわけであるが、今後の市場の主力は、現在の737シリーズやA320シリーズの短通路機市場と予想されている。このクラスの機体開発にどう日本の機体メーカーが参画できるかが今後の大きな課題である。このクラスの製品思想は、これまで協会/JAIが慣れ親しみ、一定の成果を上げてきたワイドボディ機とは、サプライチェーン、生産システム、量産コストなど、全てにおいて条件や目標が異なるため、日本には、これまでとは違う戦略が求められるものと考え。そして、このことこそが、この三番目の課題と考える。

日本の航空機産業界のこれからの将来は、上述の通り、今までの経験が通じない新しいエアでの国際的な競争に晒されることとなると思われるが、一つだけ確かなことは、日本には可能性が十分あり、官民含め日本が一体となれば、まだまだ大きな発展の余地が残されているということである。日本航空機開発協会は、その推進役をこれまで以上に担うことが望まれているという意識に立って、日本航空機産業の発展のために従来にも増して精力的に活動して参りたい。

特 別 寄 稿

三菱重工業株式会社	代表取締役社長	CEO 泉澤 清次	78
川崎重工業株式会社	代表取締役社長執行役員	橋本 康彦	79
新明和工業株式会社	代表取締役	取締役社長 五十川 龍之	80
日本飛行機株式会社	代表取締役社長	飛永 佳成	81
三菱重工業株式会社	常務執行役員	阿部 直彦	82
川崎重工業株式会社	専務執行役員	下川 広佳	83
株式会社SUBARU	常務執行役員	戸塚 正一郎	84
一般財団法人日本航空機開発協会	代表理事	副理事長 大道 正夫	85



JADC 設立 50 周年に寄せて

三菱重工業株式会社

代表取締役社長 CEO 泉澤 清次

一般財団法人日本航空機開発協会(JADC)が設立 50 周年を迎えられましたこと、心からお祝い申し上げます。貴協会は民間航空機開発を促進するための中核組織として設立され、50 年の長きにわたり調査・研究活動を通じ我が国の民間航空機開発を推進し、当社をはじめ機体メーカー各社を力強く牽引して来られました。そのご尽力とご貢献に深く感謝します。

この 50 年において、我が国の航空機産業は国際共同開発事業を飛躍的に大きくすることができました。その道のりは必ずしも順風満帆なものではなく幾度となく浮き沈みを経験しましたが、毎回乗り越えてきました。近年では新型コロナウイルス感染拡大による影響が大変大きくその復活への道を歩んでいる最中ですが、必ずや乗り越え、飛躍するものと信じております。そしてこれからの更なる飛躍のために特に注目されているのが環境への対応、及びデジタル新戦略である MBE (Model-Based Engineering)を始めとしたデジタルイノベーションの開発と適用です。

日本国政府は 2050 年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現を目指すことを宣言しました。航空機産業では、国際民間航空機関 (ICAO) が環境への対応として運航方法の改善、航空機機材への新技術導入、代替燃料の活用、及び経済的手法の検討・推進を提唱しています。特に、代替燃料については SAF (Sustainable Aviation Fuels: 持続可能航空燃料)の活用が前進しており世界の各航空会社は SAF を使用したフライト運航のトライアルに取り組んでいます。当社におきましても SAF 普及に向け SAF 生成技術の開発の観点から航空業界全体の底上げに貢献して参ります。

デジタル新戦略において、次期民間航空機の開発では MBE 活用の推進に多大な期待が寄せられております。MBE は、安全性を最重視した航空機の厳格な業界標準や設計要求に対応しつつ、開発期間及びコストを大幅に削減することを可能にします。ボーイング社が製造する戦闘機パイロット教育訓練用の高等練習機である T-7A では、MBE の適用で品質検査の合格率の向上や開発サイクル期間および組立時間の削減を実現しております。次なる目標として民間航空機への適用を実現させるために、当社としても引き続き政府のご支援を頂きながら機体 OEM 及び航空機産業界と共に MBE 開発を促進して参ります。

我が国の航空機産業は、社会インフラの中でも重要な位置を占めております。カーボンニュートラルへの取り組みを通じ社会の進歩に貢献しながらデジタル新戦略で民間航空機開発を推進するためには、今後も官民一体となって参画していくことが大変重要であります。民間航空機市場については将来的には健全な成長が見込まれておりますので、このような政府の取り組みの推進は我が国や世界市場に大きな機会をもたらすでしょう。その中で、航空機産業において官民のパイプとなる貴協会が担われる役割は大変重要なものになります。日本の航空機産業の更なる発展を確実なものとするべく、当社といたしましても本産業を牽引する貴協会とともに建設的かつ積極的な議論を進め尽力して参ります。

未筆ながら、貴協会の一層のご発展と関係者の皆様のご活躍を祈念致しまして、お祝いの言葉とさせていただきます。



JADC 設立 50 周年に寄せて

川崎重工業株式会社

代表取締役社長執行役員 橋本 康彦

この度、一般財団法人 日本航空機開発協会が創立 50 周年を迎えられましたことを、心からお慶び申し上げます。

貴協会は、YS-11 に続く日本の民間航空機事業において中核的な役割を果たす団体として、1973 年に財団法人 民間輸送機開発協会(CTDC)として設立され、日本初の国際共同開発事業としてボーイング社の 767 型機開発に参画して以来、777、787、そして現在型式証明取得に向けて鋭意開発作業が進められている 777X 事業と、半世紀の長きにわたり、日本の航空機メーカーを取り纏め、日本の航空機産業の発展に貢献されてこられました。ここに、改めて貴協会のご尽力に敬意を表します。

貴協会の 50 年間の歴史において、787 開発事業は特筆すべきものの一つであります。787 は、主要構造への炭素繊維複合材の大幅適用拡大を図った革新的な機体であり、初号機引き渡し以来約 10 年あまりを経た現時点で、既に 1100 機以上が世界中で運航されています。その事実は、787 が世界中のエアラインに高く評価された素晴らしい機体であることの証であります。当社を含む日本の航空機メーカーが 35%もの分担率でその機体を生産していることは、日本の技術・品質レベルの高さを世界に示し、777 プログラムで確立した日本の航空機メーカーの地位をより一層高めることになったものと思います。さらには、このことが、777X プログラムへ参画できたことにも大きく寄与したものと考えております。この実績の積み重ねは一朝一夕でなし得るものではなく、常に次世代の事業に向けた取り組みを取り纏め、推進してこられた貴協会のご尽力の賜物に他なりません。

一方、これらのプログラムは 2020 年頃から世界的パンデミックとなった新型コロナウイルスによる影響を大きく受けたことも事実です。特に長距離路線で使用される中・大型機は、行動制限に伴う旅客需要の減退により、新規機材の需要は激減し、民間航空機産業界は大きな打撃を受けました。しかしながら、エアライン各社や航空機メーカー各社の懸命な努力に加え、医療・政府関係者の皆様のご尽力もあり、その苦難を乗り越え、今や旅客需要も回復に向かい始めております。この流れに乗って日本の航空産業がコロナ禍前のような活況を取り戻し、さらに持続的に発展していくためには、業界の中核として貴協会が担う役割の重要度は以前にも増して大きなものとなることは必至であり、貴協会の取り纏めの下、政府・企業の英知を結集し、将来の民間航空機事業の発展に向けた取り組みを実施していく必要があります。例えば、デジタルトランスフォーメーション(DX)や脱炭素化など、世界の潮流を敏感に察しつつ、業界全体が一丸となって建設的な議論をし、また機動的な行動を起こしていくことが重要であると考えます。当社といたしましても、貴協会の引き続きのご支援を得つつ、次世代の民間航空機事業を築き上げていきたいと考えております。

最後になりましたが、貴協会がこれまでに成し遂げられた成果は、一重に歴代役職員の皆様の並々ならぬ努力の賜物であり、深い敬意を表するとともに、貴協会の益々のご発展を祈念いたしまして、50 周年のお祝いの言葉とさせていただきます。存じます。

特別寄稿



JADC 設立 50 周年に寄せて

新明和工業株式会社

代表取締役 取締役社長 五十川 龍之

一般財団法人日本航空機開発協会（JADC）が創立 50 周年を迎えられたことを、心よりお祝い申し上げます。

貴協会は日本の民間航空機の事業発展における重要な役割を担って来られました。これまでに立ち上げられたボーイング 767 およびボーイング 777 開発事業は、長年にわたって日本の航空機産業の柱となり、その発展に多いに寄与されました。

これらの実績に加え、貴協会とボーイング社との強い信頼関係とこれまで培ってきた航空機製造技術向上の結果として、機体の 50%に炭素繊維複合材を用いたボーイング 787 の開発に日本の航空機メーカーが一丸となって参画し、開発を完遂することができました。直近では、ボーイング 777 の後継機であるボーイング 777-X 開発参画の機会をいただきました。これらのプログラムにおいて、多くの課題や難問に直面しながらも、ボーイング社、関係省庁との調整、各航空機関連会社との議論を重ねられ、プログラムの立上げから現在に至るまでお導きいただいたことに、敬意を表するとともに、心より感謝申し上げます。

さて、新型コロナウイルスの感染拡大による世界的な旅客需要の急激かつ大幅な減少に加え、2022 年 2 月に始まったロシアのウクライナ侵攻によるサプライチェーンの機能不全や原材料高に直面し、航空機業界全体がその対応に苦心しています。

しかしながら、新型コロナウイルスに対する行動制限緩和と社会の経済活動再開への動きも重なって、旅客需要の大幅な回復が見込まれており、航空機業界にとって、明るい兆しも見え始めました。

一方、カーボンニュートラルに向けた取り組みが、現在、航空機業界でも、盛んに議論されています。国内においても、2050 年のカーボンニュートラル実現を目指したグリーン成長戦略に基づき、「グリーンイノベーション基金」が設立され、次世代航空機の開発、及びカーボンニュートラルの実現に向けた取り組みが始まりました。

また、これに先立ち、JAI 各社におかれても、ボーイング 777-X 開発事業における自動化・省人化の新技术開発に向けてボーイング社との共同研究開発を進めておられ、今後の日本の航空機業界の更なる地位向上と技術革新が期待されています。

コロナ禍からの航空需要が、徐々に回復に向かいつつある状況下におきましては、航空機業界が団結し、新たな基幹事業獲得に向けた取り組みが急務となっています。

今後、貴協会の役割は、一層大きくなると考えられ、弊社におきましても、グローバルな社会ニーズに応え、都市・輸送・環境インフラの高度化に貢献する価値共創カンパニーを目指し、さらなる航空機業界の発展に、貴協会、および航空機業界の皆様とともに、全力を尽くす所存でございます。

最後に、今日までの航空機業界の発展に導いていただきました貴協会や関係者の皆様、そして諸先輩方のご尽力に心より感謝申し上げますとともに、貴協会のますますのご発展と皆様のご活躍を心から祈念いたしまして、創立 50 周年のお祝いの言葉と代えさせていただきます。

JADC 設立 50 周年に寄せて



日本飛行機株式会社
代表取締役社長 飛永 佳成

この度は、一般財団法人日本航空機開発協会が創立 50 周年を迎えられましたことを、心からお慶び申し上げます。

貴協会は、調査・研究活動を通じて民間航空機の開発を推進されるなど、わが国の航空機製造業界の牽引役として、50 年の長きにわたって重要な役割を果たしてこられました。これは偏に、貴協会並びに官民の関係者の方々の、並々ならぬご努力の賜物と改めて敬意を表する次第です。

貴協会が B767 の開発をリードし、量産に結び付け、国際共同開発の道筋を拓かれたこと、その後 B777、B787 とそのパートナーシップ事業の更なる拡大および深化にご尽力されましたことにより、我々参画各社が民間航空機事業の大きな柱を得ることができました。

これは、まさに戦後のわが国航空機産業の発展の歴史に欠かせない大きなマイルストーンを刻むことができた、大事業であると確信しております。

これら、国際共同開発への参画は、日本の技術レベル、品質レベル、コスト競争力の格段の向上に寄与したことは言うまでもなく、世界に対して日本の実力を示し、国際的な航空機メーカーとしての地位の確立に大きく貢献したものとと言えます。

貴協会の活動の中で、当社においても、B767、B777 の担当アイテムの開発を通じ、5 軸オートリベッターの導入など、組立の自動化技術の構築とともに、CATIA 3D モデルを活用したデジタル上での工程設計、加工、生産性検証による更なるコストダウン、一体成形化設計・製造プランの技術基盤構築を行うことができました。これらを基に、後にボーイング社との協力関係の中で、B747-8 のアウトボードフラップ設計・製造に参画するなど、当社の民間航空機事業の提案・受注に大いに活かすことができました。

コロナ禍の影響も長引き、未だ民間旅客機需要も見通しづらい中ではありますが、航空機産業は、今後とも中長期的な市場の拡大が期待される産業であり、カーボンニュートラル実現へ向けた新技術の適用や最新のデジタル技術の活用によるデジタルトランスフォーメーション (DX) の推進など、将来に向けて貴協会や我々関係者が、新しい知恵と勇気を持って努力することによって、必ず明るい未来を切り拓くことができると確信しております。

貴協会並びに関係者の方々の益々のご活躍と更なる飛躍を祈念し、創立 50 周年のお祝いのご挨拶とさせていただきます。



JADC 設立 50 周年に寄せて

三菱重工業株式会社
常務執行役員 阿部 直彦

一般財団法人日本航空機開発協会(JADC)が設立 50 周年を迎えられたこと、誠におめでとうございます。

貴協会は昭和 48 年(1973)3月に前身である(財)民間輸送機開発協会として設立され、我が国初の国際共同開発プロジェクトとなる次期民間輸送機(YX/767)の開発において日本の機体メーカーのまとめ役を担われました。このプロジェクトで培われた知見や技術が、その後の次期中型輸送機(YXX)、次期小型民間輸送機(YSX)、超音速輸送機(SST)の開発調査や事業化検討へと続き、更には次期大型民間輸送機(777、787、777X)の開発事業へと繋がっていきました。航空機産業はその時々の経済状況や社会情勢の影響を大きく受ける上、開発自体に多額の資金や多大な労力を要する為、事業の玉成には大きな困難を伴います。貴協会には、日本の航空機産業のまとめ役並びに経済産業省との調整に加えボーイング社との交渉窓口として、長年にわたり多大なるご尽力を頂きました。心から感謝申し上げます。

過去 20 年を振り返りますと、787 と 777X の二つの大きな開発プロジェクトが始まり、様々な逆風の中でも航空機産業全体に大いなる期待が集まりました。2000 年代初め、2001 年のアメリカ同時多発テロの影響が収まっていく中で 787 の開発がスタートしました。Made with Japan というキャッチコピーの下、777 では 21%であった日本のワークシェアが 787 においては 35%と飛躍的に増大しました。日本の機体メーカー各社が担当した構造部位でも、従来のアルミ素材に代えて炭素繊維強化プラスチック(複合材)が採用され新技術へのチャレンジもありました。当社におきましても、主翼ボックスの製造を担当し、787 プロジェクトの成功に大きく貢献出来たことを大変光栄に思います。

2010 年代に入りますとボーイング社は 2013 年のドバイ航空ショーにおいて 777X の正式ローンチと同時に 259 機という過去最高の受注獲得を発表しました。当社は 777 にて担当した後部胴体製造と同様の部位を担当し、2017 年より生産を開始しました。新型機 777X の胴体パネル自動組立ライン「M-PAL (Multi panel - Pulse Assembly Line)」を開発し、自動穴あけ機、ファスニング機及びロボット生産にて高効率製造ラインを確立しました。これらを活用し引き続き本プログラムに寄与していく所存です。

この二つのプロジェクトにおいても、貴協会は、787 では 2011 年の型式証明取得まで、また 777X では開発が始まった 2013 年より今日に至るまで、一貫して重要な役割を担ってこられました。改めてそのご尽力に心から敬意を表します。

昨今の新型コロナウイルスが及ぼした航空業界への影響は甚大ですが、世界の民間航空機市場の長期需要予測をみれば、旅客需要・貨物需要ともに伸長する見込みです。また、航空機産業は、高度な技術力を持ち合わせた、他産業への技術波及効果の高い成長産業であると言われていています。CO2 排出量削減に向けた技術開発競争や機体の低価格競争が激化する中、生き残りを賭けて、更なる技術革新のための開発を我が国の航空機産業全体で推進していく必要があります。

787、777X に次ぐ新たな大型プログラムの立ち上がりには、確固たる航空機需要の回復及びデジタルツールを活用した開発が必要とされており、今少し時間を要するかもしれません。日本の航空機産業が確実に発展、成長していく上で、今後も引き続き貴協会および関係省庁の更なるご支援をお願いするとともに、関係者の方々の益々のご活躍をお祈りし、貴協会設立 50 周年のお祝いの挨拶とさせていただきます。



JADC 設立 50 周年に寄せて

川崎重工業株式会社

専務執行役員 下川 広佳

この度、貴協会が創立 50 周年を迎えられたことについて、心よりお慶び申し上げます。

1973 年に、財団法人 民間輸送機開発協会(CTDC)として設立されて以来、YX/767・777・787 開発事業を着実に完遂し、量産事業へと繋げ、当社を含む日本の航空機産業の中核事業にまで成長させることができたのは、貴協会並びに関係者各位の並々ならぬ努力の賜物に他ならず、心から敬意を表したいと思えます。現在、777X の開発が正に進行中ですが、これも遠からず開発が完了し、1700 機以上製造した 777 と同様に、近い将来、世界各地の空で飛びまわる姿を目にすることが出来ることを心待ちにしております。

これら一連の国際開発事業の流れは、50 年前の YX/767 開発事業が成功裏に事業化できたからこそ生まれた流れであり、日本の参画比率も 767・777・787 と参画を重ねるたびに拡大し、また最新のプログラムである 777X も着実に受注することが出来ました。民間航空機の開発は大きなリスクを伴う事業であり、さらに昨今の認証手続きの複雑化により、777X の開発作業は当初計画より大幅に時間を要しておりますが、一方でこれが成功裏に完遂できた暁には、その後 20 年、30 年に亘り、利益を生み出す事業になるものと確信しています。

民間航空機の開発・量産事業に携わるうえで、市場や OEM の動向を見極めることは極めて大事です。貴協会が設立当初より継続して実施されている民間航空機市場に関する調査研究においては、世界中のエアラインへのヒアリングも実施したうえで需要予測を纏められたり、受注・納入状況をはじめとする OEM 各社の動向を丹念に調査されています。そうした成果は、欧米の OEM による需要予測に引けを取らぬほど、世界中のエアラインから高い評価を得ており、また、当社を含む国内の機体メーカー各社にとっても貴重なデータとなっております。

次期民間航空機開発事業においても、これらのデータや、各社に蓄積された経験、さらには培ったノウハウ・技術を結集し、これを日本の総合力として取り組んでいく必要があると考えております。特に、新型コロナウイルスによる民間航空機事業の低迷が経営に多大な影響を及ぼしている状況下、次の事業に向けた取り組みを絶え間なく進めていくためには、日本の航空産業の英知と資産を結集する必要があり、業界の牽引役としての貴協会の存在は、一層重要度を増すものと考えております。

さらに、次世代の民間航空機事業を考えた場合、デジタル技術を活用する取り組みや、持続可能な成長を実現するための脱炭素化への取り組みが不可欠となります。こうした取り組みにおいても、政府の支援も得つつ、貴協会が中心的・主導的な立場で国内航空機メーカーを牽引していただくことが、我々の未来を切り開いていくことになるかと信じております。

貴協会の 50 年間の歴史は、日本における民間航空機産業の歴史そのものであると言っても過言ではありません。歴代の役員・職員の皆様方のご尽力に深く敬意を表するとともに、貴協会並びに国内業界各社の今後のますますのご活躍・ご発展を祈念いたしまして、お祝いの言葉とさせていただきます。



JADC 設立 50 周年に寄せて

株式会社 S U B A R U

常務執行役員 戸塚 正一郎

このたび、一般財団法人日本航空機開発協会が設立 50 周年を迎えられましたことを、心からお祝い申し上げます。

貴協会は、YS-11 に続く民間航空機を、我が国の技術を結集して事業化しようとの思いから設立され、通商産業省（現経済産業省）など各機関のご指導のもと、米国ボーイング社との協業体制を構築しながら、YX/767・777・787、そして現在進行中の 777X と、多くの開発事業を成功に導き、航空機産業を我が国の重要産業として発展させてきたその功績には、多大なものがあります。

航空機事業は、数十年に亘る長期スパンでの事業構想に基づき、世代を超えた想いを長く関係者が共有しながら、粘り強く投資、開発、量産事業を続けていくことで初めて、他の追随を許さない、大きな実を結ぶものと信じております。私自身も、昭和 61 年からエンジニアとして、YXX/7J7 プログラムでボーイング社との国際共同開発に参画する機会を得、若輩者ながらその歴史の一翼を担わせて頂いた思い出があります。当時ボーイング社には、707 や 747 などを開発した一流のベテラン技術者が沢山おり、素晴らしい環境で武者修行をさせていただくとともに、日本航空機製造株式会社から JADC に移籍され、熱い想いで連日頑張っておられた大先輩方から、言葉では言い尽くせないほどの薫陶を頂いたことは、私の人生の宝物であり、この場をお借りして心から感謝申し上げます。

残念ながら、YXX/7J7 は事業化には至りませんでした。得られた複合材技術や 3D 設計、先進構造/空力技術など、多くの研究成果と育った人材は、その後の 777 事業の成功に大きく寄与しました。当社は中央翼を含む中胴下部構造のインテグレーションを担当させていただきましたが、これもひとえに 貴協会のご指導の賜物と感謝しております。777 は「WORKING TOGETHER」の合言葉とともにベストセラー機となり、生産 30 周年を迎える今でも量産事業を継続していることを想うと、胸に込み上げてくるものがあります。777 後継機種として開発中の 777X も、順調に受注を伸ばしており、航空機産業の更なる成長を促進すべく、早期の量産事業本格化を心待ちにしております。

さらに 787 開発においては、全複合材製の技術革新機として、幾多の技術的課題に遭遇しながらも、翼々結合部を含む中央翼、まさに航空機の心臓部の開発を、当社の責任において完遂できましたのも、長年に亘る協業関係に基づく、ボーイング社との信頼関係と、貴協会のご支援の賜物と感謝しており、月産 14 機という当初の想定を超えた量産事業にまで発展したことは、記憶に新しいものがあります。

今まさに世界は大転換を遂げようとしております。コロナ禍により航空機産業は未だ厳しい環境下にあります。長期的視野に立ち、次なる新規事業に本格着手する日に備えて、次世代の技術者を育成しつつ、技術に磨きをかけて着実に準備することが肝要と心得ます。そのためにも、関係各省庁、各機関のご指導を賜りつつ、我が国の航空機産業の発展に貢献すべく、貴協会のもと業界が一致団結できるよう、引き続きリーダーシップを発揮頂きたく存じます。

関係各位のこれまでのご尽力に感謝と敬意を表するとともに、貴協会ならびに関係各位、各社様の益々のご発展をお祈りし、設立 50 周年のお祝いの挨拶とさせていただきます。



JADC 設立 50 周年に寄せて

一般財団法人日本航空機開発協会

代表理事 副理事長 大道 正夫

一般財団法人日本航空機開発協会（JADC）は、このたび設立 50 周年を迎えることができました。これは偏に永年にわたる関係の皆様のご支援の賜物であり、心より感謝申し上げます。

当協会は、YS-11 に続く民間航空機 YX の開発を進めることを目的として、50 年前に設立されました。その後、ボーイング 767、777、787、そして直近では 777X の開発に参画してまいりましたが、その結果、我が国航空機産業の発展にいささかなりとも寄与できたとすれば、誠に幸いです。

個人的なことになりますが、私は、昭和 50 年代中頃に輸出金融関係業務に従事しており、その関係で、財団法人民間輸送機開発協会という名称だった頃の当協会関係者の方々と交流する機会がありました。その際、次世代の航空機開発を自分たちの手で成し遂げようという熱量に圧倒されたという鮮明な記憶があります。大変懐かしい思い出です。

その時代と比べると、世界の航空機産業の産業構造も、航空機に求められる性能や技術も、大きく変化してきております。こうした変化に対応するため、当協会としても、地球環境問題や最先端の技術動向などを視野に入れ、デジタルトランスフォーメーション（DX）、グリーントランスフォーメーション（GX）、石油代替燃料（SAF）、SDG s、カーボンニュートラルなど様々な技術分野にアンテナを張りつつ、航空機産業が直面する課題の解決に寄与するために活動しております。

特にカーボンニュートラル実現に関しては、我が国全体として、経済・社会・産業構造の変革を進めるべく GX の実行推進に関する議論が活発になっております。航空機産業においても、電動化、水素航空機の実現等、革新的な技術の確立・社会実装に向けた取り組みが進められています。当協会は、航空機開発に関する調査研究を行う専門組織として、航空機分野におけるカーボンニュートラル実現に向けた技術開発を促進し、日本の航空機産業の更なる発展に貢献したいと考えております。

当協会は、次の 10 年、20 年、30 年、あるいはその先を見据え、今後とも精力的に活動してまいり所存ですので、関係の皆様の一層のご支援ご協力をお願い申し上げます。

資 料

年表（2003（平成15）年以降20年間を記載）	87
役員在任期間一覧	90
事業費と人員の変遷	91
50周年レセプション	92

資料

年表（2003（平成 15）年以降 20 年間の記載）

暦年	JADC 関連事項及び社会情勢
2003 年 (平成 15 年)	<ul style="list-style-type: none">・東海道新幹線の東京駅 - 新横浜駅間に品川駅が開業（10 月 1 日）・第二次小泉内閣発足（11 月 19 日）
2004 年 (平成 16 年)	<ul style="list-style-type: none">・営団地下鉄が民営化（東京メトロ）（4 月 1 日）・新潟県中越地震発生（10 月 23 日）・日本銀行券改刷 一万円は札福澤諭吉、五千円札は樋口一葉、千円札は野口英世（11 月 1 日）
2005 年 (平成 17 年)	<ul style="list-style-type: none">・中部国際空港開港（2 月 17 日）・福岡県西方沖地震発生、福岡県・佐賀県で震度 6 弱（3 月 20 日）・JR 福知山線脱線事故（4 月 25 日）・郵政民営化法案が参議院本会議で否決、小泉純一郎首相衆議院解散（8 月 8 日）・郵政民営化関連法案が可決、成立（10 月 14 日）
2006 年 (平成 18 年)	<ul style="list-style-type: none">・一般社団法人及び一般財団法人に関する法律、公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律、一般社団法人及び一般財団法人に関する法律及び公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律の公布（6 月 2 日）・文仁親王妃紀子が皇室に 41 年ぶりの男子、悠仁親王を出産（9 月 6 日）・小泉純一郎が自民党総裁の任期を全うし総理退任、後任安倍晋三（9 月 26 日）・国産旅客機 YS-11 が国内定期路線より引退（9 月 30 日）
2007 年 (平成 19 年)	<ul style="list-style-type: none">・安倍晋三首相辞任、福田康夫内閣発足（9 月 12 日）・京都大学山中伸弥教授が iPS 細胞作成の成功を発表（11 月 21 日）
2008 年 (平成 20 年)	<ul style="list-style-type: none">・一般社団法人及び一般財団法人に関する法律、公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律、一般社団法人及び一般財団法人に関する法律及び公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律の施行（12 月 1 日）・福田康夫首相辞任、麻生太郎内閣発足（9 月 24 日）・ボストン大学下村脩名誉教授が緑色蛍光タンパク質 GFP の発見と開発の功績により、ノーベル化学賞受賞（10 月 8 日）
2009 年 (平成 21 年)	<ul style="list-style-type: none">・裁判員制度開始（5 月 21 日）・麻生太郎内閣総辞職。民主・社民・国民の 3 党による鳩山由紀夫内閣成立。15 年ぶりの非自民政権誕生（9 月 16 日）
2010 年 (平成 22 年)	<ul style="list-style-type: none">・鳩山由紀夫に代わり菅直人が内閣総理大臣に就任、菅内閣発足（6 月 8 日）・4 月-6 月期の実質 GDP ドルベースで日本は中国に抜かれ世界 3 位（8 月 16 日）・羽田空港沖合の新滑走路 (2,500m) と新国際ターミナル使用開始（10 月 21 日）

資料

年表（2003（平成 15）年以降 20 年間に記載）

暦年	JADC 関連事項及び社会情勢
2011 年 (平成 23 年)	<ul style="list-style-type: none">・東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）発生（3 月 11 日）・日本の地上アナログテレビ放送が停波し地デジへ完全移行（7 月 24 日） （被災 3 県では 2012 年 3 月 31 日に延期）・野田佳彦が内閣総理大臣に就任し、野田内閣発足（9 月 2 日）
2012 年 (平成 24 年)	<ul style="list-style-type: none">・自立式鉄塔として世界一となる高さ 634m の東京スカイツリー竣工（2 月 29 日） （オープンは 5 月 22 日）。・経済産業省より財団法人日本航空機開発協会の最初の評議員の選任方法を認可（4 月 13 日）・京都大学山中伸弥教授が日本人として 25 年ぶり史上 2 人目となるノーベル生理学・医学賞を受賞（10 月 8 日）・第 46 回衆議院議員総選挙。野党第一党の自由民主党が単独で絶対安定多数を確保する大勝で 3 年 3 ヶ月ぶりに政権を奪還（12 月 16 日）・安倍晋三が内閣総理大臣に再就任し、第 2 次安倍内閣発足（12 月 26 日）
2013 年 (平成 25 年)	<ul style="list-style-type: none">・777X 開発検討にあたり GE をエンジン・パートナーに選定（3 月 15 日）・内閣総理大臣より一般財団法人として認可（3 月 21 日）・富士山が世界文化遺産に登録（6 月 22 日）・ドバイ・エアショーにて 777X プログラム・ローンチを発表（11 月 17 日）・777X Wind Tunnel Test 開始を発表（12 月 9 日）
2014 年 (平成 26 年)	<ul style="list-style-type: none">・777X 高速風洞試験を開始（1 月 15 日）・Boeing Everett に 777X Composite Wing Center を設置（2 月 18 日）・Boeing/JADC/JAI で 777X 開発・量産事業に参画するための主要契約条件に関する覚書調印（日本側は主要構造部位の 21%）（6 月 12 日）・Boeing セントルイス工場で 777X 部品供給を発表（10 月 6 日）・Boeing/東レ 777X 主翼用複合材供給契約を締結（11 月 16 日）
2015 年 (平成 27 年)	<ul style="list-style-type: none">・Boeing がナブテスコを 777X の日本初システム・パートナーに選定（3 月 10 日）・Boeing/JADC/JAI で 777X 開発・製造に関する契約を正式調印（7 月 23 日）・777X Firm Configuration 決定完了（8 月 27 日）
2016 年 (平成 28 年)	<ul style="list-style-type: none">・税や社会保障に関連した共通番号制度（マイナンバー）運用開始（1 月 1 日）・SUBARU 半田工場、777X 新工場竣工式（4 月 27 日）・Boeing Everett の 777X Composite Wing Center グランド・オープン（5 月 20 日）

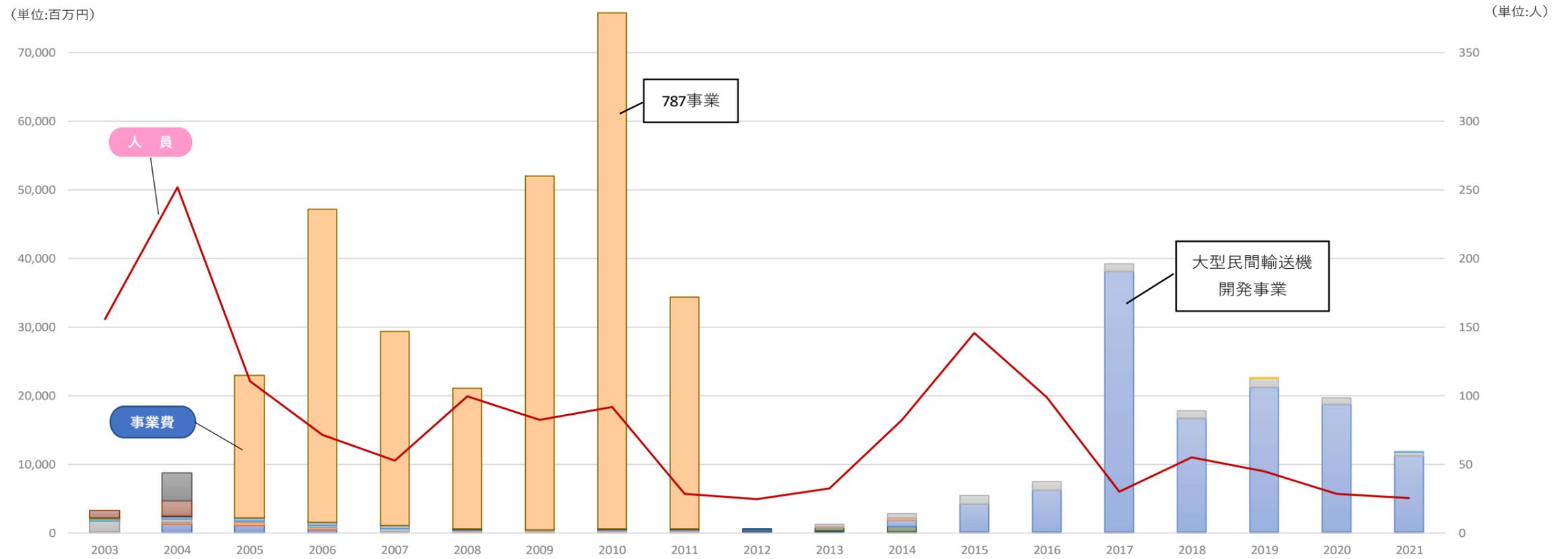
資料

年表（2003（平成 15）年以降 20 年間の記載）

暦年	JADC 関連事項及び社会情勢
2017 年 (平成 29 年)	<ul style="list-style-type: none">・川崎重工業、777X 新工場の竣工式（2 月 13 日）・天皇の退位等に関する皇室典範特例法が可決成立（6 月 9 日）
2018 年 (平成 30 年)	<ul style="list-style-type: none">・新明和工業宝塚分工場にて工場にて 777X 打鋸式（2 月 2 日）・日本飛行機横浜工場にて 777X 出荷式（2 月 5 日）・川崎重工業名古屋第一工場にて 777X 納入式（2 月 6 日）・三菱重工業広島工場にて 777X（中央翼）出荷記念式（2 月 7 日）・SUBARU 半田工場にて 777X 出荷式（2 月 9 日）・新明和工業宝塚分工場にて 777X 出荷式（4 月 4 日）・SUBARU 半田工場にて 777X（Fairing Structure）初号機出荷式（4 月 10 日）・777X テスト機の "final body join" 実施（11 月 20 日）・ドバイ・エアショーにて BBJ 777X のローンチ発表（12 月 10 日）
2019 年 (平成 31 年/令和元年)	<ul style="list-style-type: none">・明治以降初となる天皇の譲位により平成（1989 年 - 2019 年）から令和へ改元（5 月 1 日）・消費税が 8%から 10%に増税（10 月 1 日）・Stanley A. Deal SVP を民間航空機部門 president and CEO に任命(10 月 22 日)
2020 年 (令和 2 年)	<ul style="list-style-type: none">・David L. Calhoun 会長が Boeing CEO and President に就任（1 月 13 日）・777X 初飛行に成功（1 月 25 日）・新型コロナウイルス感染拡大を受け、改正新型インフルエンザ等対策特別措置法に基づく初の緊急事態宣言発令（4 月 7 日）・経済産業省は関係省庁と連携し、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定（12 月 25 日）
2021 年 (令和 3 年)	<ul style="list-style-type: none">・史上初の延期が決定された第 32 回夏季オリンピック（東京オリンピック）及び第 16 回夏季パラリンピック（東京パラリンピック）が開催（7 月 23 日）・菅義偉内閣が総辞職。内閣総理大臣指名選挙を実施。自民党総裁岸田文雄が第 100 代内閣総理大臣に選ばれ、岸田内閣発足（10 月 4 日）
2022 年 (令和 4 年)	<ul style="list-style-type: none">・ロシアのウクライナ侵攻（2 月 24 日）・777X 初号機引き渡し開始を 2025 年と発表（4 月 28 日）

資料

事業費と人員の変遷



年度別事業費実績

	2003 (H15)	2004 (H16)	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (R1)	2020 (R2)	2021 (R3)
YXX事業		1,256	1,196	518															
民間輸送機事業	274	335	349	360	283	236	227	179	207										
超高速事業 (HSTP)	1,450	427	239	264	334	288	298	282	298	273	184								
環境小型機事業 (EASA)	30	35	38	40	41	6													
先進システム事業 (ASYS)	349	389	391	397	427	28													
革新軽量事業 (ISTR)	86																		
市場調査事業 (CAMKT)	74	71	72	68	75	73	70	143	138	268	120	167	146	141	154	148	194	173	136
7E7準備事業	1,045	2,234																	
7E7事業		4,047																	
787事業			20,782	45,528	28,227	20,540	51,434	75,244	33,758										
防衛省機民間転用開発調査受託事業										82	2								
大型民間輸送機関連技術開発事業 (LCTRD)											597	807							
大型民間輸送機開発事業 (777X)												989	4,183	6,089	38,006	16,651	21,099	18,583	11,153
次期大型民間輸送機開発準備事業											84	215							
中小型民間輸送機関連技術開発事業 (AATRD)											371	724	1,125	1,288	1,133	1,133	1,320	992	477
国際標準調査事業																	19		
航空機国際共同開発促進基金産業調査																			14

常勤役員・職員数 (年度末)

	2003 (H15)	2004 (H16)	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (R1)	2020 (R2)	2021 (R3)	
役員 (常勤)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3
職員	27	31	32	33	32	29	26	25	20	16	23	22	21	24	20	19	20	19	18	
シアトル駐在員	124	216	74	34	16	66	52	62	4	4	5	56	120	70	5	31	20	5	5	
合計	156	252	111	72	53	100	83	92	29	25	33	83	146	99	30	55	45	29	26	

50周年レセプション

- ・日時：2023年5月23日 17:00～ (Local Time)
- ・場所：在シアトル日本国総領事館公邸

主賓並びに主催者集合写真



Stanley A. Deal 社長からの記念品贈呈



写真提供

Boeing 社
三菱重工業株式会社
川崎重工業株式会社
株式会社 S U B A R U
新明和工業株式会社
日本飛行機株式会社

協会 OB 協力者（敬称略）

齋藤 雅樹（元市場調査 G 主管）
田川 孝二（元大型民間輸送機 GL）
馬場 紘廣（元市場調査 GL）
水野 鉄治（元 777X GL）

50 周年記念行事推進委員会

大道 正夫（副理事長）
小林 修（専務理事）

50 周年記念行事推進責任者

小林 修（専務理事）

50 周年記念行事推進副責任者

寺境 弘之（総務部長）
一丸 清貴（顧問）

50 周年記念誌編集長

一丸 清貴（顧問）

編集員

原田 淳（企画調査部長）
城福 隆司（技術開発部長）

編集事務局

西山 貴久（総務部主査）
小野寺 顕雄（総務部主事）
重村 紀美子（総務部主任）

50 年のあゆみ

作成年月 令和 5（2023）年 3 月
製作 一般財団法人日本航空機開発協会
東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
日比谷国際ビル 7 階
Tel No. 0 3 - 3 5 0 3 - 3 2 2 5