

本邦航空機産業の過去・現在・未来

～航空機産業の最前線と当行の取り組み～

2016年7月



企業金融第1部・産業調査部



第 I 章 航空機産業の概観と特徴

1. 日本の航空機市場の概観と特徴	p.9
2. 日本の航空機市場の成長性	p.13
3. 設備投資動向及び経済波及効果	p.14
4. サプライチェーン	p.17
5. 主要な航空機/エンジン製造会社ランキング	p.19
6. ビジネスモデル	p.20
7. 認証制度	p.24
8. MROビジネス	p.25
9. 海外企業と国内企業の相違	p.26
10. 機体	p.29
11. エンジン	p.34

第 II 章 産業クラスター概念と航空機産業発展にとっての意義

1. 産業クラスターとは	p.42
2. 産業クラスターと産業集積の違い	p.43
3. 産業クラスターの発展段階	p.47
4. 産業クラスターの効果	p.49
5. 事例紹介	p.51

第 III 章 本邦航空機産業の歩み

1. 黎明期(戦後)	p.57
2. 発展期	p.60

第 IV 章 重工メーカーの動向

1. 三菱重工業	p.70
2. 川崎重工業	p.80
3. IHI	p.85

第 V 章 裾野・周辺企業の動向

1. 工作機械	p.89
2. 素材・加工	p.98
3. 部品	p.100

第 VI 章 次世代の航空機産業育成に向けて

1. 航空機産業の将来的な発展の方向性	p.102
2. 次世代航空機の姿	p.105
3. 航空機産業の次へ	p.108

Appendix

1. 掲載企業等の略称及び正式名称.....p.114
2. 参考資料.....p.116

はじめに

第二次世界大戦時には、ゼロ戦を筆頭に、日本の航空技術は世界のトップ水準にあった。しかし、その高度な技術力は対戦国にとっては脅威であり、敗戦後、その技術は戦勝国によって完全に破壊される。終戦から約3カ月後、GHQは、航空機の生産、研究、実験など全ての活動を禁止。日本の航空産業は“空白の7年間”に突入する。

それから約60年。2015年11月11日、晴れた秋空の下、凡そ50年ぶりとなる我が国の国産旅客機が、県営名古屋空港の滑走路から初めて空に飛び立った。今や日本の重工メーカーは、欧米メーカーが主導するエンジン・機体開発等の20%以上を任せられる存在となった。そこに至るまでの過程には、航空機産業に携わる方々の数え切れない挑戦があった。

我が国の航空機産業の発展においては、重工メーカーが大きな役割を果たすだけでなく、協力メーカー、素材メーカー、工作機械メーカー等の存在も欠かすことができない。これら、数多くの企業の技が組み合わせ、巨大な裾野を持つ「航空機産業」という一つの産業を形成してきた。近年では、産業規模の拡大とともに参入企業も増加。自動車加工で培った技術・ノウハウを活かして新たに参入するなど、産業の裾野は広がりを見せている。また、技術力を高めた中小企業が、その高い実力を評価され、海外のエンジンメーカーと直接取引を行う事例も見られるようになった。

1951年、戦後の日本の経済再建等を目的に設立された日本開発銀行（現日本政策投資銀行）は、かつての日本の航空産業の地位を取り戻すことに貢献すべく、様々な取り組みを行ってきた。1986年には、航空機工業振興法が改正され、当行は同法に基づく当時唯一の指定金融機関となる。1987年には、我が国初のエンジン国際共同開発プロジェクトであるV2500エンジン開発に向け長期融資を実行するなど、30年近くにわたり航空機産業を支援してきた。

世界のジェット旅客機の運航機は、2012年の約18,500機から、2032年にはその2倍近くである約34,300機まで増加すると見込まれている¹。今後、本邦航空関連企業が、その急速な成長機会を捉まえるためには、重工メーカーはもちろんのこと、部品加工、金属加工/熱処理、非金属、工作機械等々、サプライチェーン全体の国際的な競争力強化が不可欠である。当行は、30年近くにわたり蓄積したノウハウを活用し、航空機産業におけるサプライチェーン全体に対する取り組みを一層強化することで、競争力強化に貢献して参りたいと考えている。

本稿では、航空関連事業に新たに進出を検討する際、また、既存航空機事業の更なる拡大を企図する際等に、航空機産業の全体像把握に活用して頂けるよう、当行に蓄積された知見を整理した。具体的には、最新の航空機関連動向に加え、現在の航空機産業がここまで発展した過程につき、当行が約30年にわたり行ってきた取り組みに触れながら紹介している。更に、最新の業界動向に具体的に迫るべく、足許の重工メーカー及び裾野・周辺企業の取り組みについても触れている。そして、本稿を締めくくりにあたり、今後の本邦航空機産業が発展する可能性について、航空機だけに留まらず宇宙等の分野にも視野を広げ探っている。この紙面で取り上げられる内容には限りがあるものの、本邦航空機産業の更なる発展のため、ともに取り組ませて頂くための一つのきっかけとして、本稿が役立てば幸いである。

¹ 出典：（一財）日本航空機開発協会発表値

尚、各種統計、資料を統合して作成したものの、航空機産業全体について把握するには情報の制約があり、専門家から見れば事実と異なる等ご指摘があるかと思われる。ご指摘を踏まえながら、今後も航空機産業全体をより正しく把握し、産業発展の一助となるよう、努力して参りたい。

2016年7月

株式会社日本政策投資銀行 企業金融第1部・産業調査部 / 株式会社日本経済研究所

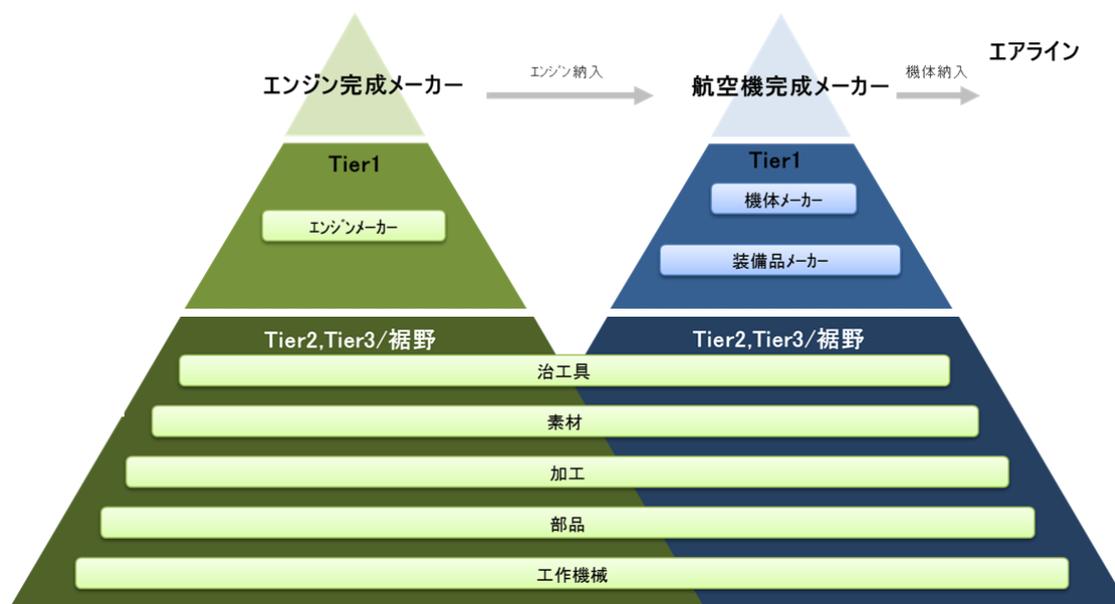
要旨

第 I 章 航空機産業の概観と特徴

国内航空機産業は約 1 兆 6,000 億円規模であり、約 1 兆 2,000 億円が民間航空機産業である²。これは、米国の約 8%、国内機械工業の中でも 2%程度と相対的に小さいが、世界の民間航空機市場は、新興国の需要増等を受け、運行数ベースで 2012 年の約 18,500 機から、2032 年には約 34,300 機まで増加することが予想されており³、今後の拡大余地の極めて大きい産業である。

国内における航空機関連向け投資(2015 年度)は 1,666 億円と推計され⁴、2 年連続で 2 桁の伸びとなっている。航空機産業の経済波及効果は、裾野産業が自動車等に比べ発達途上であるため相対的に低いものの、技術波及効果は自動車の約 3 倍であるとも言われている⁵。

航空機産業のサプライチェーンは限られた完成メーカーを頂点として、ユニットサプライヤーの重エメーカー一等を Tier1、Tier1 への供給を担う Tier2 等からなるピラミッド型構造をしている。



航空機産業では、機体やエンジンの開発において巨額の初期投資(研究開発費)が必要であることから、販売後のメンテナンスビジネスを含め、長期間で回収するビジネスモデルがとられる。このことから、リスクが高いビジネスとされており、航空機機体メーカーやエンジンメーカーはリスクをサプライヤーに分担させるよう、契約を工夫している。

また、高度な安全性が求められるため、設計認証や製造認証については連邦航空局(FAA)を中心に厳しい認証があると同時に、プライムメーカー各社によるサプライヤーに対しての認証試験が各種存在

2 出典：(一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015 年 7 月)

3 出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機に関する市場予測(2013-2032)」

4 出典：当行「2015 年 6 月設備投資計画調査」

5 出典：(一社)日本航空宇宙工業会「2000 年度 産業連関表を利用した航空機関連技術の波及効果定量化に関する調査」

する。

機体は、中～大型機では、ボーイング及びエアバスが完成機メーカーとして市場を独占しており、日本においては、三菱重工業(MHI)、富士重工業(FHI)、川崎重工業(KHI)等の重工業メーカー各社が完成機メーカーから機体の一部の製造を請け負っている。機体開発における日本メーカーの参画範囲は年々拡大しており、最新機材である B787 では、ボーイングと同じ 35%の割合を担当している。F-2 支援戦闘機での複合材主翼開発に加え、東レをはじめとする国内炭素繊維複合材メーカーの素材技術の発展に伴い、日本のポジションを高めた象徴的プログラムと言える。また、近年では MHI 傘下の三菱航空機が、日本企業として初となるジェット旅客機 MRJ の開発・製造に取り組んでおり、2015 年 11 月に初飛行に成功している。

中～大型機用エンジンの完成市場は、ゼネラル・エレクトリック、プラット・アンド・ホイットニー(アイ・イー・イー)、ロールス・ロイスが独占しており、MHI、KHI、IHI 等がこれらの企業との共同開発を行っている。例えば、B787 用エンジンである GEnx-1B エンジンでは、IHI を中心として日本メーカーが 15%のプログラムシェアを確保するなど、高い技術力を背景に国内重工業メーカーのプレゼンスは高まっている。

第 II 章 産業クラスター概念と航空機産業発展についての意義

MHI をはじめとする一部の重工業メーカーでは、協力企業群等が地理的に集積し、産業クラスター化することにより、効率的な生産体制を整備する取り組みが行われており、政府・自治体等がその支援体制を整備している事例もある。

産業クラスターとは①ある特定の分野に属し、相互に関連する企業と機関が地理的に近接した集団で、②クラスターに属する組織が競争しつつ協調しており、③連携のシナジー効果が発揮されている状態のことを指す。

産業クラスターの主な効果は、①生産性の向上と②イノベーションの誘発である。産業クラスターでは、専門性の高い資源投入、情報アクセス、補完性、各種機関や公共財へのアクセス等により、生産性が向上するほか、新しい顧客ニーズの把握や新製品等の実験が容易になり、競争による刺激等からイノベーションが誘発される。このような利点から、一部の重工業メーカーは産業クラスターの構築に取り組んでいる。

第Ⅲ章 本邦航空機産業の歩み

第二次世界大戦時に世界のトップ集団の一角であった日本の航空機産業は、敗戦に伴う7年間の航空機製造の禁止によって、欧米諸国に大きな後れを取った。禁止期間終了後、防衛庁(当時)発注機のライセンス生産等で少しずつ技術・ノウハウを蓄積してきた。また、戦後初の国産民間旅客機となるYS-11の開発・生産も行われたが、経営的には失敗に終わった。

エンジン分野では、初の国際共同開発プロジェクトであるV2500エンジンの開発が1984年に開始された。当行はその開発の中核体である日本航空機エンジン協会(JAEC)への支援を行ったほか、以来同協会がエンジン開発プログラムへ参加する際の資金を長期融資し、本邦航空機産業の発展に貢献してきた。

他方、機体分野では、YS-11以降、本邦勢は主にボーイングの機体開発の一部に参画する形で知見を蓄積。B767の開発において国際共同開発が行われたほか、1986年に共同開発が決定したYXX/B7J7以降は、日本航空機開発協会(JADC)が主体となり当行を活用しつつ開発が進められた。

第Ⅳ章 重工メーカーの動向

MHIは、U-2、MU-300といった機体開発プログラムと主にボーイングの国際共同開発プログラムへの参画を通じて成長してきた。YS-11以来の国産民間旅客機開発事業であるMRJ事業を推進すべく、2008年に三菱航空機を設立。2015年11月にはMRJの初飛行に成功している。また、MRJの生産が開始されたこと等で更に生産能力等の拡大が必要となるため、MHIの子会社である三菱重工航空エンジンは、タービンブレードクラスターを活用している他、燃焼器・燃焼器ケースクラスターの活用を検討している。

KHIは、機体及びエンジンそれぞれの開発に参画している。また、足許では海外への外注品の国内生産化を進めており、そのために協力メーカーと連携した産業クラスター形成の取り組みを進めている。

IHIは、航空機産業においては早くからエンジン開発に特化しており、アイ・イー・イー、ゼネラル・エレクトリック製エンジン等を中心に、開発プログラムに参加している。IHIは、品質・生産性向上のため、炭素繊維複合材やセラミック基複合材の開発・量産等において、有力企業との連携体制を構築している。

第V章 裾野・周辺企業の動向

航空機市場自体の成長に加え、開発・生産担当範囲の拡大等により生産能力の拡大に迫られた重工メーカーが、その対応のために他企業に部品生産や加工の一部を委託する事例もみられる。また、機体・エンジンメーカーから要求される技術水準を含めた製造能力の高まりを受け、それに対応するための工作機械等・加工設備等に対する要求も一段と高まっている。

当行が支援する三井精機、不二越などでは、極めて高精度な加工が要求される航空機関連部品の製造に必要な工作機械を製造している。また、当行が設立を支援した日本エアフォージは、国内初の5万トン級の最新鋭大型鍛造プレスを導入。これにより、重工メーカーが国内で材料から一貫生産を行うことを可能にした。

菊地歯車は、その技術力が評価され海外エンジンメーカーとの直接取引が実現。当行は、その取引を行う新会社の設立支援を行っている。

第VI章 次世代の航空機産業育成に向けて

本邦航空機産業の更なる発展には様々な可能性がある。現状、航空機産業における国内自給率は低位に留まっており、その向上のため、装備品分野における統合・メガサプライヤー化や、サプライヤー間の連携による一貫生産体制等による競争力強化などが考えられる。また、IoTを活用した整備サービス、生産体制の効率化の余地もある。加えて、2014年4月に「防衛装備移転三原則」が閣議決定されたことに伴う防衛関連需要の拡大は、本邦航空機産業の基礎体力強化に寄与するであろう。

次世代航空機においては、更なる環境性能の向上、利便性の向上等が求められる。環境面では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)を中心に研究されている、NO_x排出を抑えたエコエンジンや、既に一部のエアラインで導入が進められているバイオジェット燃料の普及等の発展があり得よう。また、利便性の観点では、更なる速度向上のため、音速超過時の衝撃波を抑える技術の開発が期待される。

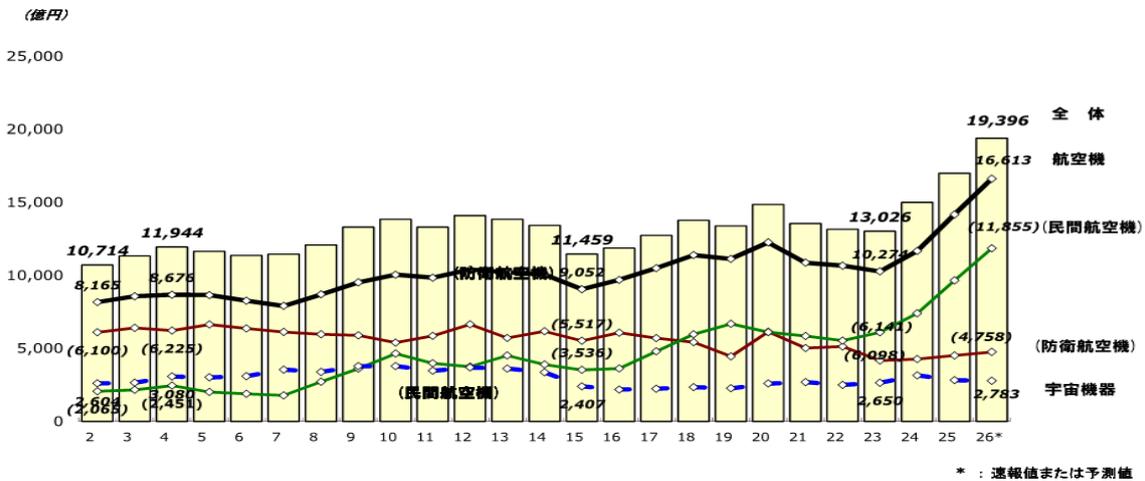
民間ジェット機分野のみならず、人口増加による資源開発関連需要等の増加を受け成長が期待されるヘリコプターや、最後のフロンティアとして宇宙産業も、今後成長が見込まれる産業である。これら産業は、何れも研究開発期間が長く、長期的なビジョンに基づくアプローチが不可欠であり、当行はその発展のためにどのような貢献ができるかを積極的に検討して参りたい。

第 I 章 航空機産業の概観と特徴

1. 日本の航空機市場の概観

日本航空宇宙工業会によると、本邦における航空・宇宙産業の生産(売上)高は増加傾向にあり、2014 年度に約 1 兆 9,000 億円に達し、そのうち約 1 兆 6,000 億円が航空機である。民間航空機と防衛航空機の割合は約 7:3 であり、防衛航空機産業の拡大が望めない中、民間航空機分野の開拓が行われてきたことが伺える。

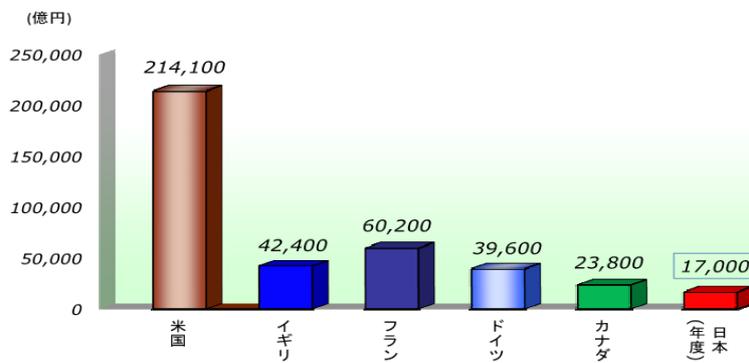
図表 I-1 航空・宇宙産業の生産(売上)高推移(年度)



(出典: (一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

日本の航空機産業は拡大基調にあるが、主要国における航空機産業と比較すると、米国が約 21 兆円と突出しており、イギリス、フランス、ドイツ等 EU 各国と比べても日本は未だ産業規模として小さいことがわかる。

図表 I-2 主要国の航空宇宙生産額(2013 年度)

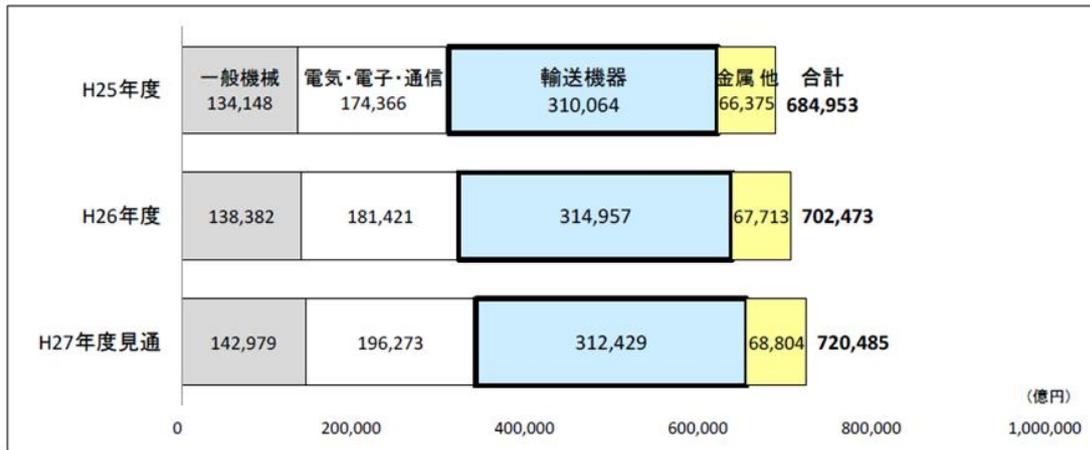


(出典: (一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

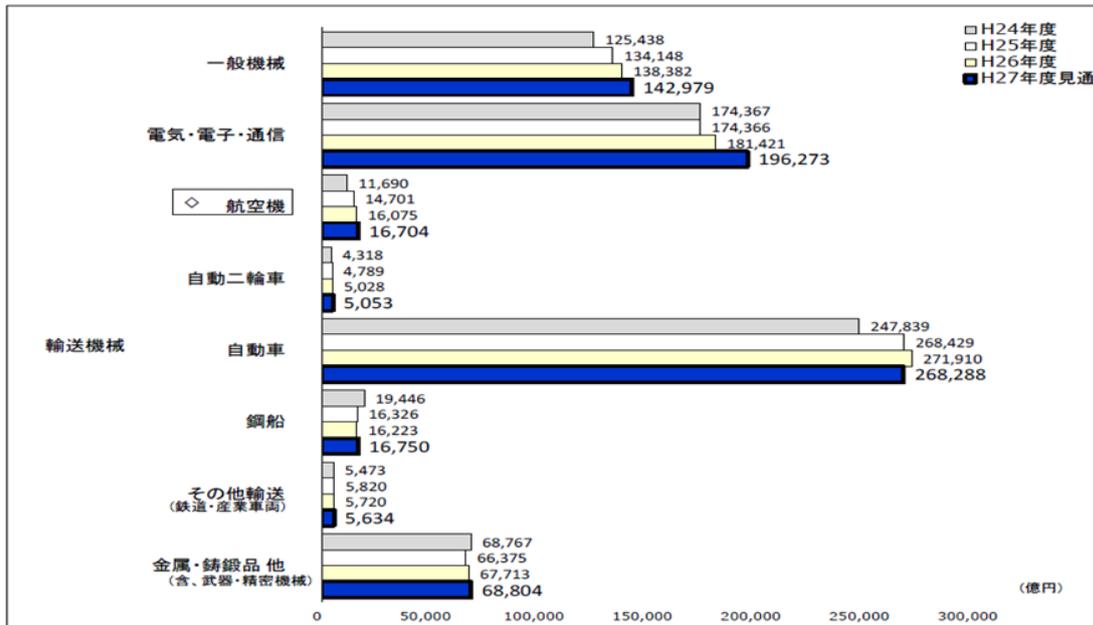
また、日本の機械工業生産額約 72 兆円に対して航空機産業は生産額 1.6 兆円程度であり、国内ものづくり産業の中でのプレゼンスは未だ低い。

図表 I-3 日本の主要機械工業生産額の推移

◇ 国内生産額の推移 (平成 25~27 年度)



◇ 機械工業／業種別生産額の推移 (平成 24~27 年度)

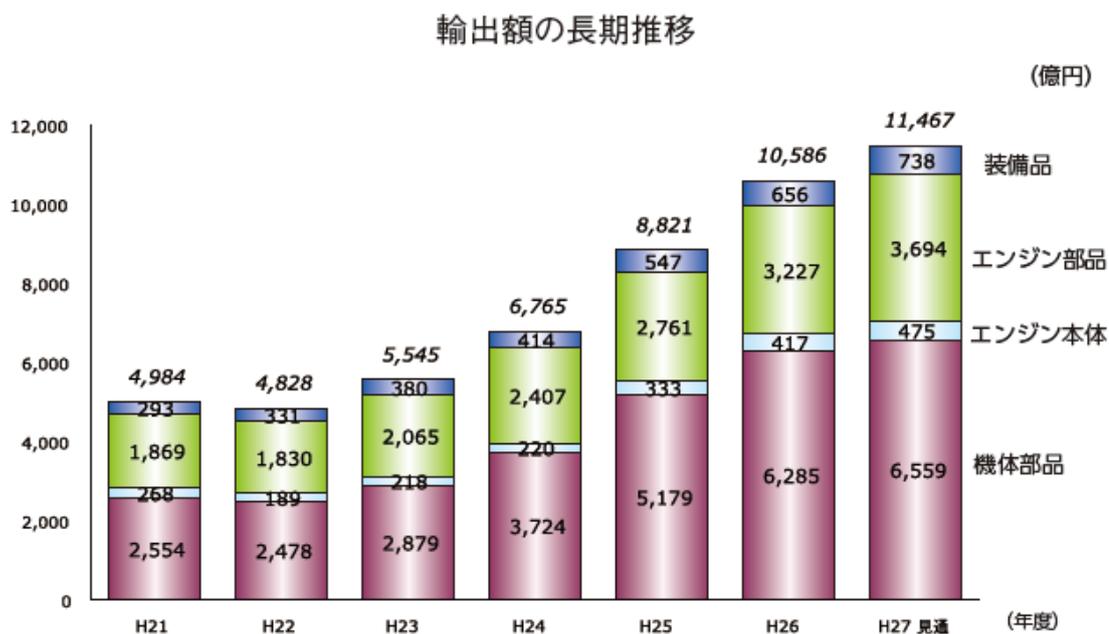


(出典：(一社)日本航空宇宙工業会「航空機の生産・輸出・受注額見通し」(2014年11月))

(原データ：日本機械工業会連合会)

少ないながらも国内から海外への航空機関連産業の輸出額は 2015 年度に 1 兆 1,500 億円程度となる見通しである。我が国では基本的に武器の輸出が禁止されてきたことから、軍需の機体・部品はなく、民間航空機向けの機体部品約 6,500 億円、エンジン本体/部品約 4,000 億円が中心である。なお、装備品は約 700 億円とその割合は極めて低い。

図表 I-6 航空機産業 輸出額の推移



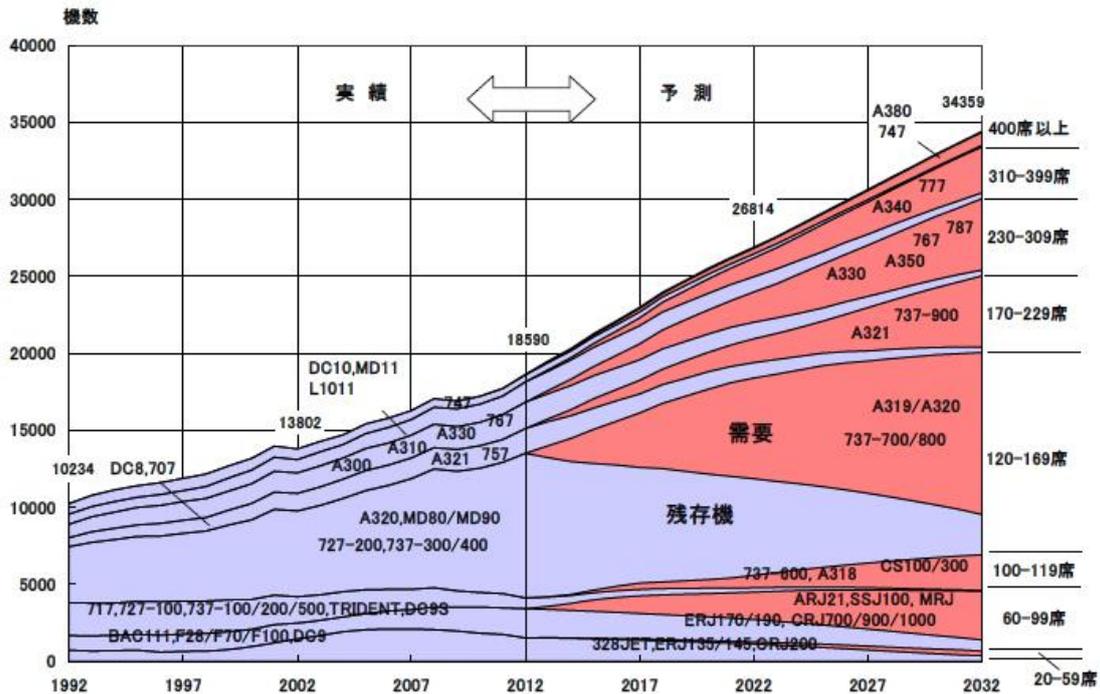
(出典：(一社)日本航空宇宙工業会「平成 27 年度航空機生産・輸出・受注額(改訂)見通し」

(2015 年 10 月))

2. 日本の航空機市場の成長性

世界の民間航空機市場は、新興国における旺盛な顧客需要や貨物輸送の増大等のため、年率 5% 以上で増加するといわれている。それに伴って航空機材需要についても年々増加する傾向にあり、今後 20 年間で約 2 倍の伸びが見込まれている。特にアジア太平洋地域は、世界最大の市場となることが予想されている。

図表 I-7 世界におけるジェット旅客機の運航機材構成予想



(出典: (一財)日本航空機開発協会「民間航空機に関する市場予測(2013-2032)」)

3. 設備投資動向及び経済波及効果

(1) 設備投資動向

当行が2015年6月に実施した「設備投資計画調査」(図表I-8)によると、2015年度の国内設備投資は全産業で13.9%増と4年連続で増加となる。製造業・非製造業別でみると、製造業で24.2%増とバブル期(1989年26.3%)以来の高水準の伸びとなるほか、非製造業で8.7%増と4年連続の増加となる。製造業は、電気機械、自動車や一般機械が牽引し、鉄鋼以外の主要業種はすべて増加する。自動車は完成車、部品ともにエコカー関連の新製品開発など、一般機械は航空機や自動車向けの投資を中心に増加する。

この中で航空機関連投資を一定の仮定を置きながら試算したところ、航空機関連向け分野だけを抽出した国内投資(一部推計含む)は、1,666億円で、全産業における設備投資額の約1%を占めている。対前年比増減率は、2014年度、2015年度ともに2年連続で2桁の伸びとなっている。

図表 I-8 業種別、航空機関連産業の市場セグメント別の国内設備投資の前年比増減率

(単位: %)	FY2014 (実績)	FY2015 (計画)	金額 (百万円)	構成比
全産業	6.3	13.9	19,258,845	100.0
製造業	3.7	24.2	7,057,052	36.6
①電気機械	▲4.0	61.3	1,438,975	7.5
②自動車	5.3	25.7	1,407,889	7.3
③一般機械	▲3.9	22.9	749,761	3.9
参考: 鉄鋼	10.7	▲0.3	578,444	3.0
非製造業	7.5	8.7	12,201,793	63.4
①電力・ガス	1.0	30.1	2,383,463	12.4
②運輸	7.4	19.7	3,145,436	16.3
③不動産	38.4	11.7	1,545,755	8.0
参考: 情報・通信	▲0.8	▲12.1	2,581,216	13.4
うち航空機関連	11.0	14.9	166,587	0.9

※1. ここで示した数値は資本金10億円以上の企業のみを対象としている。

※2. 航空機関連企業の設備投資のうち、航空機関連向け分野のみを抽出した数値(一部推計含む)。

(出典: 当行「2015年6月設備投資計画調査」)

(2) 経済波及効果

航空機関連産業の波及効果については、産業界をはじめとして各方面から期待されている。実際にどの程度の産業波及効果があるのか推計した結果を図表 I-9 に示した。

2011 年の産業連関表によると、新規需要額を 1 単位投入したときの直接効果（新たに発生した消費や投資によって、その需要を満たすために誘発される生産のうち、国外に流出せず、国内に誘発された生産額）は、乗用車産業において 0.881 であるのに対し、航空機・同修理においては、0.550 に留まっている。また、直接効果に伴う原材料等の購入（投入）によって誘発される生産額を表す 1 次間接効果についても、航空機・同修理は 0.952 である。これらの要因は、当業界における自給率が低く、海外からの調達に頼っている部分が多いことと考えられる。

前述の通り、今後 20 年間で民間航空機市場は約 2 倍の成長が期待される一方、このような自給率の低さ等が要因となり、その恩恵に十分にあずかれないのが実態である。

2011 年時点のデータにおいては、航空機産業の全産業への波及効果がプラスにはならなかったが、将来的に産業構造が変化し、航空機部品等、関連製品を日本国内で調達できるようになった場合、波及効果は自動車産業のように大きくなる場合もあり得ると考えられる。2015 年 11 月の MRJ の初飛行成功は、わが国において航空機関連産業のインテグレート機能を有する企業の誕生を意味しており、このような企業の成長とともに、Tier2 以下の中堅・中小企業群及び周辺産業に位置する国内企業群が航空機関連パーツを供給可能な能力を身につけた場合、当業界が日本全体により大きな経済波及効果をもたらす可能性は十分あると思われる。

図表 I-9 新規需要額を 1 単位投入したときの全産業に対する波及効果

	直接効果	1次間接効果	直接+1次間接
乗用車	0.881	2.668	3.549
建設・鉱山機械	0.926	2.144	3.070
銑鉄・粗鋼	0.965	2.090	3.055
めん・パン・菓子類	0.968	2.015	2.982
住宅建築	1.000	1.944	2.944
飲食サービス	0.985	1.932	2.917
産業用電気機器	0.830	1.846	2.676
電気通信	0.996	1.805	2.801
医療	1.000	1.731	2.731
金融	0.982	1.565	2.547
穀類	0.878	1.529	2.407
道路貨物輸送(除自家輸送)	0.999	1.397	2.396
航空機・同修理	0.550	0.952	1.502
衣服	0.301	0.614	0.915

(出典:総務省統計より当行推計)

また、航空機産業は他産業と比較して、経済波及効果よりも技術波及効果⁶が大きいとされており、産官学各方面から同業界への期待が高い。日本航空宇宙工業会の推計⁷によれば、1970～1998年の間における自動車産業の技術波及効果が34兆円であるのに対し、航空機産業では103兆円と約3倍となっている。

以上のように、自動車産業と比較して技術面での波及効果が大きく、各業界に対する生産の波及が小さいのが当業界の特徴のひとつといえる。その理由としては、少量生産であること、厳しい品質保証が要求されること等が考えられる。

⁶当該産業で生み出された技術が他産業に移転され新製品の創成や生産活動の効率向上など他産業の活性化を誘発する効果

⁷ 出典：(一社)日本航空宇宙工業会「2000年度産業連関表を利用した航空機関連技術の波及効果定量化に関する調査」

4. サプライチェーン

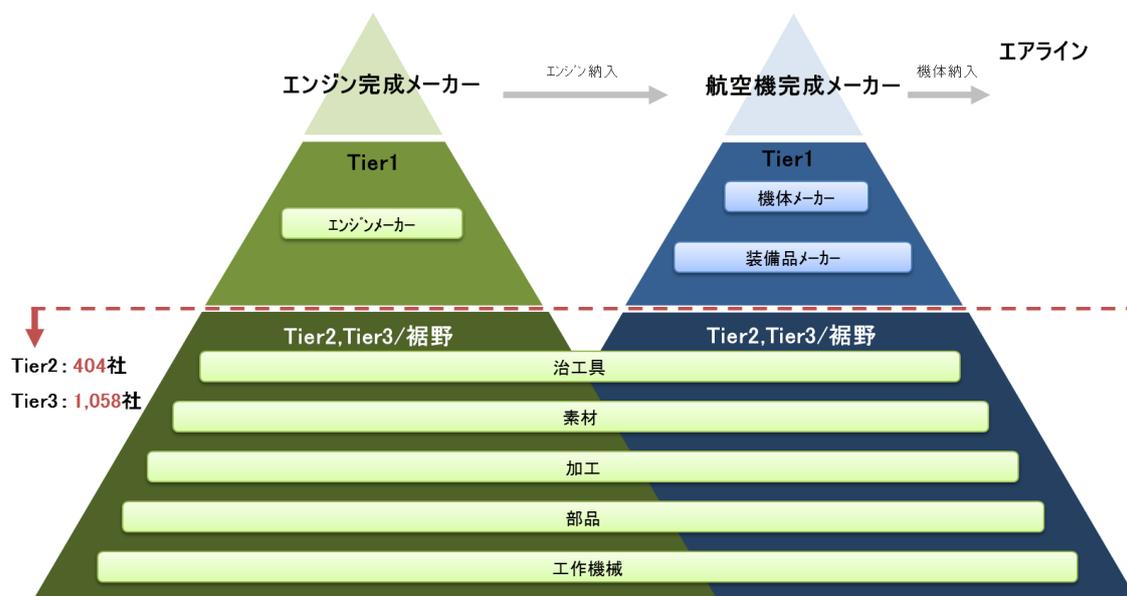
航空機は1機3百万点とも言われる部品から組み立てられるが、最も大きな単位では機体とエンジンに分けられる。過酷な環境で稼働し、且つ高い安全性が求められる航空機を製造するためには、高度な技術力・設計・管理能力等が求められる。そのため、サプライチェーンの構造は、ボーイングやエアバスなど4社の完成機体メーカー、及びゼネラル・エレクトリックなど3社のエンジンメーカーという極めて高度な開発能力を有する限られたプレーヤーを頂点に、膨大なサプライヤーが存在するピラミッド型である。

本邦企業の大半はサプライヤーであり、このうち完成機メーカーやエンジンメーカーと直接取引を行う企業は「Tier1(ティア1)」、部品メーカーなどと取引を行うサプライヤーは「Tier2」「Tier3」と呼ばれる。また、これらの部品加工に必要な機械・工具等を供給する企業や、磨きや切削といった特殊工程を請け負う加工企業、更には機体の整備・修理等のアフターマーケット事業を行う企業も存在する。

本邦の航空機製造におけるTier1企業の例として、機体関連においてはMHI等の大手重工メーカーがボーイングやエアバスなどに機体の胴体・主翼部分のパネルを供給している。さらに装備品ではギャレーなど内装装備品のジャムコや客室エンターテインメント機器のパナソニックが、その分野での大きな世界シェアで事業運営している。またエンジン関連では、IHIなどが欧米のエンジンメーカー向けの部品供給を行っている(なお、本田技研工業はビジネスジェットを独自に開発・量産している)。

本邦航空機産業における主要Tier1企業であるMHI、KHI、IHI及びFHIに供給を行う企業数は、Tier2で404社、Tier3で1,058社という近畿経済産業局の試算⁸もある。

図表 I-10 本邦の航空機・エンジンのサプライヤー構造概念図



※上図はあくまで概念図であり、機種や製造する部品等によって各社の関係性が異なる場合もある点につき、留意されたい。

(出典: 日本公庫総研、中部経済産業局、近畿経済産業局資料等より当行作成)

⁸ 出典: 近畿経済産業局「EIKANSAL」(2014年5月)

近年では、複合素材等の従来と異なる素材への需要が高まったことに伴い、素材メーカー等の新規参入が見られるほか、本邦初の国産ジェット機となるMRJの開発が進められていること等を受け、新たに航空機産業に参加する企業も増加している。

図表 I-11 航空機産業の参入世代とその要因

参入世代	参入動向	トピック
第一世代 1955年～ 1964年～	既存(戦中)企業の再参入 各地での協同組合型参入 YS-11運行開始に伴う下 請参入	川崎航空機(現川崎重工業)と新三菱重工業(現三菱重工業)に自衛隊向けの機体(ロッキードT-33Aジェット練習機、ノースアメリカンF-86F)の国内ライセンス生産と機体部品、装備品の国産化 YS-11、1964年(昭和39年)8月に運輸省(現国土交通省)の型式証明を取得し、国内線向けの出荷と納入を開始 民間小型機MU-2,FA200の開発
第二世代 1980年～	需要拡大期対応型参入が 拡大、協同組合以外の参 入がはじまる	B767、BK117、F15・P3C・T4等の需要拡大期 F-2開発開始、SH60J,CH47等のヘリコプターの生産(防衛需要の拡大)
第三世代 2000年～	複合材分野での参入 全国規模での機械加工企 業参入が進む	B777、ERJ170/190、CRJ700/900の需要繁忙化、CX,PXの開発開始、CATIA、5軸NC等の導入が進む。設備の近代化 複合材部品製造設備の増強。
第四世代 2010年以降	部分加工から一貫生産に よる部品生産での参入が 強まる	B787本格生産に向けた生産体制への移行が見込まれる。 CFRPを主体とした加工体系への移行が見込まれる。 一貫生産体制構築に向けた動きが強まる。

(出典：近畿経済産業局「航空機産業参入事例集」(2010年3月))

5. 主要な航空機/エンジン製造会社ランキング

民間航空機では、ボーイング(米)とエアバス(仏)の2社が500億ドルを超える売上高を計上しており、100億ドルを切る形で、ボンバルディア(カナダ)、ガルフストリーム(米)、エンブラエル(ブラジル)が続いている。なお、大型ジェット旅客機を製造しているのはボーイング及びエアバスの2社のみであり、3位以下の企業は主にビジネスジェット等小型航空機メーカーである。

航空機エンジンでは、ゼネラル・エレクトリック(米)、ユナイテッド・テクノロジーズ/プラット・アンド・ホイットニー(米)、ロールス・ロイス(英)、サフラン(仏)が100億ドルを超える売上高を計上している。なお、日本では、IHIが売上高42億ドルで世界7位にランクインしている。

このように、航空機産業においては、欧米諸国の企業が大半を占め、日本企業の存在感は相対的に小さいのが現状である。

図表 I-12 民間航空機/航空エンジン/装備品売上高ランキング

民間航空機 (Civil Aircraft)

企業	部門	国名	売上高 (\$Mil.)					
			2013		2008		2003	
			ランク	(\$Mil.)	ランク	(\$Mil.)	ランク	(\$Mil.)
1~8社合計売上高			137,516		98,517		61,874	
Boeing		USA	1	52,981	2	28,263	1	22,408
Airbus (excl ATR)		France	2	52,139	1	40,171	2	21,695
Bombardier		Canada	3	9,385	3	9,965	3	8,071
Gulfstream	part of General Dynamics "Falcon Division"	USA	4	8,118	5	5,512	4	2,946
Embraer		Brazil	5	6,235	6	4,260	6	2,143
Cessna	part of Textron	USA	6	2,784	4	5,662	5	2,299
Dassault Aviation		France	7	4,234	8	3,384	8	1,912
ATR	Airbus/Finnmeccanica JV	France	8	1,640	9	1,300	9	€400

出典: Flight International 16-22 September 2014

航空エンジン/ 装備品 (Engines and Components)

企業	部門	国名	売上高 (\$Mil.)					
			2013		2008		2003	
			ランク	(\$Mil.)	ランク	(\$Mil.)	ランク	(\$Mil.)
1~9社合計売上高			78,920		62,763		40,464	
GE Aviation	Aircraft Engines	USA	1	21,911	1	14,296	1	10,970
United Technologies	Engines (Pratt & Whitney)	USA	2	14,501	2	12,965	2	7,505
Rolls-Royce	Civil Aerospace and Defence	UK	3	14,458	3	11,480	3	6,686
Safran	Propulsion(Air & Space)	France	4	10,344	4	8,491	5	4,703
Honeywell	Aerospace (estimates)	USA	5	5,990	5	5,655	4	3,966*
MTU Aero Engines		Germany	6	4,968	6	3,986	6	2,147
IHI	Aero-Engines & Space Operations	Japan	7	4,162	7	2,890	7	2,082
GKN	2012年7月ボルボの航空宇宙部門・ボルボ・エアロを買収	UK	8	1,754				
IITP		Spain	9	832	10	707	10	412

出典: Flight International 16-22 September 2014

(出典: (一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

6. ビジネスモデル

ここでは、航空機産業特有のビジネスモデルについて概説する。

(1) 巨額の研究開発費と長期の投資回収期間

ボーイング、エアバス等の完成機メーカー、ゼネラル・エレクトリック、プラット・アンド・ホイットニー、ロールス・ロイス等のエンジンメーカーは最先端の技術を駆使し、燃費効率、耐久性、操縦性等を極限までに高める必要があり、プログラム初期段階において巨額の研究開発費負担を強いられる。

加えて、新機種の航空機については、厳しい各種試験や認定を行っていても本当に問題なく飛び続けることができるのか、購入する側のエアラインにとっては不安要素が残るものであり、また初期に設定していた燃費性能が発揮されるのか、修理やリペアがどれだけ必要か、等の実績が存在していない。初期のコストはこうした事項を考慮して相当程度値引きを行い購入することが商習慣となっており、ある程度市場に信頼性をもって受け入れられてから、リペアや修理ビジネス(MRO ビジネス)を含めた総合採算で投資回収を図るビジネスモデルである。なお、販売価格に対する値引率や、実際の製造原価、更には投資回収期間、損益分岐点の販売台数等についてはエアライン及びサプライヤーと交渉する上で知られてはいけぬ最も秘匿性の高い情報であり、外部からは詳細に知ることはできない。

よって、航空機産業の頂点に君臨するボーイング、エアバス、ゼネラル・エレクトリック、プラット・アンド・ホイットニー、ロールス・ロイス等は資金負担に耐えられるだけの財務内容を有しており、マグドネル・ダグラス等破綻若しくは他のメーカーに買収されてしまった企業は、巨大企業であったものの航空機の需要予測を読み違えたり、競合他社の積極的な値引きによる市場シェアの確保に対して、対応が遅れ、巨額の設備投資/研究開発資金を回収できなかったことが破綻の原因とされる。ボーイング、エアバスといえども、一つのプロジェクトでも失敗すれば経営の根幹を揺るがす事態になりうる。

例えば、ロールス・ロイスは RB211 エンジンの失敗などによって 1971 年に破綻し、国有化されている。

また、エンブラエルは、1969 年にブラジルの国営航空機メーカーとして誕生し、世界各国で採用された EMB110 バンデランテス(別名:バンディランテ)等のヒット機体を生み出すメーカーであった。しかし、1990 年頃に巨額の研究開発費をかけて CBA123 を開発したものの、価格競争力の低さ等が原因で開発が中止され、巨大な損失を負うことになり、再建を図るべく 1994 年に民間に売却されている。

カナダの航空機大手であるボンバルディアも、ボーイングとエアバスによる牙城を突破すべく開発した Cシリーズ(座席数 100~150 規模)の開発スケジュールが、安全認証取得に時間を要した事等により大幅に遅延したことで、足許経営不振に陥っている。

ボーイング、エアバス、ボンバルディア、エンブラエル機の開発費は図表 I-13 の通り。

図表 I-13 開発費の概要

メーカー	機種名	開発費		機体価格 (2014~2015)		概要(*1)
		M\$	xx年価格	M\$		
ボーイング	B727-100	200	1961年価格			
	B737-100	350	1980年価格			
	B737-300	250	1980年価格	1.3	~ 5.0	中古機価格
	B737-400			2.5	~ 6.0	中古機価格
	B737-500			1.5	~ 4.4	中古機価格
	B737-600			9.0	~ 15.0	中古機価格
	B737-700				78.3	新造機リスト価格
	B737-800				93.3	新造機リスト価格
	B737-900ER				99.0	新造機リスト価格
	B737-MAX7				87.7	新造機リスト価格
	B737-MAX8				106.9	新造機リスト価格
	B737-MAX9				113.3	新造機リスト価格
	B747-100	1,000	1967年価格			
	B747-400			10.0	~ 38.0	中古機価格
	B747-8I	4,000	2000年価格		367.8	新造機リスト価格
	B747-8F				368.4	新造機リスト価格
	B757-200ER	750	1978年価格	5.5	~ 20.0	中古機価格
	B767-200ER	1,100	1977年価格	2.8	~ 14.4	中古機価格
	B767-300ER				191.5	新造機リスト価格
	B767-300F				193.7	新造機リスト価格
	B777-200	4,000 ~ 5,000	1990年価格	20.5	~ 48.0	中古機価格
	B777-200ER				269.5	新造機リスト価格
	B777-200LR				305.0	新造機リスト価格
B777-300			42.0	~ 70.0	中古機価格	
B777-300ER				330.0	新造機リスト価格	
B777F				309.7	新造機リスト価格	
B777-8X				360.5	新造機リスト価格	
B777-9X				388.7	新造機リスト価格	
B787-8	8,900	2004年価格		218.3	新造機リスト価格	
B787-9				257.1	新造機リスト価格	
B787-10				297.5	新造機リスト価格	
ボーイング MDC	DC-9	200	1963年価格			
	DC-10	1,400	1972年価格			
	MD-81/82			0.5	~ 0.5	中古機価格
	MD-83			0.7	~ 1.8	中古機価格
	MD-87			0.8	~ 1.1	中古機価格
	MD-88			1.0	~ 2.0	中古機価格
	MD-90-30			4.1	~ 4.4	中古機価格
	B717-200	500	1994年価格	6.0	~ 10.0	中古機価格
	MD-11	700	1990年価格	10.0	~ 16.0	中古機価格
	エアバス	A300B2/B4	500	1968年価格		
A300-600R				4.4	~ 11.0	中古機価格
A310-200		1,000	1980年価格	1.5	~ 2.0	中古機価格
A310-300				3.3	~ 7.7	中古機価格
A318					74.3	新造機リスト価格
A319		200 ~ 400	1991年価格		88.6	新造機リスト価格
A320-100		1,700 ~ 2,000	1984年価格		97.0	新造機リスト価格
A320-200					~ 13.7	中古機価格
A321-100		400 ~ 500	1989年価格	9.5	~ 13.7	中古機価格
A321-200					113.7	新造機リスト価格
A319neo					97.5	新造機リスト価格
A320neo					106.2	新造機リスト価格
A321neo					124.4	新造機リスト価格
A330-200					229.0	新造機リスト価格
A330-200F					232.2	新造機リスト価格
A330-300					253.7	新造機リスト価格
A330-800neo					249.6	新造機リスト価格
A330-900neo					284.6	新造機リスト価格
A340-200		3,000 ~ 3,500	1991年価格	7.0	~ 12.3	中古機価格
A340-500				35.0	~ 67.0	中古機価格
A340-600				35.0	~ 69.5	中古機価格
A350-800		5,300	2004年価格		269.5	新造機リスト価格
A350-900					304.8	新造機リスト価格
A350-1000				351.9	新造機リスト価格	
A380	10,700	2000年価格		428.0	新造機リスト価格	
ロッキード フォッカー	L-1011-1	500	1967年価格			
	F-70			2.5	~ 3.0	中古機価格
	F-100	500	1991年価格	2.3	~ 3.5	中古機価格
BAe	Avro RJ-85	530	1981年価格			
	CRJ-100/200			1.4	~ 5.0	中古機価格
ボンバルディア	CRJ-700	210	1995年価格		37.3	新造機価格(*2)
	CRJ-900				42.8	新造機価格(*2)
	CRJ-1000				49.5	新造機価格(*3)
	ERJ-135			1.7	~ 4.6	中古機価格
エンブラエル	ERJ-145			2.8	~ 8.0	中古機価格
	Embraer 170LR				38.7	新造機価格(*2)
	Embraer 175LR				41.6	新造機価格(*2)
	Embraer 190LR				46.1	新造機価格(*2)
	Embraer 195LR				48.7	新造機価格(*2)
スホイ	SSJ100-95LR	1,597	2005年価格		36.2	新造機価格(*3)

(*1) 新造機リスト価格の出典は、Boeing社は2014年末時点のメーカーHP、Airbus社は2015年1月時点のメーカーHP。

中古機価格の出典は、airline fleet management November-December 2013。

(*2) 新造機価格の出典は、airline fleet management November-december 2013。

(*3) 新造機価格の出典は、Jane's All the World's Aircraft 2014-2015。

(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

ボーイング、エアバスともに当初開発費は百万\$~千万\$レベルであったが、エアバスが A340 で 3,000~3,500 百万\$レベルでの支出、ボーイングが B777 で 4,000~4,500 百万\$レベルでの支出を行ったのを皮切りに、A380(10,700 百万\$)、A350XWB(5,300 百万\$)、B787-8(8,900 百万\$)、B747-8(4,000 百万\$)と開発費が巨額化している。

これには、

- 燃費効率の良い機体は、エアラインにとってランニングコストが安く済むというメリットがあることから、機体価格は多少高くても受け入れられること(機体価格に転嫁できること)、
- RSP 契約等によりサプライヤー各社にも研究開発資金を負担させる仕組みが構築されていること、
- B737 や A320 等のベストセラー機が過去の投資回収時期を迎え、新規投資に向ける資金的余裕があること、

等が理由と考えられる。

(2) アッセンブリとサプライヤーの契約形態⁹

巨額の研究開発負担があることから、航空機産業のアッセンブリメーカーとサプライヤー各社の契約形態には特色がある。主な形態は下記の3つとなる¹⁰。

① プログラムパートナー契約

- サプライヤーが開発費負担を一部負担することで、販売戦略や、追加研究開発の方針等に一定程度の発言権を認められる契約形態。持分権を持つフルパートナー(エクイティ・パートナー)とプログラムパーティシパント(単なるサプライヤー)の中間に位置づけられる。
- B767 では、国内 MHI、KHI、FHI、日本飛行機(日飛)、新明和の 5 社が JADC を通して 15%の生産分担でボーイングプログラムに国際共同開発として参画し、その後、B777 では 21%、B787 では 35%とプログラムシェアを伸ばしている。B787 におけるプログラムシェアの急拡大は炭素繊維複合材(CFRP)による。

② RSP 契約(Risk-Revenue Sharing Partner)

- 開発及び量産を分担し、参加シェアに応じて機体、エンジン及びスペアパーツの販売収入を得る契約形態で、販売戦略や、追加研究開発の方針等は委託会社(プライム)に任せられているところに特徴がある。なお、分担シェアは、参加企業が想定した担当部分の想定原価による。
- ゼネラル・エレクトリック、プラット・アンド・ホイットニー、ロールス・ロイス等欧米系エンジンメーカーが、MHI、KHI、IHI 等と締結している。

⁹ 主として日本政策投資銀行(2010)「航空機産業の発展に向けて」による

¹⁰ 具体的な契約形態については、図表 I-16 及び図表 I-24 参照

③ サブコントラクター又はサプライヤー

- ・ サプライヤーは開発・生産・販売戦略に発言権はなく、プライムメーカーが発表する生産販売計画のスケジュールに合わせて生産を行う契約形態。なお、研究開発費はプライムメーカーが負担し、サプライヤーは負担しない。
- ・ 単なるサプライヤーの場合はプライムメーカーが提供する設計図に基づき部品等を供給するのに対して、サブコントラクターの場合は設計(共同設計が多い)を行うこともある。

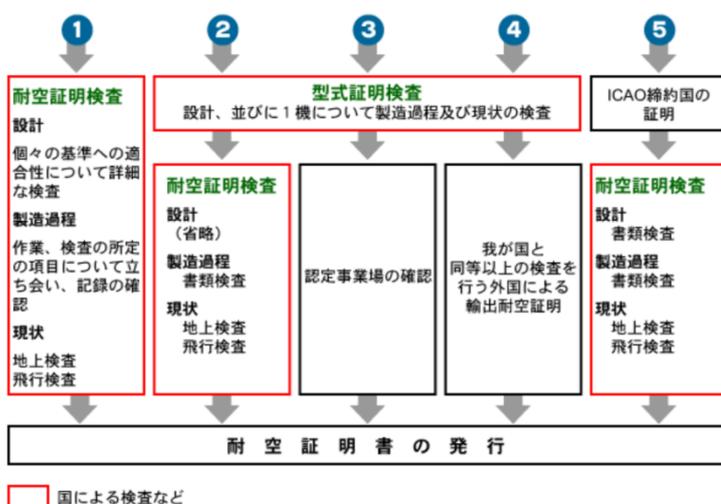
7. 認証制度¹¹

我が国の航空法がその目的(第1条)において「国際民間航空条約の規定並びに同条約の附属書として採択された標準、方式及び手続に準拠して、航空機の航行の安全及び航空機の航行に起因する障害の防止を図るための方法を定め」としているように、我が国の航空の安全は、国際条約(シカゴ条約)を前提に構成されている。シカゴ条約は国際航空を行なう全ての航空機に対して、登録証明書、耐空証明書等の携行を義務付けており、これを受け、航空法では、「航空機は、有効な耐空証明を受けているものでなければ、航空の用に供してはならない」(第10条)とするとともに、「型式証明を受けた型式の航空機」については、「設計又は製造過程について検査の一部を行わないことができる」(第10条)とすることで手続きの簡素化を図っている。

我が国で航空機を新たに製造、又は輸入した場合、耐空証明を受けるまでに5つのプロセスを経ることとなる。

- 1) 設計、製造過程、現状の全てを詳細に検査する
国があらかじめ「型式証明」を発行して設計の検査を終了している場合は、
 - 2) 設計検査を省略、製造過程を書類で行い、現状の検査(実際の機体による検査)を行う
 - 3) 国があらかじめ認定した航空機製造者(航空機製造検査認定事業場という)が航空機の完成後の現状まで確認した場合、国は実際の検査は行わない
 - 4) 我が国と同等以上の検査を実施する外国の航空当局が、輸出耐空証明書を発行していれば、我が国は実際の検査を行わない
- ICAO 条約締結国が輸出耐空証明書を発行している場合は、
- 5) 設計、製造過程は書類にて検査し、現状の検査を実機を使用して行う

図表 I-13 航空機の耐空証明制度



(出典)国土交通省

¹¹ 国土交通省 HP 等による

8. MRO ビジネス

航空機及びエンジンは巨額の初期投資(研究開発)を必要とするものの、一旦販売が始まれば製品は20～30年整備を続けながら使用されるため、安定的な収入源になることが期待される。メーカーにとっては、自社製品の整備は自社が最も得意であり、エアラインは製品の信頼性を維持するという意味では少々リペアが高価であっても、新造機用に機体メーカーに製品を供給しているメーカー(OEM: Original Equipment Manufacturer)の純正品を用いてMRO(メンテナンス、修理、オーバーホール)を任せる可能性がある。このため、メーカー側にとっては販売機数を可能な限り増やし、シェアを高くすることが重要となり、そのために、値下げやファイナンスの提供等によりエアラインに販売し、MROによって長期にわたって資金を回収する、というのが航空機産業のビジネスモデルとなっている。例えば、OEMは、飛行時間当たりの整備単価を設定し、飛行時間に応じた整備費用とするPBTH(Power by the Hour)やFHA(Flight Hourly Agreement)といったメンテナンスパッケージを導入している。¹²

米国では、OEM以外でもFAAの部品製造者認証を取得することにより、部品供給をすることができる。PMA(Parts Manufacturer Approval)、PC(Parts Certificate)、TSOA(Technical Standard Order Authorization)などの認証部品製造者の制度があり、2005年時点で米国内で1,954社が認証されている。認証製造者を総称してPAH(Parts Approval Holders)というが、大半はPMAである。PMA部品はOEM部品と比較して安価であることが多く、整備費用削減の観点から注目されている。¹³

一方、日本においては、現時点では部品製造者認証制度がないため、日本の部品メーカーは在米の子会社をFAAが認証するPMAとすることで部品供給を行っており、このため、米国子会社の設置・運営や部品輸送のコストが追加的に発生している。我が国において認証部品製造者(PMA)制度が創設されれば、①国内の部品メーカーが国内のエアラインに部品を直送できる、②さらに、FAAが日本版PMA制度を承認すれば、国内の部品メーカーが米国のエアラインに部品を直送できるというメリットが生じることから、日本版PMAの創設が期待されている¹⁴。

¹² (公財)航空機国際共同開発促進基金「民間エンジンとMROビジネス」(2013)による

¹³ 渡辺進「米国民間航空における製造と修理ビジネス」『航空宇宙工業会会報』(2007年1月)による

¹⁴ 板原寛治「日本版PMAについて」『航空宇宙工業会会報』(2015年2月)による

9. 海外企業と国内企業の相違

(1) 欧米の航空機メーカーの特徴

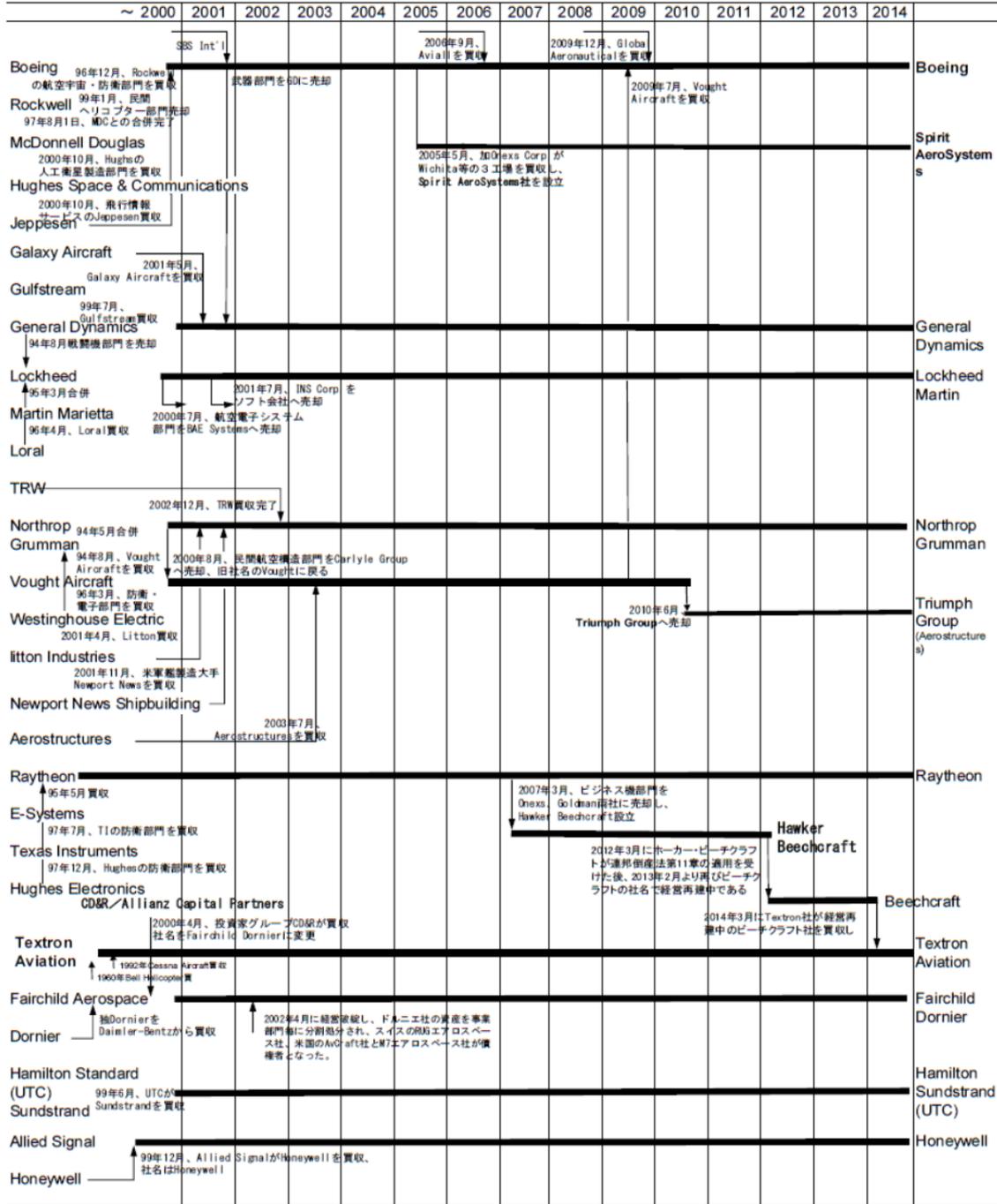
欧米の航空機メーカーは巨大な資金負担に耐える必要性から、M&A を繰り返した結果、集約され現在に至っている。MRO ビジネスで PMA 製品を売っている新規参入企業は、従業員数十人という町工場的な企業もあるようだが、OEM 等の大手による合従連衡は、各国の独禁法に抵触する手前まで進んでいる。例えば、ゼネラル・エレクトリックがハミルトン・サンドストランドを買収しようとし、米国の公取委は承認したが、欧州公取委が承認せず、失敗した。

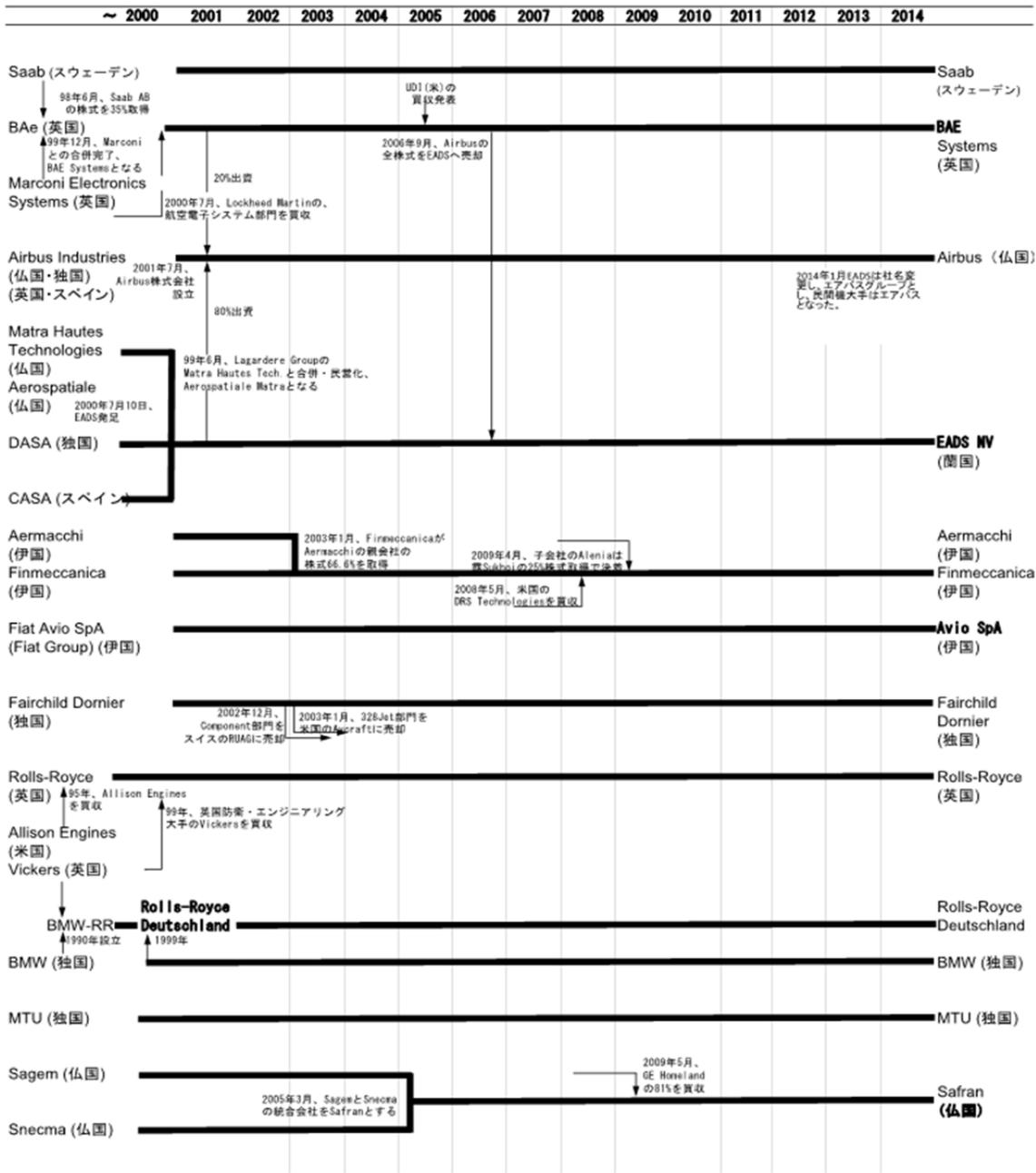
(2) 国内の航空機関連メーカーの特徴

一方、国内については MHI、KHI、IHI、FHI 等大手重エメーカーが Tier1 として国際共同開発プログラムに参画している他、Tier2 の KI ホールディングス、住友精密、ジャムコ、多摩川精機、ナブテスコ、日飛等中堅メーカーが Tier2 に位置し Tier1 化を目指して技術を磨いている。なお、ジャムコ、住友精密等は Tier1 としてプログラムに参画している例も多い。

海外メーカーに比べ、Tier1 クラスであっても規模が小さいこと、また専門メーカーが少ないことが特徴である。そのため、政府主導で JADC や JAEC を組織し、ジャパンコンソーシアムとして開発・営業・受注活動を行っている。装備品業界においては、住友精密、ナブテスコ等が独自でプライムメーカーと交渉し、Tier1 の地位を確保している企業もある。

図表 I -15 米国と欧州の企業(合従連衡図)





(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

10. 機体

いわゆる機体構造とは、航空機の外殻を構成する部位であり、胴体、主翼、尾翼を指す。胴体には円筒状の保つためのフレーム、外板の剛性を増すストリンガーやキール等を含み、翼にはスパーやストリンガー、リブを含む。また、主翼の機能部品としてフラップ、スポイラーを含む。

機体構造については、ボーイングと国内重工業メーカー各社が共同開発を続けており、B787では日本企業が機体構造の35%を担ったことが有名である。これは東しを始めとする日本素材企業の炭素繊維複合材料の技術及び重工業メーカー各社の複合材加工技術によるところが大きい。

国内メーカーで航空機構造部位の製造に関わっているのは主に MHI、KHI、FHI、新明和、日飛等である。

エアバス、エンブラエル、ボーイング、ボンバルディアの航空機の構造部位に対して日本メーカーが参画しているが、ボーイングの機体の割合が大きい。

図表 I-16 日本企業担当部位一覧

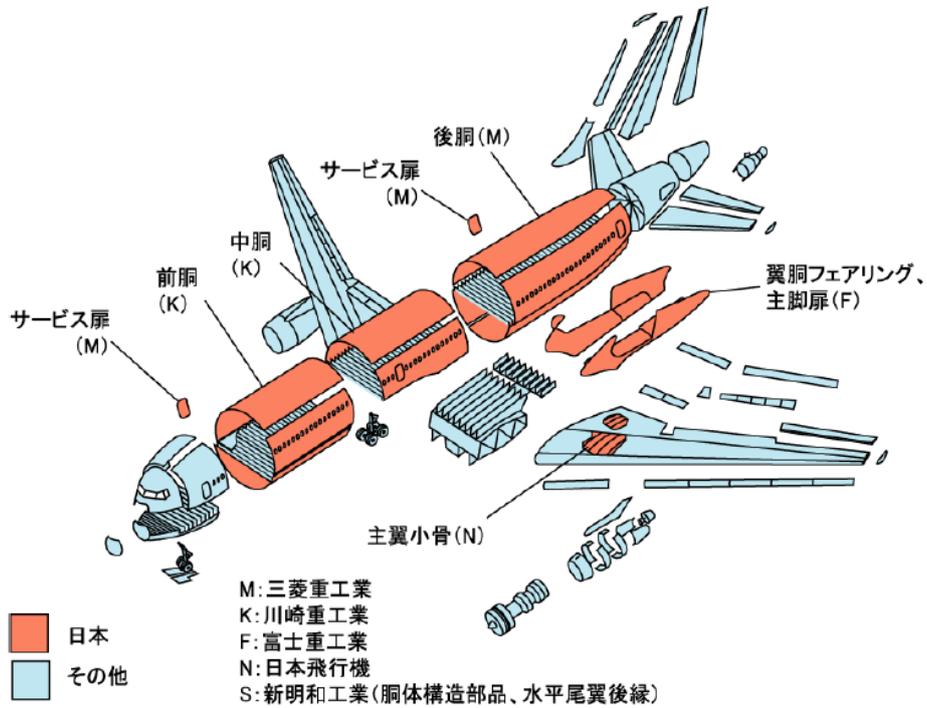
航空機構造部位 日本企業担当部位

機体	参画メーカー	契約形態	担当部位	備考
Boeing	B737	KHI	主翼リブ	B737-300~900、平成18年4月生産終了
		FHI	昇降舵	B737-600/700/800/900
		MHI	内側フラップ	B737-600/700/800/900/900ER
	B747	KHI	外舷フラップ	
		日飛	主脚扉、胴体フレーム	
	B747-8	FHI	補助翼、スポイラ	
		MHI	内側フラップ/中央翼	
	B757	日飛	外舷フラップ、主客扉、胴体フレーム	
		SHI	胴体圧力隔壁、水平尾翼後縁	B757は2004年に生産終了
	B767	日飛	昇降舵	
		FHI	外側フラップ	
	B777	MHI	胴体縦通材 (B757-300)	
		MHI	プログラム	後胴、胴体扉
		KHI	パートナー	前胴パネル、中胴パネル、貨物扉
		FHI	(15%)	翼胴フェアリング、主脚扉
	B777X	日飛		主翼リブ
		SHI		胴体構造部品、水平尾翼後縁
		MHI	プログラム	後胴、尾胴、乗降扉
		KHI	パートナー	前胴パネル、中胴パネル、貨物扉、中胴下部構造、後部圧力隔壁
	B787	FHI	(21%)	中央翼、翼胴フェアリング、主脚扉
日飛			主翼桁間リブ、スタブビーム、前脚扉	
SHI			翼胴フェアリング	
MHI		プログラム	後胴、尾胴、乗降扉	
B787	KHI	パートナー	前・中胴体、主脚格納部、貨物扉、圧力隔壁	
	FHI	(21%)	中央翼、中央翼・主脚格納部結合、主脚扉、翼胴フェアリング(前部)	
	日飛		主翼構成部品	
	SHI		翼胴フェアリング(中・後部)	
AIRBUS	A319/320	MHI	プログラム	主翼
		KHI	パートナー	前胴部位、中胴下部構造、主翼固定後縁
	A321	MHI	プログラム	主翼
		KHI	パートナー	前胴部位、中胴下部構造、主翼固定後縁
A330/A340	MHI	プログラム	主翼	
	SHI	パートナー	前胴部位、中胴下部構造、主翼固定後縁	
A380	SHI	パートナー	前・中胴体、主脚格納部、貨物扉、圧力隔壁	
	日飛		中央翼、中央翼・主脚格納部結合、主脚扉、翼胴フェアリング(前部)	
	FHI		主翼構成部品	
	MHI		翼胴フェアリング(中・後部)	
Bombardier	Global Express	MHI	RSP	主翼、中胴、中央翼
		MHI	RSP	中胴、後胴、水平尾翼、垂直尾翼、尾翼舵面
	Dash 8-Q400	MHI	RSP	尾胴
	CRJ700/900	MHI	RSP	主翼
	Challenger300	MHI	RSP	主翼、中胴、中央翼
	Global5000	MHI	RSP	主翼、中胴、中央翼
Global7000/8000	SHI		動翼(スラット、外側フラップ、スポイラ)	
Embraer	Embraer170/175	KHI	RSP	動翼(フラップ、補助翼等)、中央翼、主翼固定前後縁
	Embraer190/195	KHI	RSP	動翼(フラップ、補助翼等)、主翼ボックス、主翼固定前後縁、中央翼

※SHI: 新明和

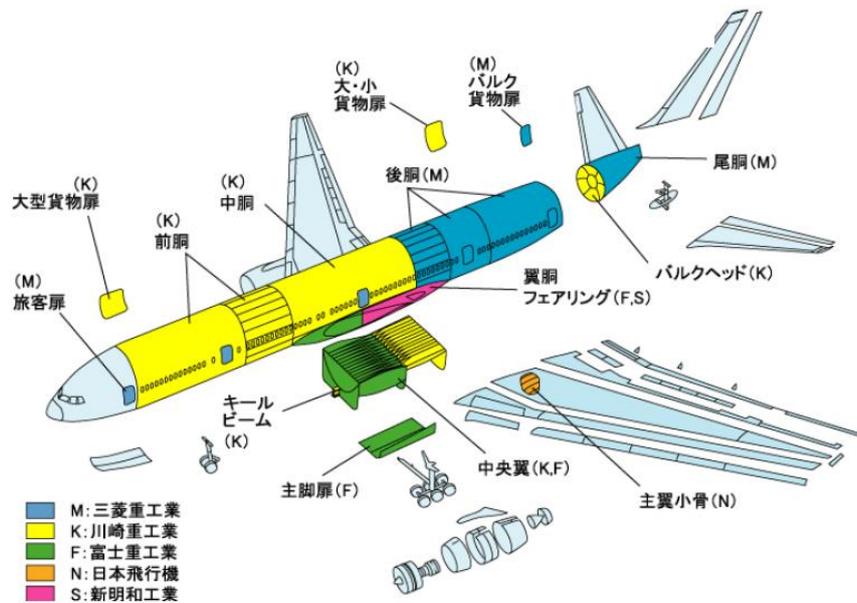
(出典: (一財) 日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月)より作成)

図 I -17 B767 の日本企業担当部位



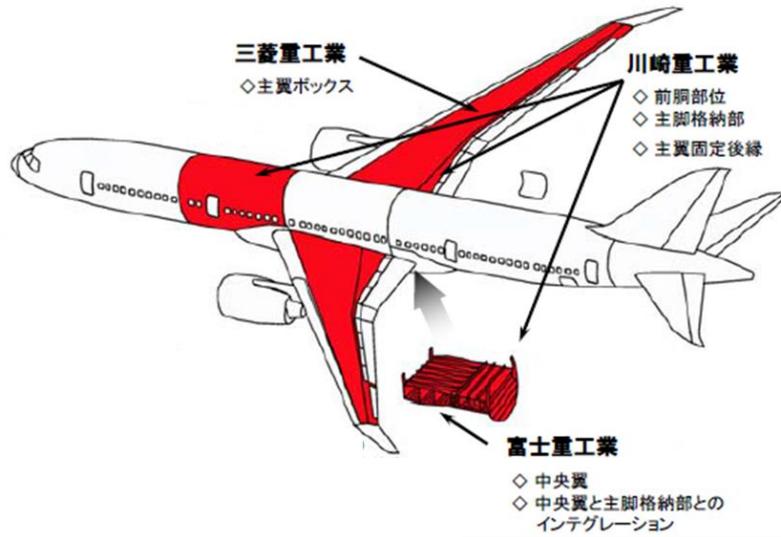
(出典: (一社)日本航空宇宙工業会「国際共同開発における 航空機生産事業の観点からの取組
 ープログラム・マネジメントー」(2012 年 12 月))

図 I -18 B777 の日本企業担当部位



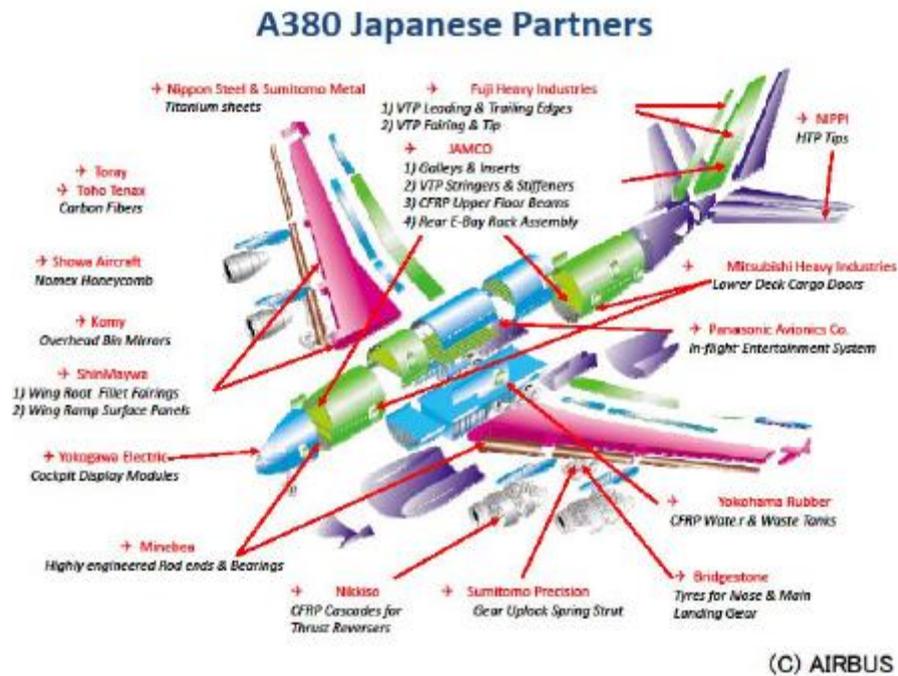
(出典: (一社)日本航空宇宙工業会「国際共同開発における 航空機生産事業の観点からの取組
 ープログラム・マネジメントー」(2012 年 12 月))

図 I -19 B787 の日本企業担当部位



(出典：(一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

図 I -20 A380 の日本企業担当部位



(出典：(一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

日本企業は、B767 の Working Together からプログラムパートナーとしてボーイング機の構造部位の担当をしており、そのシェアは順調に伸びている。

図表 I-21 日本企業のプログラムシェア

	B767	B777	B787
プログラムシェア	15%	21%	35%
開発開始時期	1978 年	1990 年	2004 年

(出典: (一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015 年 7 月)より作成)

B767 プログラムにおいて日本企業は品質の良さと納期を守る生産管理上の強みを発揮、加えて開発費の負担を積極的に行ったことがボーイングに評価されたことにより B777 プログラムではシェアを拡大し、更に、B787 プログラムでは機体に炭素繊維複合材(CFRP)を 50%使用しており、CFRP の加工技術が高い日本企業のシェアが急激に拡大した。

11. エンジン

航空機のエンジンは機構が複雑であり、それ自体が多くのサブモジュールから成り立つシステム機器である。研究開発に巨額の資金が必要であることから完成されたエンジンを供給できる能力・体力を持つ企業はごく限られている。通常、航空機の一つのモデルに対して 2～3 種のエンジンが開発され、顧客は機体と搭載されるエンジンを別々に選択することができる(但し、近年は 777X 向けに開発された GE9x のように、独占搭載されるエンジンも登場するようになった)。中型・大型機用エンジンの開発・製造できる企業は世界でもゼネラル・エレクトリック、プラット・アンド・ホイットニー、ロールス・ロイスの 3 社に集約されている。また、①機材内部の高温高圧という過酷な条件での安定動作が求められることから、耐久性、精密性をクリアできる素材の品質、素材加工技術が製品全体の品質を左右すること、②修理やリペア製品の販売で投資回収を図るビジネスモデルであること、③リペア専用製品(PMA)市場が発展途上にあること等が特徴である。

(1) 国内メーカーのシェア

国内メーカーでエンジンの製造に関わっているのは主に MHI、KHI、IHI 等である。ボーイングとエアバスの機体に限れば、搭載されているエンジンは図表 I-21 の通りとなる。

図表 I-22 ボーイング機とエアバス機の搭載エンジン一覧

<ボーイング>

機体名称	最大離陸重量 (lbs)	GE社		PW社		RR社		その他	
		エンジン名称	最大推力(lbs)	エンジン名称	最大推力(lbs)	エンジン名称	最大推力(lbs)	エンジン名称	最大推力(lbs)
737-600	124,000 ~145,500							CFM56-7B18	18,400
737-700	133,500 ~155,000							CFM56-7B22	22,000
737-MAX7								CFM56-7B20	19,700
737-800	155,500 ~174,200							CFM56-7B24	23,700
737-900ER	164,000 ~187,700							LEAP-1B	
737-MAX7/8/9								CFM56-7B24	23,700
757-200	220,000 ~255,000			PW2037 PW2040	36,600 40,100	RB211-535E4 RB211-535E4B	40,200 43,500	CFM56-7B27	28,400
767-200	300,000 315,000	CF6-80C2B2F CF6-80C2B6F	52,500 61,500	PW4050 PW4060	50,200 60,000			CFM56-7B26	26,100
767-200ER	345,000 ~395,000	CF6-80C2B6F CF6-80C2B7F	60,200 62,100	PW4056 PW4060	57,100 60,200	RB211-524(*)	60,000	CFM56-7B27	28,400
767-300	345,000 351,000	CF6-80C2B6F CF6-80C2B6F	52,500 61,500	PW4050 PW4060	50,200 60,000	RB211-524(*)	58,000		
767-300ER	380,000 ~412,000	CF6-80C2B6F CF6-80C2B7F	60,200 62,100	PW4056 PW4062	57,100 63,300	RB211-524G RB211-524H	56,400 59,500		
767-400ER	400,000 ~450,000	CF6-80C2B7F CF6-80C2B8F	62,100 63,500	PW4062(*)	63,300				
777-200	506,000 ~545,000	GE90-77B	77,000	PW4074 PW4077	74,400 77,200	Trent 875 Trent 877	73,400 76,000		
777-200ER	580,000 ~656,000	GE90-85B GE90-94B	84,700 93,700	PW4084 PW4090	84,400 90,000	Trent 884 Trent 895	83,600 93,300		
777-300	580,000 ~660,000	GE90-94B	93,700	PW4090 PW4098	90,000 97,900	Trent 884 Trent 895	83,600 93,300		
777-200LR	710,000 ~766,000	GE90-110B GE90-115B	110,100 115,300						
777-300ER	700,000 ~775,000	GE90-115B	115,300						
777-8X		GE9X							
777-9X		GE9X							
787-8	502,500	GENx-1B	53,200 ~69,800			Trent1000	53,200 ~69,800		
787-9	545,000 ~553,000	GENx-1B	63,800 ~74,100			Trent1000	63,800 ~73,800		
787-10	553,000	GENx				Trent1000			
747-400	870,000	CF6-80C2B1F CF6-80C2B7F	56,500 61,500	PW4056 PW4060	56,750 60,000	RB211-524G RB211-524H	58,000 60,600		
747-400ER	910,000	CF6-80C2B5F	62,100	PW4062	63,300	RB211-524H	59,500		
747-8	987,000	GENx-2B67	66,500						

<エアバス>

(型式番号及び各数値は代表例を記載)

機体名称	最大離陸重量 (lbs)	GE社		PW社		RR社		その他	
		エンジン名称	最大推力(lbs)	エンジン名称	最大推力(lbs)	エンジン名称	最大推力(lbs)	エンジン名称	最大推力(lbs)
A318	130,100 ~149,910	CFM56-5B8/P	21,600	PW6122A	22,100				
A319	141,100 ~166,500	CFM56-5B9/P CFM56-5A CFM56-5B	23,300 22,000 ~27,000	PW6124A	23,800			V2524-A5 V2527M	23,040 ~24,800
A319neo				PW1100G-JM				LEAP-1A	
A320	162,035 ~169,800	CFM56-5A CFM56-5B	22,000 ~27,000					V2500 V2527E	26,500
A320neo	171,960			PW1100G-JM				LEAP-1A	
A321	183,000 ~196,200	CFM56-5B	30,000 ~32,000					V2530-A5 V2533-A5	29,900 ~31,600
A321neo				PW1100G-JM				LEAP-1A	
A300-600R	375,900 378,500	CF6-80C2	58,000 ~61,500	PW4158	58,000 ~61,500				
A330-200	507,060 ~524,700	CF6-80E1	64,530 ~72,000	PW4168A PW4170	64,500 ~72,000	Trent 772B-60 Trent 772C-60	67,500 ~71,100		
A330-300	507,060 ~518,100	CF6-80E1	64,000 ~72,000	PW4164 PW4170	64,000 ~72,000	Trent 772B-60 Trent 772C-60	67,500 ~71,100		
A330-800neo						Trent 7000	68,000		
A330-900neo						Trent 7000	~72,000		
A340-200	568,800							CFM56-5C	31,200
A340-300	568,800 606,300							CFM56-5C	31,200
A340-500	804,700			PW4457	53,000	Trent 500	53,000	CFM56-5C	34,000
A350-800	570,995					TrentXWB-75	79,000		
A350-900	590,835					TrentXWB-84	84,000		
A350-1000	679,020					TrentXWB-93	97,000		
A380-800	1,234,575 ~1,263,245					Trent 970 Trent 972	78,303 80,214	GP7270	74,732 ~81,500

※上表で「CFM」とあるのは、GE アビエーションとスネクマが 50:50 で出資している合弁会社である CFM インターナショナル製のエンジン。

LEAP は、CFM インターナショナルが開発するエンジンの一つ。V2500 は、プラット・アンド・ホイットニー、エム・ティー・ユー及び JAEC により、66:23:11 の参画比率で構成されている、アイ・イー・イーが開発するエンジン。

(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

また、エンジンの推力(Thrust)別に整理すると下表のようになる。

図表 I-23 Thrust 別のエンジン一覧

2015年1月現在					
エンジン・クラス	メーカー	エンジン名称	最大離陸推力 (lb)	T/C取得年 (予定)	搭載機種
推力4万ポンド以上	General Electric (GE)	CF6-80A	50,000	1981	B767, A310
		CF6-80C2	52,000~61,500	1985	B747, B767, A300, A310, MD-11
		CF6-80E1	67,500~72,000	1992	A330
		GE90シリーズ	76,000~94,000	1995	B777
		GE90-115B	115,000	2002	B777-200LR/300ER
		GEnx	55,000~70,000	2008	B787, B747-8
		GE9X	100,000	(2020)	B777X
	Pratt & Whitney (P&W)	PW4000シリーズ	52,000~62,000	1986	B747, B767, A300, A310, MD-11
		PW4168	64,000~68,000	1993	A330
		PW4084/4098	84,000~98,000	1994/1996	B777
	EngineAlliance(EA)	GP7200	76,500~81,500	2006	A380
	Rolls-Royce (RR)	RB211-524G	58,000	1988	B747-400
		RB211-524H	60,600	1989	B767-300, B747-400
Trent 500		53,000~60,000	2000	A340-500/-600	
Trent 700/800		68,000~95,000	1993/1995	A330, B777	
Trent 900		68,100~81,500	2004	A380	
Trent 1000		53,000~70,000	2007	B787	
Trent XWB		75,000~95,000	2013	A350XWB	
推力3万 ~4万ポンドクラス	P&W	PW2037/2040	37,250~43,000	1983/1987	B757
	RR	RB211-535E4	37,400~43,100	1983	B757
	CFMI	CFM56-5C	31,200~34,000	1991	A340-200/-300
推力1万 ~3万ポンドクラス	IAE	V2500-A1	25,000	1988	A320
		V2500-A5	22,000~33,000	1992	A319, A320, A321
		V2500-D5	25,000~28,000	1992	MD-90
	未定	PW1100G-JM	24,000~33,000	2014	A320neo
	CFMI	CFM56-3	18,500~23,500	1984	B737-300/-400/-500
		CFM56-5A	22,000~26,500	1987	A319, A320
		CFM56-5B/-5B/P	22,000~32,000	1993/1996	A318, A319, A320, A321
		CFM56-7	18,500~27,300	1996	B737-600/-700/-800/-900
		LEAP-X1A	24,500~32,900	(2015)	A320neo
		LEAP-X1B	23,000~28,000	(2016)	737 MAX
	P&W	LEAP-X1C	27,980~30,000	(2015)	C919
		JT8D-200シリーズ	18,500~21,700	1979	MD-80シリーズ
		PW6000	22,100~23,800	2001	A318
		PW1200G	14,000~23,000		MRJ70/90
		PW1400G	24,000~33,000	(2016)	MC-21
		PW1500G	21,000~23,300	2013	CSeries
	GE	PW1700G	~17,000	(2015)	E-175 E2
		PW1900G	~23,000	(2015)	E-190 E2, E-195 E2
		CF34-8C/E	12,600~14,000	1999	CRJ700/900, EMBRAER 170
		CF34-10E	18,500	2004	EMBRAER 190
PowerJet	CF34-10A	18,500	2010	ARJ21	
	SaM146	13,500~17,500	2010	Superjet 100	
	RR	Tay620/650	13,850~15,400	1986	Fokker70/100
	RR	BR710	14,750~15,500	1996	Gulfstream V, Global Express
	Deutschland	BR715	18,750~21,000	1998	B717
推力1万ポンド以下	Honeywell	ALF502	7,000	1980	Bae 146
		LF507	7,000	1992	Avro RJ
		AS900	7,000~7,900	2001	Avro RJX
		TFE731	3,500~5,000	1972	各種ビジネスジェット
	GE/Honeywell	CFE738	6,000	1993	Falcon 2000
		GE	CF34-3A1/3B1	9,200	1991/1995
	RR Allison	AE3007	6,500~9,000	1995	ERJ 145, Citation X
	P&WC	PW300	4,700~6,500	1990	Learjet 60, Hawker 1000, 328JET
		PW500	3,000~4,500	1996	Citation

GPEA : General Electric- Pratt & Whitney Engine Alliance

IAE : International Aero Engines

P&WC : Pratt & Whitney Canada

CFMI : CFM International

(出典:(一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

この中で、日本企業が参加しているプログラムは下表の通りとなる。

図表 I-24 航空機エンジンの日本企業担当部位一覧

航空機エンジン 日本企業担当部位					
エンジン	装着機体	参画メーカー	契約形態	担当部位	
GE	GEnx	B787	IHI	RSP(15%)	LPT、HPC、シャフト
			MHI		燃焼器ケース
	GE90	B777	IHI	RSP(10%)	LPTブレード、ディスク、ロングシャフト
	CF34-8	CRJ700/900	大同特殊鋼	サブコン	シャフト素形材
			KHI	RSP(30%)	ファンローター、HPC後段、LPT
	Passport20	Global7000/8000	住友精密	サブコン	ギアボックス、LPTディスク、ブレード
IHI			RSP(30%)	潤滑油冷却装置	
GE9X	B777X	住友精密	Techspace Aeroへ納入	ファン静止部、HPC後段、LPT	
PW	JT8D-200	MD-80シリーズ	MHI	RSP(2.8%)	タービン、ディスク
			IHI	サブコン	ロングシャフト
	PW2000	B757	MHI	RSP(10%)	LPTブレード、ディスク、燃焼器、アクティブ・クリアランス・コントロール
			KHI	RSP(1%)	LPTケース、タービンシール、スタブシャフト、LPCベーン
	PW4000	A330	IHI	サブコン	ロングシャフト
			MHI	RSP(7.5%)	燃焼器モジュール
	PW6000	A318	MHI	RSP(7.5%)	燃焼器モジュール
	PW1200G	MRJ70/90	MHI	プリファードサプライヤ	燃焼器、HPTディスク、ケース、最終組立・領収運転試験
	PW1500G	CSseries	KHI	RSP	ファンドライブギアシステム、燃焼器
	PW1900G	E-190E2、E-195E2	KHI	RSP	ファンドライブギアシステム、燃焼器
RR	RB211-524	B767/B747	IHI	RSP(3%)	タービン部品
			KHI		タービンケース、LPTディスク
	RB211-535	B757	日機装	サブコン	スラストリバーサーカスケード
			KHI	サブコン	LPTケース、ディスク
	TRENT500	A340	IHI	RSP(5.5%)	MPTブレード、LPTブレード
			KHI	RSP(5%)	MPCドラム、アッシー、タービンケース
	TRENT700	A330	丸紅	RSP(10%)	潤滑油冷却装置
			住友精密	サブコン	潤滑油冷却装置
	TRENT800		KHI	RSP(2.7%/700) RSP(4.0%/800)	MPCディスク、LPT、MPT ブレード、ロングシャフト
	TRENT900	B747/A380	住友精密	サブコン	潤滑油冷却装置
			丸紅	RSP(14.5%)	潤滑油冷却装置
	TRENT1000	B787	IHI	サブコン	LPTブレード
			KHI	サブコン	MPCケース
	TRENTXWB	A350XWB	KHI	RSP(15.5%)	MPCモジュール
MHI				燃焼器モジュール、LPTブレード	
住友精密			RSP	熱交換システム	
KHI			RSP(7%)	MPCモジュール	
IAE	V2500	A319/320/321	IHI	プログラムパートナー	ファン、ファンケース、LPC、シャフト
			KHI	(23%)	ファンケース、LPC
			MHI		HPTケース、LPT部品
		住友精密	サブコン		熱交換器、空圧スタータ、スタータ・コントロール・バルブ
Engine Alliance	GP7200	A380	IHI	サブコン	HPCシャフト

(出典：(一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

日本企業の担当部位については、下記が特徴である。

- 日本企業はゼネラル・エレクトリック及びスネクマ製 CFMとゼネラル・エレクトリック製の CF6 を除けば、大半のエンジンで一定の部位を担当している。
- 日本の重工業メーカー各社は同クラスの航空機で競合するエンジンプログラムに、一般的に参加することはできない。結果、IHI は GEnx に 15%の RSP(「第 I 章 6. ビジネスモデル」参照)で入り、Trent には MHI、KHI が合わせて 15%程度のシェアで RSP に参加している。
- エンジン製造に関しては、重工業 3社に限ると概ね RSP 契約での参画となっている。これには、JAEC が果たす役割が大きい(後述)。

最新エンジンの日本企業シェア

最新エンジンは、ボーイング向けでは B787 用の①GEnx(ゼネラル・エレクトリック製)及び②Trent1000(ロールス・ロイス製)、B777X 用の③GE9X(ゼネラル・エレクトリック製)、エアバス向けでは A350XWB 用の④TrentXWB(ロールス・ロイス製)、A320neo 用の⑤PW1100G-JM(プラット・アンド・ホイットニー製)である。なお、CFM インターナショナル製の LEAP エンジンについては、A320neo 及び B737MAX に搭載予定であるが、本邦勢は共同開発には参画していない。

<ボーイング向け>

- GEnx(ゼネラル・エレクトリック製)
GEnx では、IHI と MHI 合わせて RSP として 15%のシェアを保持している。ゼネラル・エレクトリックが 64%のシェアを保持し、その他 Avio(伊)が 12%、GKN Aerospace Engine Systems(瑞)等で 9%。
- Trent1000(ロールス・ロイス製)
Trent1000 では、KHI と MHI 合わせて 15.5%のシェアを保持している。
- GE9X(ゼネラル・エレクトリック製)
GE9X では、IHI が約 11%となることが想定されている。

<エアバス向け>

- TrentXWB(ロールス・ロイス製)
TrentXWB では、MHI と KHI 合わせて 15%前後のシェアを保持している。
- PW1100G-JM(プラット・アンド・ホイットニー製)
PW1100G-JM では、JAEC を通じて、MHI、KHI、IHI が合計で 23%のシェアを保持している。

(2)ビジネスモデル

大・中型民間航空機におけるエンジンビジネスにおいて、ゼネラル・エレクトリック、プラット・アンド・ホイットニー、ロールス・ロイス等のエンジンメーカーは直接エアラインへ営業活動を行い、価格の交渉を行う。エンジンメーカーは 3 社で大・中型市場を寡占しているが、個々のエンジンが高価格であり、製品寿命も長

いことから、各社は熾烈な受注競争を余儀なくされる。販売価格自体は各エンジンメーカーが大幅に引き下げることが多い一方、一つのエンジンを納入するとその後 25～30 年間部品の交換(リペア)や修理ビジネスで収益を稼ぎ、全体として収益をあげるビジネスモデルとして成り立っている。エアラインにとって、航空機事故や故障による運航停止は事業遂行に致命的な影響を及ぼす。また、FAA 承認の整備マニュアルは内容が詳細であり、エアライン各社は整備に対して相応のコストを負担することへの抵抗感は低い。従って、搭載した航空機が売れ、これに伴いエンジンシェアが確保できれば、リペアや修理ビジネスで長期にわたって投資回収を行うことができる。

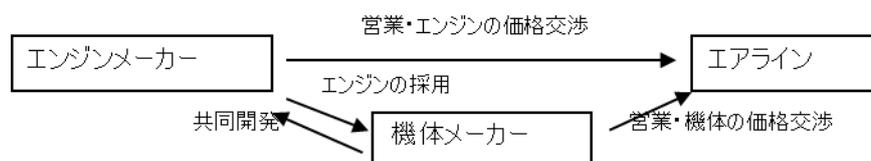
一方で、FAA は PMA 製品を認めており、OEM メーカーの純正製品でなければリペアを認めないのではなく、OEM メーカーと同じ品質のもので FAA が承認したものであれば、エアラインの判断によって OEM 製品を採用するか、PMA 製品を採用するか決めることができる。なお、PMA は PAH の一部であるが、PAH の大半を占めている。

OEM メーカーもエンジンビジネスの「うまみ」と言えるリペア市場への PMA 製品の参入を警戒しており、PMA をエアラインが採用した場合に性能保証を打ち切りにする、整備コストをエンジンの使用時間当たりの一定額に固定し、エアラインと整備契約を 10～15 年単位で締結するという「整備の包括契約」型ビジネスへの移行を進めるなどの方策を打っている。

①エンジン販売ビジネス

航空機の販売においては、機体メーカーとエンジンメーカーはそれぞれ独自にエアラインに対して営業活動及び価格交渉を行うという独特な商慣行がある。通常、一つの機体に2つ以上のエンジンのオプションがあり、エアラインが機体購入を決める際に、どのメーカーのエンジンを採用するか決める。近年は、GE9X のように、機体に対してエンジンメーカーのオプションがなく、エンジンを選ぶ余地がないこともある(exclusive)。

図表 I-25 エンジンメーカー、エアライン、機体メーカーの関係



(出典: 当行作成)

②MRO(メンテナンス、修理、オーバーホール)ビジネス

i) メンテナンスや整備の必要性

航空機エンジンの整備は、FAA と航空機産業によって構成される MSG (Maintenance Steering Group) によって制定される MSG ドキュメントに基づいて行われる。現在は、第 3 版である MSG-3 が制定されており、これに基づき新機種が導入されるたびに当該エンジンに見合ったものが初期設定されて

いる。機種ごとに耐空性を維持するために設定された整備プログラムを MRB レポート(Maintenance Review Board Report)といい、航空機製造国の当局の承認を経て発行され、これに基づき MPD (Maintenance Planning Document)がエアラインに配付される。¹⁵

ii)PMA 製品

エンジンのリペアを OEM メーカー(ゼネラル・エレクトリック、プラット・アンド・ホイットニー、ロールス・ロイス等)の純正リペアパーツでしか行ってはならないわけではない。FAA が認めた PMA (Parts Manufacture Approval) 製品であれば、OEM メーカーの純正製品でなくともリペアは可能である。OEM メーカーの純正製品は初期の研究開発投資を回収する必要性から高価となる傾向がある。一方で、PMA 製品は研究開発が不要のため、比較的安価でエアラインに提供される。エアライン側としては、費用削減のため PMA 製品を使いたいが、もし純正部品を使わず PMA 製品に不備があり、事故が起こった場合、純正メーカーは免責される可能性が高い。

日本のエアライン各社は、従来 PMA 製品の採用に保守的であったが、費用削減の要請から近年 PMA 製品の採用が浸透しつつある。一方で、アジアの新興エアライン等においては、自身でメンテナンスをするノウハウがなく、MRO について全面的に OEM メーカーに依存せざるを得ないため、PMA を採用しないケースが多い。

PMA 市場については、PMA 業者の国際会議である「Gorham PMA/DER Conference」¹⁶等で活発に今後の市場規模等が議論されているが、

- ・PMA の市場規模は 2013 年時点で 5 億\$であり、航空機リペアパーツ市場の 1.7%程度(2013 年時点)の市場浸透率に留まっている。
- ・リース機材が約 5 割に達する中、リース事業者のニーズに対応することが市場浸透率を上昇させる際の課題。

とされている(2014 Gorham PMA/DER Conference 参照)。

iii)エンジンメーカー側の PMA に対する対応

OEM メーカー側の対応は大きく2つである。

・整備の包括契約

OEM は、飛行時間当たりの整備単価を設定し、飛行時間に応じた整備費用とする PBTH(Power by the Hour)や FHA(Flight Hourly Agreement)といった長期のメンテナンスパッケージを導入している。、エアラインとしては少々整備費用が高価であっても、OEM の純正部品を用いることで製品の信頼性を維持することができ、また、年間の整備コストを定額にできるため、こうしたメンテナンス契約が活用されている。¹⁷

・On Site Support/On Site Ware House

OEM は、通常エアラインが所有することとなる整備用部品を OEM が所有しながら、エアラインの倉庫

¹⁵ 主に航空機国際共同開発促進基金レポート「航空エンジンの整備に関する現状と動向」等による

¹⁶ DER: FAA-designated engineering representative は、航空機の改造・修理を行う際のデータに対する承認を行う権限を FAA より与えられているエンジニア

¹⁷ 主に(公財)航空機国際共同開発促進基金「民間エンジンと MRO ビジネス」(2013)による

に保管する形態をとることで、OEM 部品の使用を促している。On Site Support/On Site Ware House 方式と呼ばれ、エアラインにとっては、整備用部品の在庫が不要となると同時に、必要に応じて直ちに部品を使用することができ、また、使用に応じた精算とすることができるため、自社で部品を保管する場合と比べて、大幅なコスト削減が可能となる。¹⁸

¹⁸ 主に航空機国際共同開発促進基金レポート「航空エンジンの整備に関する現状と動向」による

第Ⅱ章 産業クラスター概念と航空機産業発展についての意義

航空機産業では、1機300万点と言われる膨大な部品を製造・組み立て等すべく、完成メーカーを頂点とした巨大なサプライチェーンが形成されている。そのサプライチェーンにおいて核となっているのが、本邦においては重工業メーカーである。一部の重工業メーカーでは、協力メーカー群等が地理的に集積し、産業クラスター化することにより、効率的な生産体制を整備する取り組みが行われており、政府・自治体等もその支援体制を整備している事例もある。本章では、産業クラスターとは何かを概説するとともに、その発展過程やクラスター形成の効果等について述べる。

1. 産業クラスターとは

(1) 産業クラスターにまつわる各種理論とその解釈

産業クラスターについては、Marshall(1890)がその概念を提唱して以来、多くの研究がなされ、様々な解釈が加えられてきた。一般には、Porter(1998)による定義が広く知られていると思われるが、過去に打ち出されてきた産業クラスターの理論について整理すると、産業クラスターとは①ある特定の分野に属し、相互に関連する企業と機関が地理的に近接した集団¹⁹で、②クラスターに属する組織が競争しつつ協調しており²⁰、③連携のシナジー効果が発揮されている状態²¹のことを指すようである。

(2) 産業クラスターの構造

産業クラスターを形成する企業と機関は、共通性や補完性によって結ばれている。クラスターの地理的な広がりには、一都市から国全体、隣接した国々に及ぶ場合もあり、その形態も様々である。よく知られたクラスターの事例としては、海外では米西海岸のITクラスターであるシリコンバレー等が挙げられる。

航空機産業の既存クラスターとして有名なのは、米ワシントン州の航空宇宙クラスター、仏ミディーピレネー州およびアキテーヌ州のアエロスペースバレー等が挙げられる²²。前者はボーイングを核に約1,250社、後者はエアバスを核に約1,600社がクラスターを形成²³しており、それぞれ完成機メーカーである同社が主導する形で、各組織の有機的連携に貢献している。また、MRO(整備、修理、オーバーホール)事業も含めると、ドイツのハンブルクが強固な航空機クラスターの代表事例のひとつである。

19 出典: Marshall(1890)、Weber(1909)、Krugman(1991)、Piore and Sabel(1984)等

20 出典: Saxenian(1994)、Porter(1998)、Breschi and Malerba(1997)

21 出典: Ansoff(1967)、Coleman(1988)、Carlsson and Jacobsson(1997)

22 出典: 日本政策投資銀行「航空機関連産業の課題と将来戦略集積形成の可能性に関する調査」(2010)

23 出典: 東海産業競争力協議会作業部会「東海地域の戦略産業の現状」(2013)

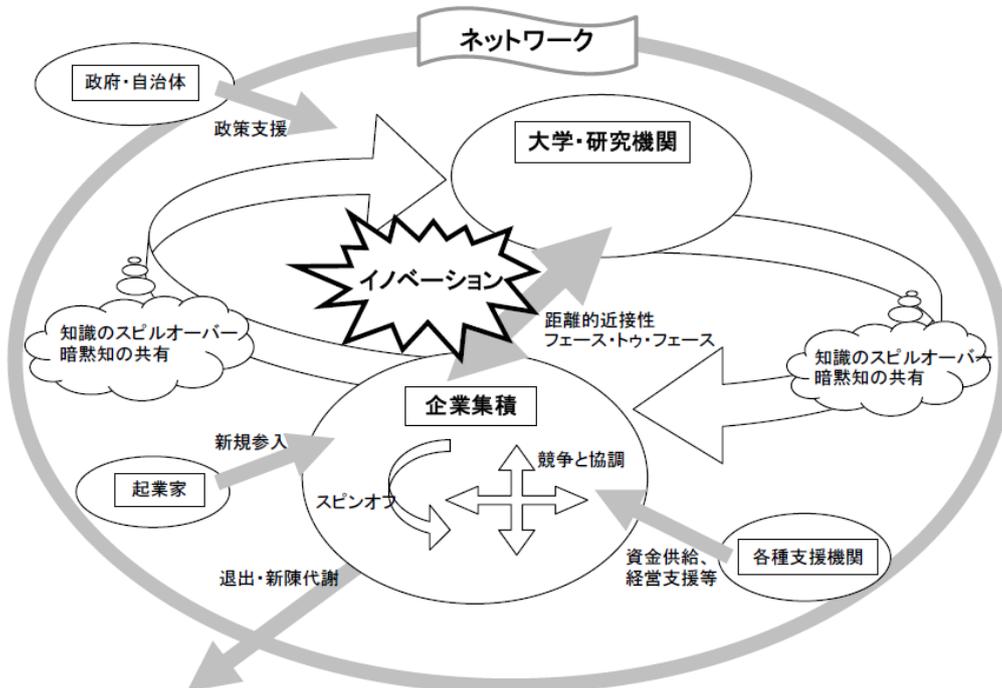
2. 産業クラスターと産業集積の違い

(1) 特徴

「産業クラスター」と類似の概念として、「産業集積」が挙げられるが、前者は単純な企業等の集積にとどまらず、下記のような特徴を有するとされている。

- 企業だけでなく大学、研究機関、ネットワーク支援機関等、関連した多様な組織や機関が広く含まれている。
- 上記の多様な機関の間に多層的なネットワークが存在し、研究開発、事業化、販売等あらゆる局面で相互作用を通じたシナジー効果をもたらしている。
- クラスタを構成する組織間には協調関係とともに競争関係が存在し、この競争がイノベーションを創出する原動力の一つとなっている。
- クラスタ内部での知識のスピルオーバー²⁴、face to face による暗黙知の共有・活用を通じてイノベーションが創り出されている。

図表 II-1 クラスタの概念図

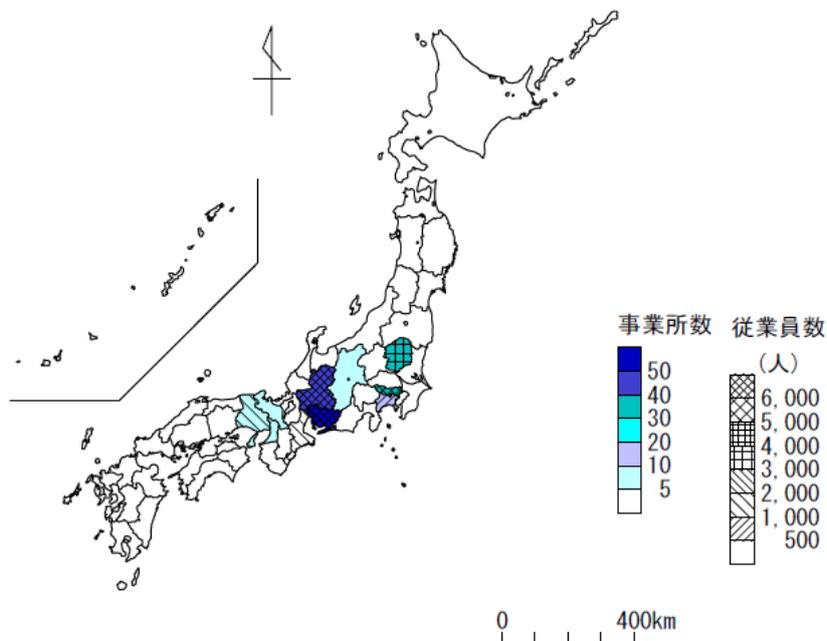


(出典：内閣府「世界経済の潮流 2004 年秋」)

²⁴ 「知識のスピルオーバー」とは、特定の企業によって行われた研究開発投資、あるいは技術革新の成果が、そのコストを負担しなかった企業にも波及することである(中小企業庁、2013)。

まず、日本国内における航空機関連産業の集積についてみると、戦前から大手重工系メーカーの工場が集積してきた愛知県、岐阜県などの中部圏での集積が顕著である。

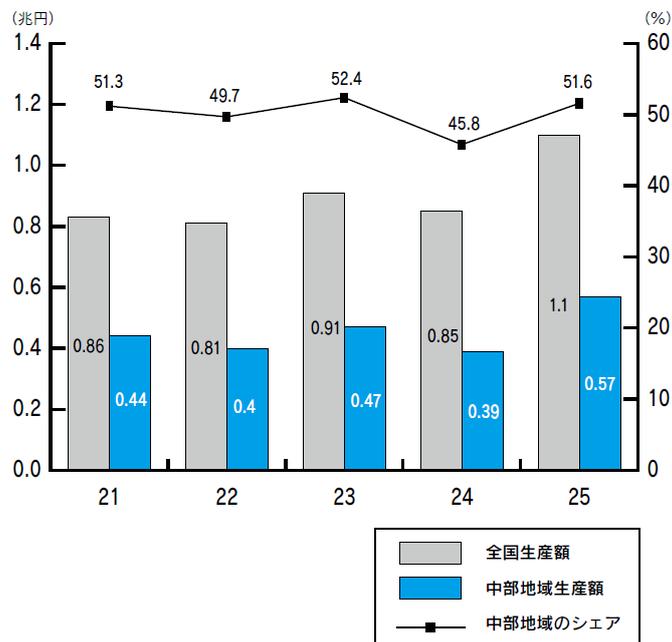
図表Ⅱ-2 その他航空機部品・補助装置製造業事業所と従業員の分布(2007年)



(出典：(一財)機械振興協会経済研究所「機械経済研究」)

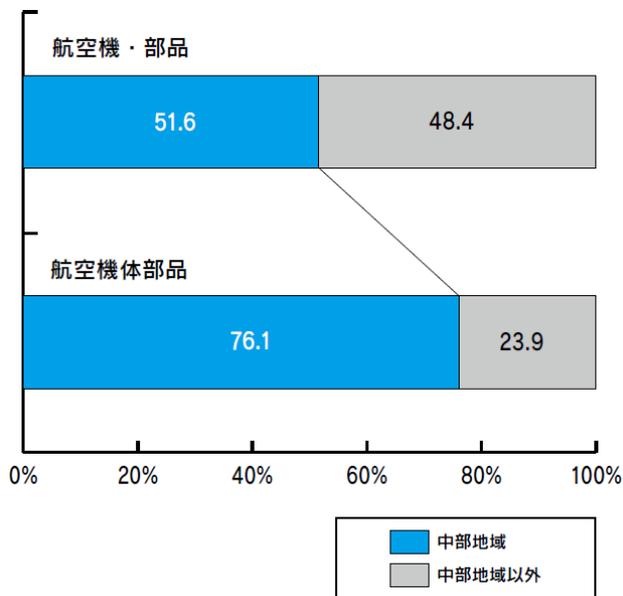
航空機・部品生産額の全国シェアをみると、中部地域は50%前後で推移しており、2013年は51.6%となっている。さらに航空機体部品のみでは76.1%と中部地域が国内随一の航空宇宙産業の集積地となっている(図表Ⅱ-3、図表Ⅱ-4)。また、FHIやIHIが立地し、サプライヤーが多数集積する関東圏(東京都、神奈川県、栃木県)、島津製作所や新明和が立地する関西圏(大阪府、兵庫県、京都府)でも一定の集積があることがわかる。加えて、航空機関連計器類を製造する多摩川精機が立地する長野県や、MHIの分工場が立地する長崎県での集積があることも明らかになった(図表Ⅱ-5)。

図表Ⅱ-3 航空機・部品²⁵生産額の推移



(出典:中部経済産業局「東海北陸経済情報年報」(2014年版))

図表Ⅱ-4 航空機・部品及び航空機体部品²⁶生産額の地域別割合(2013年)

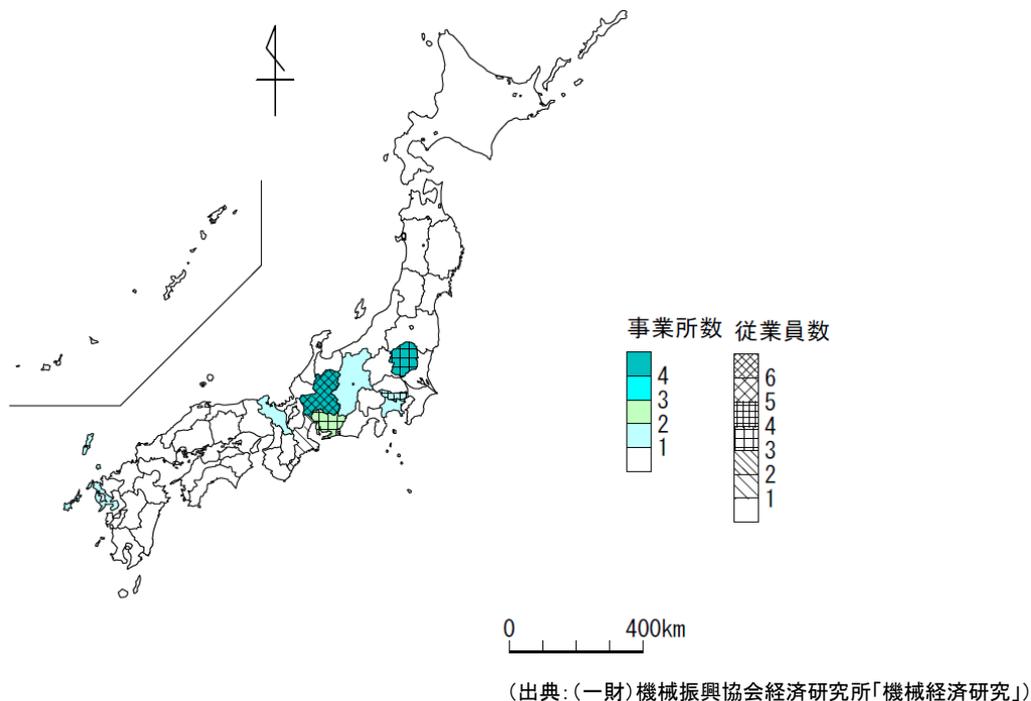


(出典:中部経済産業局「東海北陸経済情報年報」(2014年版))

25 航空機・部品:航空機、機体部品・付属装置、発動機、補機及び航空計器・操縦訓練用設備

26 航空機体部品:機体を構成する部品・付属品(主翼・尾翼、胴体、燃料タンクエンジン支持、ナセル等)。プロペラ・回転翼を含む。

図表Ⅱ-5 都道府県別の航空機産業の特化係数²⁷分布(2007年)



Porter(1998)は、クラスターの構成要素を確認するにあたり下記のチェック項目を挙げている。

- ① 大企業や類似企業が集中している状況を確認し、それから企業や機関の垂直的な連鎖の上流と下流を見る。
- ② 水平方向を見て、同じ流通チャネルを使っていたり、補完的な製品やサービスを生み出している産業を確認する。
- ③ 似通った専門的な投入資源や技術を使っているなど、供給側のつながりに基づいた水平的な産業のつながりも確認する。
- ④ クラスターに属する産業や企業が確認できたら、そこに専門的なスキル、技術、資本、インフラを提供している機関や、クラスター参加者が所属する団体を分離する。
- ⑤ クラスター参加者に相当の影響を与える政府その他の監督機関を探す。

²⁷ 地域経済学における集積度の指標として特化係数 (Location Quotient: LQ) がある。この場合、LQ が 1 を超えれば集積度が高く、1 を下回れば集積度は低いといえる。LQ は次式より得られる。データは「工業統計」を使用した。

$$LQ_{ir} = \frac{E_{ir} / E_r}{E_{in} / E_n}$$

E_{ir} : 地域 r における産業部門 i の就業者数 E_r : 地域 r における総就業者数

E_{in} : 全国レベルにおける産業部門 i の就業者数 E_n : 全国レベルにおける総就業者数

3. 産業クラスターの発展段階

また、産業クラスターの形態は多岐にわたるが、シリコンバレーをはじめとした代表的成功事例として脚光を浴びるクラスターには、発展段階や成功要因において、複数の共通要素がある。

- 形成初期

まず、クラスターは歴史的な偶然により自然発生し、成長していくケースが多い。近年はクラスター構想に基づき国が主導でクラスター形成に関与する場合もある。形成の初期において、既に地域集積があること、核となる企業が立地していること等が挙げられる。また、大学や研究機関の存在、地域的コミュニティ、良好な生活環境もクラスターの形成要素になり得る。クラスターに発展するためにはビジョナリーと呼ばれる地域のビジョンを描き指導していく存在が大きいと指摘される。

- 形成期

形成期においては、企業間、企業と大学との連携を進めるような調整機関、高レベルな研究開発力、大企業とベンチャー企業との連携等が強みを発揮する。技術者が大企業を退職して独立起業するスピノフが活発になり、さらにその企業からスピノフするというスピノフの連鎖等も観察される。独立起業した各々のベンチャー企業が競争しながら連携し、イノベーションを促進していく状況がみられる。

- 発展、安定成長期

クラスターが発展し、安定的に成長する時期においては、独立した会社が次々に成功することでIPO（新規株式公開）等により大きな利潤を得ることができ、新たな雇用を創出し、クラスターの他企業に影響を与えつつ地域全体が発展していく。急成長するベンチャー企業の輩出において、ベンチャー・キャピタルが重要な役割を果たしている。

これらの連鎖が起こることでクラスターは成長する。成功例として挙げられるクラスターでは、こうした連鎖が次々に起こり、さらにダイナミックな経済発展へと繋がる。また、国際的にもクラスターの知名度が高くなることで、国際的な事業展開が行われ、さらに国境を越えて優秀な人材等の経営資源が集まってくるようになる。クラスターが発展するなかで、一つの産業から別の産業へと集積効果が波及していく場合もある。

ここで一つ留意すべき点としてクラスターの形成、発展には長期間を要するということがある。既存の産業集積を基にして発展したようなクラスターでも数十年を要する事例が多く、政策的に新たにクラスターを形成するには長期的な視点が必要である。

現時点における日本の航空機関連産業は、生産額で比較してみると、日本の市場規模は1兆数千億円で、米国航空機産業の14分の1、国内自動車産業の25分の1と極めて小さい。また、世界最大の米国でさえも、同産業の市場は20兆円規模と、日本の自動車産業の約半分であり、産業そのものの規模がまだ小さい状況にある。

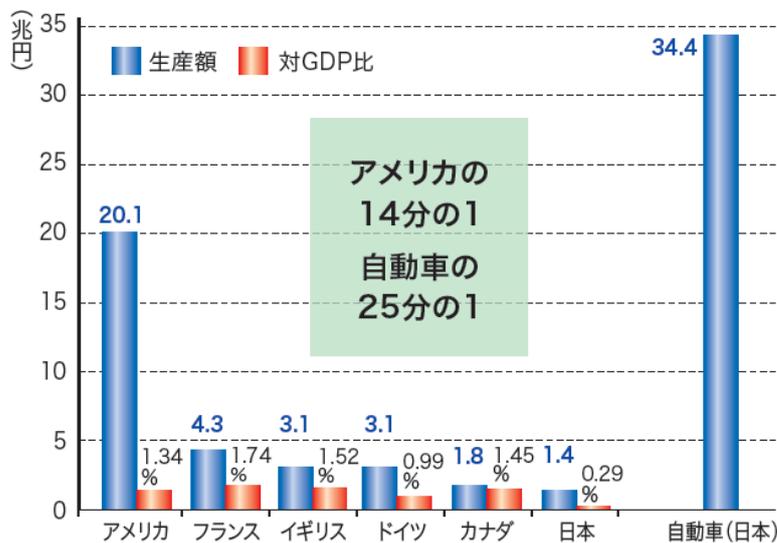
このことから、我が国の航空機関連産業は、上記3つのフェーズのうち形成初期の位置づけにあり、米、仏等の航空機製造先進国と比較して、まだまだ発展途上の段階にあるといえる。

図表 II-6 海外の代表的な航空機クラスターと本邦中部地域におけるクラスターとの比較

	ワシントン州 シアトル周辺 	ミディピレネー及び アキテーヌ地域 	中部地域 
中核都市	シアトル ■面積：369.2km ² ■人口：約579千人	トゥールーズ ■面積：118.3km ² ■人口：約438千人	名古屋市 ■面積：326.43km ² ■人口：約2,268千人
組織	ワシントン州航空宇宙未来連盟(AFAWA)、北西太平洋航空宇宙連盟(PNAA)、グレータースポークン地域航空宇宙コンソーシアム、Washington Aerospace partnership	エアロスペース・バレー協会	中部航空宇宙産業技術センター
産業集積	ボーイングを核に約1,250社がクラスターを形成。	航空機に係る全ての産業が集積。エアバス社を始め1,600社でクラスターを構成。	三菱重工、川崎重工、富士重工の3機体メーカー及び中小サプライヤー
従業員数	約128千人	約120千人	約15千人
人材育成	ワシントン航空宇宙トレーニング研究センター(WATR) 24の COMMUNITY COLLEGE The Center of Excellence (COE)	エンジニア養成高等教育機関(グランゼコール) (ISAE, ENAC) Montaudran Aerospace Campus THE AIRBUS LYCEE(高校)	中日本航空専門学校
国際協力	パリ(仏)・ドバイ(アラブ首長国連邦)のエアショー出展、海外都市訪問、年次会議・イベント参加など。	ハンブルク・アビエーション(独)、エアロ・モントリオール(加)と提携	なし
国際商談会	エアロスペース&ディフェンスサプライヤーサミット・シアトル	エアロマート・トゥールーズ	エアロマート名古屋

(出典：中部経済産業局東海産業競争力協議会資料より作成)

図表 II-7 主要国の航空宇宙産業生産額と対GDP比率(2009年)



(出典：(一社)日本航空宇宙工業会「平成23年度版日本の航空宇宙工業」より作成)

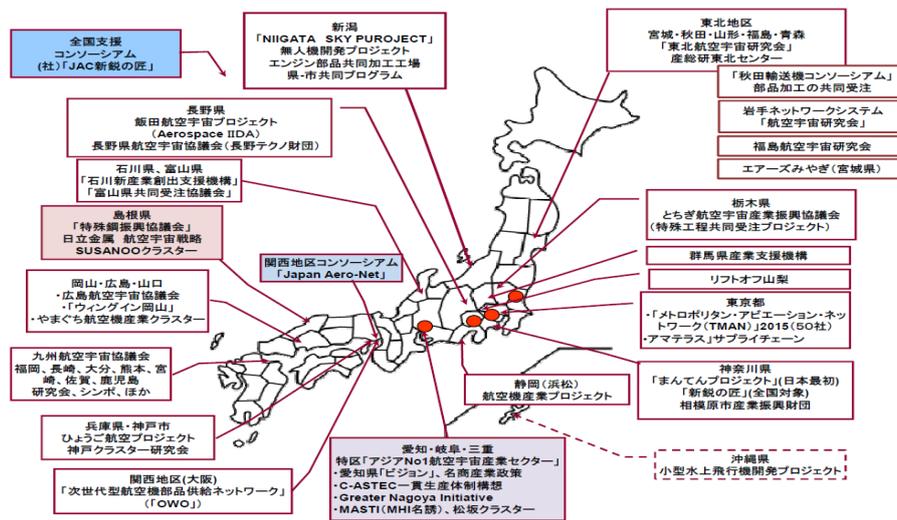
4. 産業クラスターの効果

(1) 産業クラスターの効果について

政府は集積のメリットが存在するという仮定の下でクラスター政策を推し進めている。政策の根拠とされているのが、産業クラスターの主な効果である①生産性の向上と②イノベーションの誘発である。産業集積による生産性向上の効果については、「外部経済」として Marshall(1890)らによって古くから認識されてきた。また、産業クラスターにおいては、専門性の高い資源投入、情報アクセス、補完性、各種機関や公共財へのアクセス等により、生産性が向上するとされている²⁸。また、産業クラスターがイノベーションを誘発するという効果を説明している理論によると²⁹、クラスター内では、新しい顧客ニーズの把握や新製品等の実験が容易になり、競争による刺激等の効果があるとのことである³⁰。

では、実際のところ集積の効果はどの程度あるのだろうか。集積の効果がどのように働いているか測定した実証分析の結果³¹によれば、多くの集積産業で企業の集積が労働生産性を上昇させる効果があることが確認されている。中でも、集積の効果は、取引先との近接性以外による効果がより大きく、集積のメリットは取引費用の節約のような物理的効果より、知識波及、技術移転、労働者の供給等のソフトな要因によってより生産性が向上することである。このことから、単なる集積にとどまらず、集積企業同士の知識波及、技術移転、労働者の供給を促進させるためのクラスター政策が有効であるといえる。実際に、航空機関連産業においてクラスター政策を実施している組織体は中部地方を始め全国各地に点在しており、ソフト面からの生産性向上に資する取り組みも実施している。

図表 II-8 航空機関連産業に対する主な取り組み等の事例(2015年12月現在)



(出典:(株)超音速機事業企画資料)

28 出典:Marshall(1890)、Weber(1909)、Carlsson and Jacobsson(1997)

29 出典:Saxenian(1994)、Camagni(1991)、Porter(1990)、藤田・久武(1999)

30 クラスターとイノベーションとの関連については、まだ理論的に説明されていない部分が多い。

31 出典:「研究レポート No.383 企業集積の効果」(2012)富士通総研 齊藤有希子

図表Ⅱ-9 航空機関連産業に対する主な取り組み等の東海地域における事例

地方自治体	静岡市	・企業立地促進事業補助金 ・新商品等開発事業補助金
	浜松市	・新産業創出事業費補助金・・・航空機産業等成長6分野について、研究開発費等を補助
	名古屋市	・販路開拓支援 ... 航空宇宙産業販路開拓支援事業、航空宇宙産業中小企業クラスター化支援事業 ・設備投資促進 ... 名古屋市航空宇宙産業設備投資促進補助金 ・人材育成 ... 子ども航空宇宙教室、宇宙一日出前授業 ・普及啓発 ... 航空宇宙シンポジウム
経済界	中部経済連合会	・航空宇宙産業の振興に関する調査研究・低減及び推進活動の展開を目的に「航空宇宙特別委員会」を設置
	名古屋商工会議所	・海外のエアショー、クラスター・ヘミッション団を派遣
	中部航空宇宙産業技術センター(C-ASTEC)	・地域の航空宇宙産業クラスターを形成拡大するため、研究施設・技術等に関する調査研究、技術・経営アドバイザー派遣等による技術支援、航空機開発関連試験評価人材養成講座等の人材育成事業、展示会出展支援、国内外クラスター等との連携・交流等を実施
	三重県の航空宇宙産業を考える会	・新規参入に関する情報収集・情報交換、人脈づくりなどを行う場の提供
	(公財)南信州・飯田産業センター	・3D-CAD設計技術者育成講座、国内外販路開拓支援、国・長野県の補助金を活用した共同工場整備・運用
	浜松商工会議所	・宇宙航空技術利活用研究会(SAT研)、国内外販路開拓支援
大学・研究機関等	名古屋大学	・航空宇宙教育プログラム、航空機開発グローバルプロジェクトリーダー教育、ナショナルコンポジットセンター
	名古屋工業大学	・3D-CAD設計技術者育成講座
	中日本航空専門学校	・航空整備科、航空生産科、エアポートサービス科を設置。
	JAXA名古屋空港飛行研究拠点	・実験用航空機「飛翔」を用いた研究開発
	岐阜県研究開発財団	・航空機産業マッチングセミナーの開催
	ぎふ技術革新センター	・航空機部材研究会の開催
地方自治体	静岡市	・企業立地促進事業補助金 ・新商品等開発事業補助金
	浜松市	・新産業創出事業費補助金・・・航空機産業等成長6分野について、研究開発費等を補助
	名古屋市	・販路開拓支援 ... 航空宇宙産業販路開拓支援事業、航空宇宙産業中小企業クラスター化支援事業 ・設備投資促進 ... 名古屋市航空宇宙産業設備投資促進補助金 ・人材育成 ... 子ども航空宇宙教室、宇宙一日出前授業 ・普及啓発 ... 航空宇宙シンポジウム
経済界	中部経済連合会	・航空宇宙産業の振興に関する調査研究・低減及び推進活動の展開を目的に「航空宇宙特別委員会」を設置
	名古屋商工会議所	・海外のエアショー、クラスター・ヘミッション団を派遣
	中部航空宇宙産業技術センター(C-ASTEC)	・地域の航空宇宙産業クラスターを形成拡大するため、研究施設・技術等に関する調査研究、技術・経営アドバイザー派遣等による技術支援、航空機開発関連試験評価人材養成講座等の人材育成事業、展示会出展支援、国内外クラスター等との連携・交流等を実施
	三重県の航空宇宙産業を考える会	・新規参入に関する情報収集・情報交換、人脈づくりなどを行う場の提供
	(公財)南信州・飯田産業センター	・3D-CAD設計技術者育成講座、国内外販路開拓支援、国・長野県の補助金を活用した共同工場整備・運用
	浜松商工会議所	・宇宙航空技術利活用研究会(SAT研)、国内外販路開拓支援
大学・研究機関等	名古屋大学	・航空宇宙教育プログラム、航空機開発グローバルプロジェクトリーダー教育、ナショナルコンポジットセンター
	名古屋工業大学	・3D-CAD設計技術者育成講座
	中日本航空専門学校	・航空整備科、航空生産科、エアポートサービス科を設置。
	JAXA名古屋空港飛行研究拠点	・実験用航空機「飛翔」を用いた研究開発
	岐阜県研究開発財団	・航空機産業マッチングセミナーの開催
	ぎふ技術革新センター	・航空機部材研究会の開催

(出典：中部経済産業局東海産業競争力協議会資料より作成)

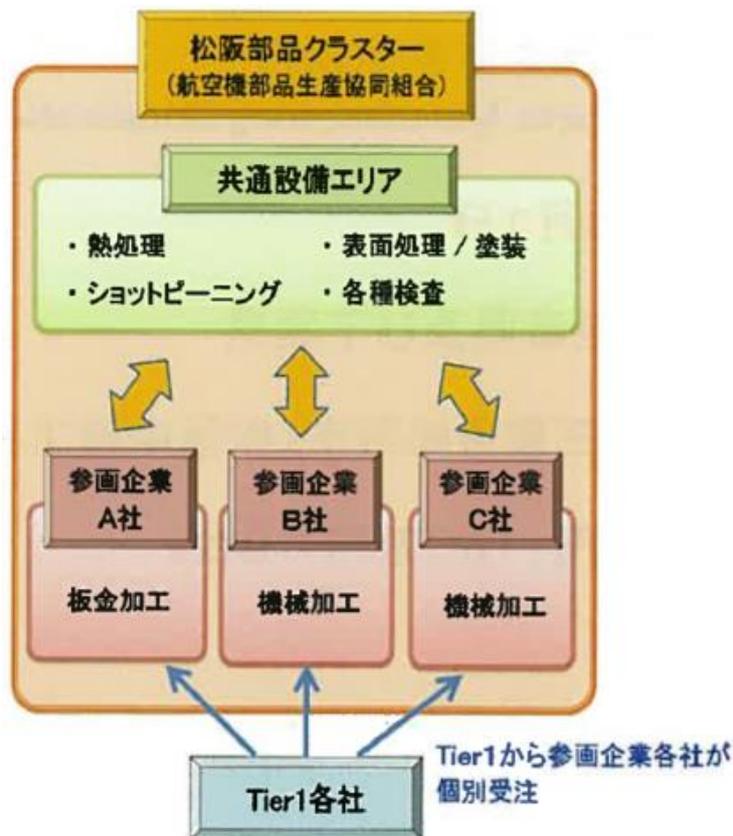
5. 事例紹介

- 松阪部品クラスター

航空機機体メーカー（Tier1）各社は、機体関連部品の製造において、一部の工程を協力企業である中小企業に委託しているが、特殊工程（ショットピーニング、熱処理、表面処理・塗装等）については主に Tier1 各社の設備で行われており、例えば①Tier1から材料を払い出し→②協力企業で加工→③Tier1で熱処理→④協力企業で二次加工→⑤Tier1で表面処理・塗装、最終検査等といったように、いわゆる「鋸型」の複雑な発注形態となっていることが多い。

今後の民間航空機需要増大に伴い機体関連部品の大幅な増産が見込まれる中、リードタイム短縮など生産性向上を目的に、各協力企業が特殊工程を含む複数工程を取り纏めて受注する、一貫生産方式へ移行しつつあるが、更に進んで、複数の協力企業が集まり産業クラスターの形成を目指す動きも具体化している。松阪地区においては、中小企業 10 社（2016 年 7 月に松阪 APM 加入予定）が「航空機部品生産協同組合」（松阪部品クラスター）を設立し、部品加工、特殊工程、最終検査までを行い、完成部品として Tier1 に納入する計画である。

図表 II-10 松阪部品クラスターの構造



(出典: MHI)

図表Ⅱ-11 参画企業及び担当作業

担当作業	参画企業名
機械加工	(株)加藤製作所 (株)小坂鉄工所 平和産業(株)
板金加工	(株)水野鉄工所 (株)小池製作所 (株)松原製作所
特殊工程他	真和工業(株) 東洋精鋼(株) (株)和田製作所 松阪 APM(株) (2016年7月加入予定)

(出典:航空機部品生産協同組合)

松阪部品クラスターの参加企業の一社である平和産業は、千葉県船橋市に本社・主力工場を有し、宇宙、航空機、電車、自動車、発電設備等の部品製造を行う機械加工メーカーである。中でも、航空機、航空機エンジン部品は幅広く手がけており、我が国航空機産業を下支えするコア企業の一社である。

当行は同社が松阪部品クラスター内で機械加工を行うための設備投資資金を2015年12月に融資した。

- ・ 飯田航空宇宙プロジェクト／エアロスペース飯田

「飯田航空宇宙プロジェクト」は、長野県飯田地域における新産業育成を目的に、公益財団法人南信州・飯田産業センターが事務局となり、既存の精密加工・電機電子関連企業を対象として2006年に開始した。このプロジェクトには、地域内の中小企業を中心に38社(2016年2月時点)が参画しており、航空機部品の共同受注体制の構築や展示会出展等を通じた販路開拓支援、技術力向上のための人材育成に取り組んでいる。

同地域は、かつて地場産業としての養蚕・生糸や水引が盛んであったが、時代とともに精密機械加工業や電機電子産業へと変化してきた。現在、飯田下伊那地域には120社超の金属加工企業が存在し、全国的に見ても希少な精密機械工業密集地域であると言われている。製造業を取り巻く環境変化に応じ、同地域では、中小企業の生き残りとして国内に製造業を残すため、企業間の協力風土の醸成と人材育成をベースに、地域への次世代産業の集積に取り組んでいる。当該プロジェクトは、その取り組みの一つに位置づけられている。

同プロジェクト内にはそれぞれの企業の特徴を生かした活動を行う場として、「共同受注推進」、「品質保証システム構築」、「ソフト開発」、「難削・難加工」の4つのワーキングチームが存在し、それぞれの課題解決のための研究会などの活動を行っている。

「エアロスペース飯田」は、「飯田航空宇宙プロジェクト」の共同受注推進を目的としたワーキング

チームで、広域連携も視野に入れつつ、地域における一貫受注・一貫生産体制を整備している。これまで多摩川精機をはじめ、ボーイング製民間航空機の機体部品など、国内外の機体メーカー等から機械加工部品を受注・生産する等の実績を上げている。2016年2月現在は10社が加入している。

飯田航空宇宙プロジェクトは、航空機産業の知見、ノウハウを有する企業である多摩川精機が中核となり、取りまとめを行っている。同社が有する国内外のネットワークを生かしながら受注を獲得し、域内企業への引き込みを実施したり、人材や研究機会の提供を行うことで航空機業界への参入ノウハウを共有したりすることにより、同地域での航空機クラスター形成において大きな役割を果たしている。

航空宇宙産業への参入障壁の一つである特殊な産業構造の理解、生産・品質保証体制の確立についても、「飯田航空宇宙プロジェクト」におけるプロジェクト会議およびワーキングチームの活動が、プロジェクト内での品質管理体制（JISQ9100 取得企業 17 社、ISO9001 認証取得済企業 24 社など）やリレー方式生産体制（川下企業間との取引時の脱のこぎり発注体制構築）の実現に寄与している。また、技術面のサポートにとどまらず、他方では事務局による人材確保・育成、国内外新規取引先開拓、新規企業参画促進等の活動も行っている。

2015年6月には、国や県からの補助金等を活用し、地域内の不足技術であった金属部品の熱処理、表面処理、非破壊検査工程等の特殊工程設備が導入された共同工場が完成した。これら一連の取り組みにより、一貫受注体制の更なる進展およびプロジェクトのより一層の国際競争力強化が期待される。

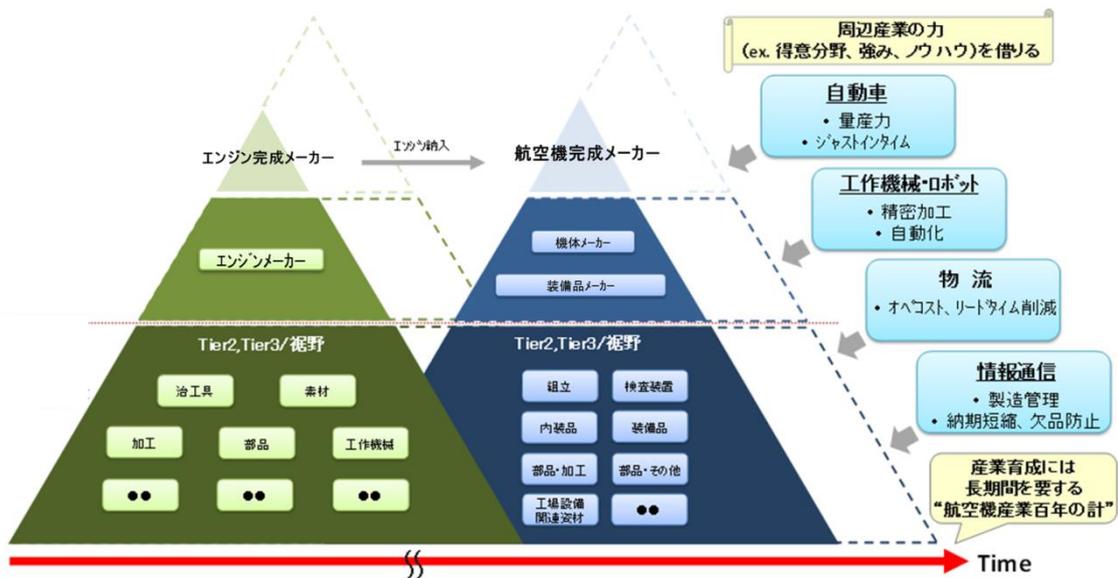
<コラム> 航空機クラスターの重要要素

①航空機製造業界の構造と周辺産業の貢献可能性

クラスターが発展する過程において、一つの産業から別の産業へと集積効果が波及していく場合もある。また、クラスターの知名度向上により国際的な事業展開が行われることで、さらに国境を越えて優秀な人材等の経営資源が集まってくるようになる。

一方で、クラスターの形成、発展には長期間を要する。裾野をはじめ業界全体の規模拡大が関連製造業の育成にとって重要であり、政策的に新たにクラスターを形成するには長期的視点が必要である。

図表 コラム-1 航空機産業と周辺産業の関わり



(出典：日本公庫総研、中部経済産業局、近畿経済産業局資料等より当行作成)

②航空機製造クラスター成功のために

航空機に使用する素材・部品が採用されるためには、製品の精度の高さ、いわゆる「航空品感」の達成が大前提としてあり、さらに成功するためのポイントとなる要素は多く存在する(図表 コラム-2)。本項では、航空機製造産業に携わる関係各位からのヒアリングを通して得られた、特に重要と思われるエッセンスや気づきを紹介する。

- プロジェクトを先導するリーダーシップとコーディネート力

リーダーシップについては、クラスター全体を先導するリーダーシップ、企業内でプロジェクトを先導するリーダーシップの双方が意思決定や取り組みのスピード感に大きく影響してくる。また、クラスターを組成する場合、多くの関係先と連携してプロジェクトを進める必要があることから、コーディネート力も重要な要素となる。

- 明確なビジョンとコミットメント

航空機クラスター参入の際、各社は明確なビジョンを持って参画する必要がある。脱落者を輩出していないクラスターでは、各社が参入する前段階において、自社が貢献可能な部分を明確にし、クラスターを主導するコア企業および連携先との入念なコミュニケーションを取ることにより、徹底したすり合わせを実施している。また、企業のコミットメント、特に経営者が航空機産業へ参入することについて腰を据えた取り組みが求められる。現に、参入した企業であっても、事業が成功したといえるようになるまでは少なくとも 10 年は要しており、認証取得への取り組み・コミットメントが重要で、新分野への参入には十分な準備期間が必要である。

- 汎用性あるコア技術の研鑽

航空機製造業のクラスターに参入して成功を収めている企業は、自動車等、航空機以外の産業向け製品に元々強みを有している企業が多い。時代の要請に合わせて、その時々で発展段階を迎える産業や取引相手のニーズは刻々と変化するものである。したがって、航空機に限らず、他の産業向けでも勝負できるよう、感度を高めつつ今あるコア技術を研鑽することが航空機産業での成功、ひいてはその先の取引につながっていくのである。

- 他者の力を借り、互いに学び合うカルチャーの定着

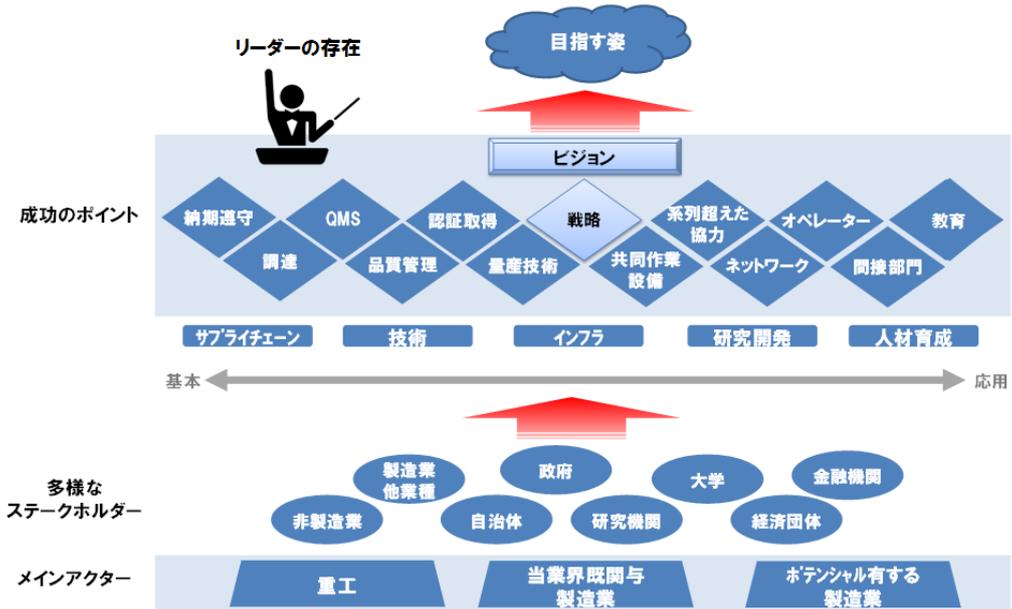
本項目は、社内外問わず言えることである。例えば、社外であれば、同じ志を有する企業が互いに不足している資源を持ち寄ることで、クラスター全体としての相乗効果が発揮できる。

他方、社内であれば、クロスファンクショナルなチームの組成や、プロジェクト推進に必要な複数スキルを有する人材を育成するための戦略的な人事の実践などが挙げられる。その結果、技術のわかる営業職、製造・連携をコーディネートできる技術者が育成されていき、そのような人材が後々リーダーとなり、プロジェクトの成功確度を高めることになる。他者の力を借り、互いに学び合うことが、結果として弱みを強みに変えるのである。

- 地域社会との価値観の共有

企業は、事業所の位置する地域において、人材をはじめとした様々なリソースを地域社会と共有して事業を行っており、地域社会の協力なくしてプロジェクトの成功は成し得ない。産業の振興は地域の発展、次世代の育成に直結しているものであり、企業は自らがハブとなって地域と二人三脚で取り組む心構えが必要である。

図表 コラム-2 航空機クラスター成功のポイント

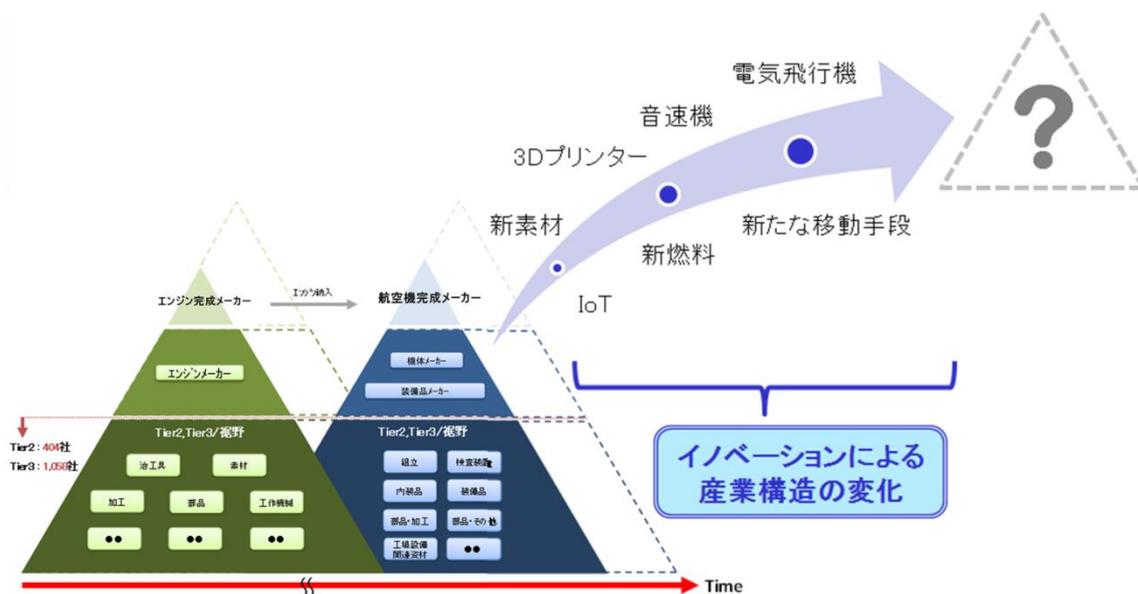


(出典: 当行作成)

③航空機製造業界の未来とそれを取り巻くもの

航空機製造に用いる材料、製造技術、製造工程、需要、燃料等の変化は、関連産業にとってリスクにもチャンスにもなり得る。既存の枠組みでは脅威と見なされていなかった企業が新規参入する可能性も考えられる。

図表 コラム-3 航空機産業の現状と今後の展開



(出典: 当行作成)

第Ⅲ章 本邦航空機産業の歩み

これまで述べてきた通り、機体及びエンジンの開発には、巨額の資金と長期に渡る研究開発が必要である。当行は、日本開発銀行時代から、こうした長期・大口資金の供給者として、長きにわたり航空機産業に対する長期融資を行ってきた。今でこそ MRJ を初めとする様々な広がりを見せる本邦航空機産業であるが、歴史の糸をたぐると、敗戦によりゼロスタートを余儀なくされた敗戦直後から、エンジンや機体の国際共同開発を通し、長い年月をかけ技術・ノウハウを蓄積し、少しずつ成長してきた産業であることに気づく。

本章では、本邦航空機産業の歩みを振り返り、その発展の歴史の中で当行が行ってきた取り組みについて整理・紹介する。

1. 黎明期(戦後)

日本の航空機技術は第二次世界大戦時には、世界のトップ集団の一角にあった。しかし、敗戦に伴って航空機の生産も研究も全面的に禁止され、日本の航空機産業は壊滅し、多くの優秀な技術者は自動車産業や鉄道産業など他の産業に職を求めていった。その間、世界の航空機はプロペラ機からジェット機へと技術的飛躍を遂げており、日本の航空機産業は欧米先進国から完全に出遅れた。

サンフランシスコ講和条約発効間近の1952年4月、政府の許可を条件として航空機の生産と研究が再開された。戦災を被ったままの建物と賠償指定を解除された老朽設備しか持たない日本の航空機産業は、朝鮮戦争の特需による在日米軍機のオーバーホールを皮切りに事業を再開した。戦後、欧米先進国はジェット機などの新エンジン機、大型の旅客機、超音速機を生み出すなど航空技術のレベルは戦前の航空技術に比して次元の異なる高いレベルに達していたのに対し、後発の日本は7年の遅れをとってのゼロからの再出発であった。

1954年に防衛庁(2007年1月より防衛省)が設立され、国内において防衛庁機のライセンス生産が始まった。このライセンス生産は、新しい工作技術や品質管理の手法が導入されるなど、米軍機修理で力を持ち直しつつあった日本の航空機産業の再建と発展に大きく役立った。

そうした再建に最も大きな影響を与えるとともに大きく貢献したのは航空自衛隊の発足である。戦闘機パイロットを育成するために1954年にビーチクラフト T-34 初等練習機のライセンス生産が始められ、翌1955年にはノースアメリカン F-86F 戦闘機とロッキード T-33A 練習機、続いてロッキード P2V-7 哨戒機(1959年)、F-104J 戦闘機(1961年)、F-4EJ 戦闘機(1969年)が、相次いでライセンス生産された。また、ヘリコプター分野では、ベル 47(1953年)、シコルスキー S-55(H-19)(1958年)、S-62(1962年)、バートル V-107(1962年)、シコルスキー S-61(HSS-2)(1963年)、ベル 204B(HU-1B)(1963年)などがライセンス生産された(図表Ⅲ-1)。

図表Ⅲ-1 日本でライセンス生産された主な航空機

平成26年12月現在

納入開始 年度	機種	種別	用途	技術提携先	製造会社	生産機数
昭和28	Bell 47	小型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	川崎重工業	236
29	B-45(T-34)	単発プロペラ機	初等練習機	Beech Aircraft (米)	富士重工業	162
31	F-86F	ジェット機	戦闘機	North American (米)	三菱重工業	300
31	T-33A	ジェット機	ジェット練習機	Lockheed (米)	川崎重工業	210
32	L-19	単発プロペラ機	連絡機	Cessna (米)	富士重工業	22
33	S-55(H-19)	大型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	46
34	P-2V-7	大型ピストン機	対潜哨戒機	Lockheed (米)	川崎重工業	48
37	F-104J/DJ	ジェット機	戦闘機	Lockheed (米)	三菱重工業	230
37	V-107	大型ヘリコプター	汎用	Boeing Helicopters (米)	川崎重工業	160
37	S-62	大型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	27
38	Bell 204B(HU-1B)	中型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	富士重工業	127
39	S-61(HSS-2)	大型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	184
43	Hughes 369(OH-6)	小型ヘリコプター	汎用	McDonnell Douglas (米)	川崎重工業	387
46	F-4EJ	ジェット機	戦闘機	McDonnell Douglas (米)	三菱重工業	140
48	UH-1H	中型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	富士重工業	133
56	F-15J/DJ	ジェット機	戦闘機	McDonnell Douglas (米)	三菱重工業	199
57	P-3C	大型ターボプロップ機	対潜哨戒機	Lockheed (米)	川崎重工業	98
58	AH-1S	中型ヘリコプター	対戦車用	Bell (米)	富士重工業	89
61	CH-47J/JA	大型ヘリコプター	汎用	Boeing Helicopters (米)	川崎重工業	89
平成 3	SH-60J/K UH-60J/JA	中型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	243
5	UH-1J	中型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	富士重工業	130
18	MCH/CH-101	中型ヘリコプター	汎用	Agusta Westland (伊)	川崎重工業	7
18	AH-64D	中型ヘリコプター	戦闘用	Boeing (米)	富士重工業	11

(出典:(一社)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

防衛庁機のライセンス生産を技術・生産基盤として進化してきた日本の航空機産業は、次第に機体の国産化へと進み、主要航空機メーカーの開発、生産体制は徐々に整備されていった。日本が独自に開発し量産化した最初の国産機は FHI が開発して航空自衛隊の中間練習機として採用された T-1 練習機であった(図表Ⅲ-2)。

図表Ⅲ-2 国産機

T-1 練習機



YS-11



(出典：(一社)日本航空宇宙工業会「日本の航空宇宙工業 50 年のあゆみ」(2014 年 3 月))

防衛需要だけでは、安定した需要は見込めるものの成長はあまり見込めないため、航空機産業の発展のためには、民間機市場への参入が必要不可欠との考えが広がる中で、T-1 練習機に続いて開発されたのが戦後初の民間輸送機である YS-11 である。

1957 年 5 月に設立された輸送機設計研究協会で基礎研究と基本設計が行われ、戦後初の民間旅客機である YS-11 の開発がスタートした。1959 年には航空機工業振興法に基づく半官半民の特殊法人として日本航空機製造が YS-11 の開発業務を引き継いだ。日本初の民間輸送機とあってその開発は難航続きであったが、その後、60 人乗りの YS-11 が政府、国内機体メーカー各社を含む 200 社によって開発され、1962 年に初飛行、1965 年に就航した。

しかし、競合機種が存在に加えて、国際市場で民間輸送機を販売していくのに必要なマーケティング能力、販売能力と営業組織の不備、価格競争力とアフターサービス体制などの未熟さのため、YS-11 事業は最終的に大きな赤字を生じる結果となり、事業経営が困難な状況となったため、1972 年に 182 機で生産を終了した(日本航空機製造は 1982 年に解散)。YS-11 の他には、MHI、FHI などが MU-2 や MU300 といった民間旅客機(ビジネス機)を開発するが、販売面で苦戦し、予定を下回る実績となり撤退している。

2. 発展期

(1) 日本航空機エンジン協会

戦後の日本の航空機産業は、主にライセンス生産や機体のオーバーホールなどで生産規模を徐々に伸ばしていくとともに、技術を習得していった。しかし、エンジンの開発には、長い年月と多額の資金を必要とし、特に民間機についてはその大型化と高性能化に伴うリスクの増大と相まって、単独民間企業の負担能力を超えるものとなっていた。そのため、開発リスクの分散、市場の確保・拡大等を狙い、民間機の国際共同開発が世界的な趨勢となりつつあった。

本邦では、空白の 7 年間の遅れを取り戻すべく、日本初の高バイパス比ターボファンエンジンとして、1971 年より通算 10 年以上をかけて FJR710 の研究開発が行われた。このプロジェクトは、旧通産省工業技術院、重工 3 社 (MHI、KHI、IHI) および東京大学等の産官学の研究開発能力を結集して総額 200 億円弱を投じて実施された。FJR710 をイギリスの国立ガスタービン研究所にて試験を行った際に、英国側が日本の技術を高く評価。これが後の RJ500 日英国際共同開発事業の土台となる。

1979 年 12 月、我が国最初の民間航空機用エンジン開発事業として、XJB エンジン開発計画が立ち上がった。これは、日本のジェットエンジンメーカー 3 社 (MHI、KHI、IHI) が、日本と英国ロールス・ロイス間で 50:50 の対等の条件のもとで、120~130 席クラスの民間航空機用の RJ500 ターボファンエンジンを国際共同開発しようというものであった。

これを受け、旧通産省指導のもと、V2500 プロジェクトの日本の航空機エンジン開発の中核体として、1981 年 10 月に、国内エンジンメーカー 3 社の出資により、日本航空機エンジン協会 (Japanese Aero Engines Corporation の英名の頭文字を通り、通称「JAEC」と呼ばれる。) が設立された。

その後、市場からのエンジン大型化の要請を受けて、共同開発メンバーの拡大が検討された。1981 年中ごろから、米国エンジンメーカーから本共同開発への参加希望が表明され、日・英は開発費負担の軽減、市場の拡大・確保等の利点からこれが望ましいと判断し、協議を開始した。その結果 1983 年 3 月、米プラット・アンド・ホイットニーと西独エム・ティー・ユー、伊フィアットの 3 社を加えた 5 ヶ国による国際共同開発事業として合意し共同事業契約を調印、1984 年 3 月に関係各国政府の承認取得を完了し、V2500 プロジェクトとして正式にスタートした。

V2500 の 5 ヶ国による国際共同開発プロジェクトは、合弁会社 IAE International Aero Engines AG を母体に運営管理されることとなった。なお、我が国 (JAEC) の参画比率は 23% である。

V2500 の国際共同開発の推進にあたり、航空機工業振興法も大きな役割を果たしている。もともと同法は、日本航空機製造が取り組む YS-11 の開発、生産、販売等を支援すべく作られた法律であり、1958 年 5 月 10 日に交付され、翌年施行されている。同法の目的は、当初第 1 条にて次のように規定されていた。

「この法律は、航空機等の国産化を促進するための措置を講ずることにより、航空機工業の振興を図り、あわせて産業の技術の向上及び国際収支の改善に寄与することを目的とする。」

しかし、YS-11 で苦戦を強いられたことから、本邦政府は日本における独自開発路線から、国際共同開発へと舵を切った。これにより、航空機工業振興法は、国際共同開発を推進すべく、1986 年 4 月 18 日に次の通り改正された。

「この法律は、航空機等の国際共同開発を促進するための措置等を講ずることにより、航空機工業の振興を図り、あわせて産業の技術の向上及び国際交流の進展に寄与することを目的とする。」

また、更に国際共同開発を推進すべく、政府は改正された同法律に基づき、1986 年 5 月 22 日に、航空機国際共同開発促進基金 (IADF) を設立した。この基金設立の趣旨と目的については、IADF のホームページ上にて次のように紹介されている。

「本基金の目的は、航空機工業振興法に基づく指定開発促進機関として、航空機等の国際共同開発を行う者等に対する助成を行い、加えて航空機等の国際共同開発を促進する事業等を行うことにより、航空機産業を振興するとともに、産業技術の向上及び国際交流の進展を図り、もって我が国産業の発展に寄与することにあります。

この趣旨と目的に沿って、我が国の民間航空機産業は最近では B787 並びに同機用エンジン GEnx、Trent1000、更には PW1100G-JM エンジンや 777X 並びに同機用エンジン GE9X の開発等、大規模な国際共同開発プロジェクトへ参加し国際的な評価を確立して来ており、今後とも積極的に国際共同開発プロジェクトに参画すると共に、技術開発のみならず販売、プロダクト・サポート等でも事業機会の拡大が期待されています。」

なお、当行は、航空機工業振興法の目的に合致すると認定された国際共同開発プロジェクトに対し、当行が現在の株式会社日本政策投資銀行となる以前の日本開発銀行時代である 1987 年から、同法に基づき約 30 年間、一年も絶やすこと無く制度融資を継続している。

①V2500

JAEC が最初に国際共同開発に取り組むことになったのが、V2500 エンジンである。V2500 エンジンは、米プラット・アンド・ホイットニー、英ロールス・ロイス、独エム・ティー・ユー、伊フィアット に、FJR と同じ日本のエンジンメーカー3 社 (IHI、KHI、MHI) が加わった、5 ヶ国 7 社による国際共同開発エンジンである。このエンジンプロジェクトは我が国としては初めて本格的に開発から参画する民間エンジンプロジェクトでもあり、日本側の参画比率は 23%であった。開発は 1984 年に開始され、当行は 1987 年に開発費として JAEC に対する初の融資を、通産省(当時)と協力しながら実行した。その後、1988 年にエンジンの型式承認取得、1989 年に運航を開始し、現在ではエアバス A320 およびボーイング MD90 用として世界中で使用されている。当行は、融資の継続に加え、今やベストセラーとなった V2500 エンジンに関する Sales Finance や整備事業(整備に必要となるスペアエンジンを、当行が子会社を設立して保有し、エンジンメーカーのオフバランス化に貢献している)など幅広く支援を実施している。

V2500 エンジンが搭載されるエアバス A320 シリーズは、ボーイング B737 シリーズとともに航空機市場全体の 5 割超を占める近・中距離向け商業旅客機機材である。

図表Ⅲ-3 機材・エンジンマトリクス

	主要航空機	主要エンジン		
		GE(米)	Rolls-Royce(英)	P&W(米)
リージェナルジェット	CRJ700	CF34-8,10	-	-
シングルアイル	B737 A320	CFM56	V2500	
ツインアイル(中型)	A330 B767	CF6	Trent700 RB211	PW4000
ツインアイル(大型)	A380 B747	GP7000 CF6	Trent900 RB211	GP7000 PW4000

(出典: 当行作成)

V2500 シリーズは 1989 年より商用運航開始(V2500-A1 型)。現在は、1992 年に V2500-A1 型の後継として商用運航開始された V2500-A5 型が市場の主流となっている。V2500 シリーズの累積販売台数は、2014 年 9 月末時点で 6,231 台にのぼる。

②CF34-8

V2500 の次に JAEC が開発に取り組んだエンジンが、小型民間輸送機用の CF34-8 である。地域航空網の発展と、乗客の利便を目的とした増便要請の高まりを背景に、小型ジェット機の需要が増加したことを受け、ゼネラル・エレクトリックは 70 人～100 人乗りクラスの民間航空機用に、推力 1 万 4 千ポンドの CF34-8 を開発。JAEC とゼネラル・エレクトリックは 1996 年に共同開発協定を締結することとなった。日本側は 30%の分担比率で参画することとなり、IHI 及び KHI が、エンジンの高圧圧縮機後段や LPT タービン等の高度な技術力が求められる部位に参画することになった。当行は、1996 年より

融資を実行し、CF34-8の研究開発等を支えた。

CF34-8を搭載した航空機は2001年から商用運航を開始し、ボンバルディア製のCRJ700/900/1000やエンブラエル製のERJ170/175に独占搭載され、70席クラス機のエンジンにおいてはほぼ市場を独占するヒットエンジンとなった。

③CF34-10

CF34-8に続き、3件目のエンジン開発となったのが、CF34-10である。航空機利用の需要増加とともに、航空機による輸送はハブ間に加えて、都市間を直接結ぶ輸送量が大幅に増加。その結果、都市間輸送に適した100席以下の航空機需要が急速に伸びることとなり、90席クラスの機体が積極開発されるようになった。この90席クラス機用にゼネラル・エレクトリックによって開発されたのがCF34-10であり、エンブラエルのERJ-190/195に搭載されることとなった。JAECは、CF34-10の国際共同開発に分担比率30%で参画することとなり、当行は前述CF34-8同様、融資による支援を行った。CF34-10の開発において、本邦メーカーは基本的にCF34-8で担当した部位と同一の部位を担当したが初期のコンセプト設計段階や機体とのインテグレーション作業等にも参画し、参加の幅を徐々に広げていった。

④CF34-10A

人口増加と経済の急速な発展に伴い、中国では飛躍的な拡大が予想された国内の航空需要を取り込むべく、1990年代頃から中国国防科学技術工業委員会管轄の中国航空工業第一集団が、国産リージョナルジェット機であるARJ21(Advanced Regional Jet 21st Century)の機材開発を進めていた(製造契約主体は中航商用飛機有限公司)。ARJ21には、CF34ファミリーのエンジンであるCF34-10Aが独占搭載されることが決定したことから、JAECはその開発に参画することとなった。

主要路線は西部大開発が進む中国西部地区と、ビジネスインフラ整備が進む沿岸部とを結ぶ中国国内であり、西部という高原地帯(低気圧)を飛行することから、エンジンの軽量化と高効率化が求められた。

CF34-10Aの開発において、本邦勢はシャフトを含む低圧タービンや高圧コンプレッサーの一部をIHI、ギアボックスをKHIが担当。本件開発では、各種の技術性を当行が独自に評価し、新技術関連の制度融資を行っている。

⑤B787用エンジン(GEnx及びTrent1000)

CF34シリーズの後にJAECが開発することとなったのが、B787用エンジンであるゼネラル・エレクトリック製のGEnx及びロールス・ロイス製のTrent1000である。

2001年にアメリカで発生した同時多発テロ以降、航空業界の冷え込みの影響などから、航空各社は速度よりも運航経費を抑えることに重点を置くようになった。そこで、速度よりも効率性を重視した機体として、ボーイングによりB787が開発されることとなった。B787は、B767及びB757の後継機種に当たるが、これらに対して直接運航費を15~20%抑制可能としたことが最大の特徴である。燃費低減

に最も寄与するのが、搭載エンジンとして決定した GEnx 及び Trent1000 である。何れのエンジンも、コンピュータ数値流体解析によるタービン翼の 3 次元設計の実現や、素材改良による軽量化等により、エンジンの高効率化を実現する計画であった。

JAEC は、2005 年に GEnx 及び Trent1000 の開発に参画することを決定し、何れも約 15% の分担比率で参加することになり、当行は融資によりこれを支えた。なお、開発事業参加者として、GEnx には MHI 及び IHI、Trent1000 には MHI 及び KHI が参画した。

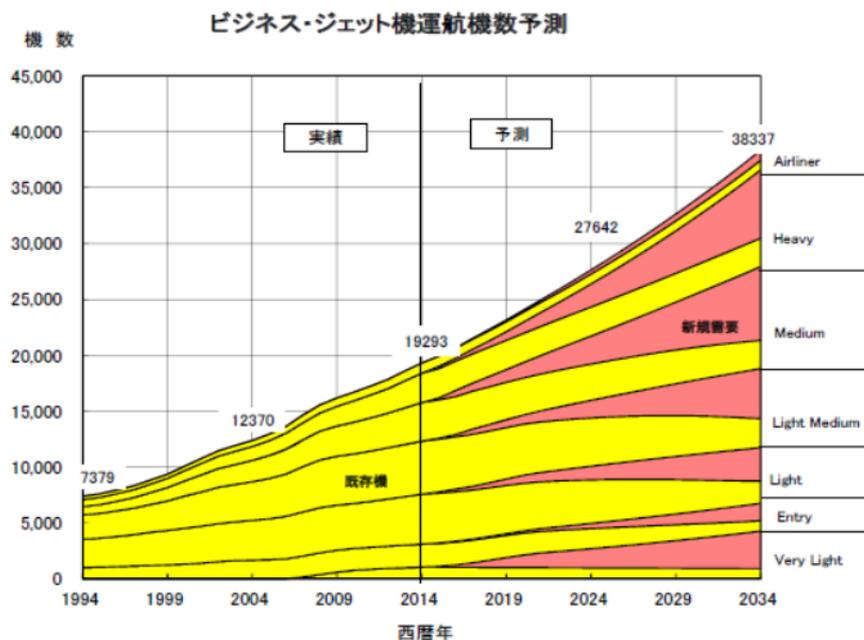
GEnx は、ファンブレードに複合材を活用する 2 軸タービンという点に特徴を有する。日本側は、IHI が低圧タービンモジュールや、高圧圧縮機翼の一部、MHI が燃焼器ケース等を担当し、特に 3 次元翼設計においては、IHI が得意とするコンピュータ数値流体解析技術が活用された。

また、Trent1000 は、ファンブレードに中空製のチタンを用いる 3 軸エンジンという点に特徴を有する。日本側は、KHI が中圧圧縮機モジュール、MHI が燃焼器モジュール等を担当するが、民間航空機エンジンの燃焼器をモジュール単位で開発するのは初めてであった。

⑥Passport20

JAEC は、V2500 を皮切りに、一般旅客機向けエンジンの国際共同開発に取り組んできた。その一方で、経済のグローバル化の進展に伴い、数人から十数人程度を定員とする小型の航空機(所謂、ビジネスジェット機)の市場も拡大しており、就航機数は 2014 年末時点の 19,293 機から、2034 年末には 38,337 機にまで拡大すると見込まれるなど、成長が著しい市場である。

図表Ⅲ-4 ビジネス・ジェット機運行機数予測



(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

図表Ⅲ-5 ビジネス・ジェット主要機体メーカー

社名	国	本社	概要
ボンバルディア	加	ケベック	ビジネスジェット首位、全距離用をカバレッジリアジェット(近距離)、チャレンジャー(中距離)、グローバル(長距離)の3ブランドを有する
ガルフストリーム	米	サバンナ(ジョージア)	軍用機で著名な米グラマン社が78年に民間機事業を外部へ売却し発足、ビジネスジェットでは中長距離に特化
エンブラエル	伯	サンパウロ	ビジネスジェットでは近中距離レンジをカバレッジフェノム(近距離)、レガシー(中距離)ブランドを展開
ダッソー・アビエシオン	仏	パリ	仏ダッソーグループ、軍需強い(ミラージュ戦闘機等)中長距離のビジネスジェットに特化(ファルコンシリーズ)
セスナ	米	レストン(バージニア)	軽飛行機トップメーカーの一つ(他はビーチクラフト社・パイパー社)。ビジネスジェットではサイテーション(近中距離)ブランドを展開
ホーカー・ビーチクラフト	米	ウィチタ(カンザス)	近距離をカバレッジ。06年にゴールドマンサックス傘下のPE等が英ホーカー航空事業を買収し発足するも、経営不振で12年7月に中国資本へ身売した

(出典: 当行作成)

このビジネスジェット市場の成長を捉まえるべく、JAEC は 2012 年に、ボンバルディアが開発した次世代ビジネスジェットである Global7000/8000 シリーズに独占搭載されるゼネラル・エレクトリック製の Passport20 の国際共同開発に参画。これにより、ビジネスジェット向けエンジンの開発にも参入している。

なお、ビジネスジェットとは、企業や個人が、公共交通としてではない用途(ゼネラル・アビエーション)を想定して設計・製造されているものを指し、例えば離島間旅客輸送などに用いられる公共交通としての小型機等とは異なる。

Global7000/8000 は、既存のシリーズ(Global5000/6000)に比べ大型であり、航続距離の長い機種の開発により商戦を優位にする(大型機は小型機に比べ単価が高いことに加え、小型・中型機に比べ景気変動の影響を受けにくい)ことを狙い開発された。この機体の大型化・航続距離の長期化というニーズに対応するエンジンとして、Passport20 が開発されることとなった。

JAEC は、Passport20 の開発プログラムに対し、分担比率 30%で参画し、低圧タービンモジュール、アクセサリ・ギアボックス等を担当することとなった。

Passport20 は、既存のビジネスジェット向けエンジン(BR710)に比べ、燃費効率を約 12%改善しているほか、競合エンジン(BR725)に比べても約 8%の燃費削減を実現している。このこと等に着目し、当行は、環境性能の高い製品の開発・製造を促進するための「低炭素投資促進融資制度」³²を活用し、開発資金の融資を JAEC 向けに行った。

ビジネスジェット機用のエンジン・ビジネスは、エアライン等が運行する中・大型機向けのエンジン・ビジネスと異なった特徴を持つ。メンテナンスの観点では、ビジネスジェットでは、一般的に運行者自身が機

32 出典:「エネルギー環境適合製品の開発及び製造を行う事業の促進に関する法律」に基づく制度融資

体・エンジンのメンテナンスをすることは稀で、機体・専門業者に一括発注する形態が一般的である。また、販売の観点では、エンジンの値引き販売が殆どなく、その分投資費用の回収が行いやすい。カスタマーサポートの観点では、極めて上質のサービスが求められ、これに対応するためにメーカーは世界中にカスタマーサポートネットワークを張り巡らせている。Passport20 プログラムに参画した当時の本邦航空機産業は、ビジネスジェットに対する知見がまだ浅く、プログラムを通し多くの知見獲得に繋がった。

⑦PW1100G-JM

エアバスの A320 シリーズ等に搭載された V2500 エンジンが 1988 年に型式認証を取得して以来、約 20 年近くが経過し、エアバスは A320 に換え環境性能・経済性を向上させた新たなシリーズとして、2010 年 12 月に A320neo シリーズをローンチした。

A320neo の「neo」は、new engine option の略であり、現行 A320 シリーズと 95%以上の機体共通性を持ちつつ、既存エンジン(V2500 及び CFM56)に代えて最新型エンジンの搭載により効率性、環境適合性、経済性を大幅に向上させたモデルである(このように、新エンジンを搭載するために開発されたモデルを Re-Engine モデルと呼ぶ)。

A320neo のエンジンとして、プラット・アンド・ホイットニーの PW1100G-JM と CFM International の Leap-1A が 2010 年 12 月に選定された。

PW1100G-JM は、ファンとタービン機構の間に減速ギアを噛ませることで、ファンの低速化による大口径化/タービン機構の高速化による効率運転を両立させることを可能とし、これにより従来機に比べ 15%以上の燃費軽減、NOx 排出 2 桁削減、エンジン騒音の 50%低減を目指している。

日本側の参画比率は 23%(プラット・アンド・ホイットニー59%、エム・ティー・ユー18%)であり、ファン/低圧圧縮機モジュール/低圧シャフト(KHI 及び IHI)及び燃焼器(MHI)を担当している。

プラット・アンド・ホイットニーは、V2500 を通じ、中小型エンジン開発において日本側(JAEC)とは強固な関係を構築してきたことから、PW1100G-JM の開発においても、JAEC に対し開発参画要請を行い、2011 年 9 月に共同事業契約に合意した。

開発が具体的に開始される中で、本件は正式に国際共同開発事業として採択され、当行は 2012 年以降、継続的に融資を通じた開発支援を行っている。

⑧GE9X

ボーイングは、B777 の後継機として、B777X を 2013 年 11 月にローンチした。B777X シリーズでは、400 席クラスの 777-9X と 350 席クラスの 777-8X をラインナップする予定であり、2020 年に 9X が、2022 年に 8X が市場投入される予定である。

B777X は、競合機種と比して 12%の燃費改善、10%の運航コスト改善を達成するとしているが、この燃費改善の核となるのが、B777X に独占搭載が決定している、ゼネラル・エレクトリック製エンジンである GE9X である。このエンジンには、最先端の複合材ファンシステム、世界最高の圧力比を誇る圧縮機、セラミック基複合材料の活用などが計画されている。

GE9X は、民間航空機エンジンとしては世界最大級の 100,000 ポンド級の推力のエンジンであり、燃

費においては、現在運航されている B777 に搭載されている、同じくゼネラル・エレクトリック製の GE90 に比べ、約 10%の改善を目指している最新鋭のエンジンである。

斯かるエンジンに対し JAEC が参画し、IHI が低圧タービンモジュール主要部品およびシャフトを担当することが決定している。

開発が具体的に開始される中で、GE9X は正式に国際共同開発事業として採択された。これを受け、2015 年 1 月以降、公募により融資実施銀行の選定がなされ、当行は融資を実施している（なお、本事業について、当行はカナダ・オンタリオ州教職員年金基金と組みながら、ゼネラル・エレクトリックとの戦略提携を行っている）。

(2) 日本航空機開発協会

本邦メーカーによるエンジンの国際共同開発参入を支えてきた JAEC に対し、機体の国際共同開発を担ってきたのが日本航空機開発協会（JADC）である。

前述の通り、YS-11 は経営的な行き詰まりをみせ、1973 年に通算 182 機の製造を完了し、生産を終了した。その頃、YS-11 に次ぐ日本の民間輸送機製造プロジェクトとして、YX 計画が進められていた。しかし、莫大な開発費が見込まれ日本のみでは負担に耐えられないことに加え、YS-11 販売の難航の経験から欧米企業の販売網利用等の魅力が大きく、また、欧米企業の技術習得という観点からもあり、国際共同開発の可能性が模索された。協働先の最有力候補としては、ボーイングが挙げられていた。しかし、同社より、交渉の過程で、YX の開発を凍結し、ボーイングが独自に計画を行ってきた 7X7 中型双発旅客機に統合するよう打診を受けた。本邦独自の民間航空機の開発・製造という当初の目標からは外れるものの、欧米からの技術獲得等を行う貴重な機会でもあることから、本邦勢はその提案を了承。以降、YX 計画は 7X7 計画に合流することとなった。

1974 年に、MHI、FHI、KHI 等からなる航空工業会は、民間航空機の国際共同開発のために本邦機体メーカー各社の取り纏めを担う母体として、民間輸送機開発協会（CTDC）を設立（MHI、FHI、KHI がそれぞれ 1/3 ずつ出捐）。以後、7X7 の共同開発は CTDC が母体となって行われることになった。1978 年 9 月、ボーイングが 7X7 の受注を獲得したことから、CTDC とボーイングの間で基本事業契約が締結され、7X7 の開発が開始されるとともに、7X7 計画は B767 の名称を得ることになった。

B767 の開発は、CTDC が MHI、FHI、KHI に作業を委託し、3 社によって分担開発された。開発部位は MHI が後胴パネル、KHI が前胴・中胴パネル、FHI が主翼胴体間フェアリングを担当し、ボーイングに引き渡すこととなった。生産分野では、KHI が中部胴体・主翼小骨、MHI が後部胴体・乗降口扉、FHI が主翼胴体間フェアリングと主脚扉で、新明和も 3 社の部品製造を行っている。

① YXX/B7J7

YX 計画が国際共同開発となったことに加え、日本の自動車産業の急成長に伴う米国との貿易摩擦による関係悪化もあり、再び YS-11 の精神を引き継ぐ日本独自の計画として、YXX 計画の検討が開始された。なお、1983 年に、CTDC に新明和と日飛が参加し、改組して日本航空機開発協会

(JADC)となり、計画の検討が進められた。しかし、米国との関係悪化を恐れた日本政府への配慮もあり、ボーイングから参加を打診された7J7にYXX計画を合流させる形で共同開発することが決定し、1984年に同社と第一次了解覚書を交わすこととなった。このときに合意された条件は、座席数は150席クラス、プロップファンエンジンを搭載した双発プロペラ機、開発比率はボーイング75%・日本25%という内容であった。

1986年には、「2. 発展期 ①日本航空機エンジン協会」にて前述の通り、国際共同開発を更に促進すべく航空機工業振興法の改正が行われ、開発事業者に対して開発費の50%~70%を補助金を交付する従来の方式から、開発費の大部分を指定金融機関による融資により行う方式に切り替えられた。これを受けて、当行(当時の日本開発銀行)は、YXX/7J7の開発資金としてJADCに対する融資を通じた開発支援を行うこととなった。

プロペラ機は低速時の安定性・低空飛行と短距離での燃費の良さが魅力であるが、機体の振動と騒音が大きいため、これらを克服するエンジンの開発が必要であった。しかし、エンジンの開発は難航・長期化し、開発費が増加したことに伴い採算性が悪化した。また、オイルショックの影響が弱まり、原油価格が落ち着きを見せ始めたことで、優れた燃費性能を持つプロペラ機に対する魅力が相対的に低下した。更に、ボーイングの販売も不調であり、1987年にはYXX/7J7計画は、事実上中止に追い込まれた。

②B777

ボーイングは、1986年頃からB767-300とB747-400の間隙を埋める広胴型双発機として767-Xの開発を模索していた。本邦勢は、YXXの開発がお蔵入りとなったこともあり、767-X開発構想に対しては強い関心を持っていた。767-Xは、350席クラス双発民間輸送機として計画され、1990年4月にMHI、FHI、KHIはボーイングと、機体の15%から20%の範囲内で作業量を分担する責任を持つなどの内容からなる767-X広胴型双発ジェット機共同開発と生産の了解覚書に調印した。同年にユナイテッド航空からの受注が確定したことに伴い、767-Xの名称はB777に確定。その翌年に、開発プログラムの日本側主体となったJADCが、ボーイング社との開發生産に係る基本事業契約を締結し、これにより日本側の担当は胴体の大部分、中央翼、翼胴フェアリング、主翼桁間リブ、キールビーム等で、生産作業全体の約21%を分担することとなった。加えて、日本側はボーイングの合意の上で、機体仕様の決定に関わる設計、試験等のプログラムレベル作業への参加が可能となり、知見を蓄積する上での重要な機会を得ることとなった。JADCのもと、MHI、FHI、KHIがプログラムパートナーとして、新明和、日飛の2社がプライムサブコントラクターとして、プログラムの推進に本格的に取り組むことになった。当行は、B777の開発資金についても融資を実施している。B777の開発においては、機体を発注した航空会社がボーイングに要望を出し、それを開発に取り入れていく「Working Together」方式がとられるなど、開発方式にも工夫が施され、1995年に第一号機がユナイテッド航空に引き渡された。

③B787

B777の開発段階が1998年で完全に終了して以降、特段の大型案件が無い状態が続いており、

同機の開発で培った技術を失わないためにも、大型案件が官民の双方から待望されていた。

そんな中、ボーイングは、B767の後継機種として、座席数250席前後の中型航空機で、中型機としては航続距離が長く、低燃費エンジンの搭載・炭素繊維系複合材等の活用により燃費性能を大幅に向上させた航空機の国際共同開発を、本邦に対し持ちかけてきた。2004年4月に、ANAがローンチカスタマーに決定したことで開発が動きだし、同年11月に航空機国際共同開発促事業に選定されたことで、同年から当行がJADC向けに融資を開始した。JADCは国際共同開発を決定。既に述べた通り(第I章 10.機体)、主翼・中胴など重要部分を中心に、35%を担当することとなった。

④B777X

ボーイングは、2011年9月に、現行のB777型からの更なる改善を施した機体についての詳細を発表した。新機体の仮称は、B777-8X及びB777-9Xであり、総称してB777Xと呼ばれる。

新機体において掲げられた目標は、翼の大型化による揚抗比の改善、新型エンジンであるGE9Xによる10%の燃費改善、機体全般における材質変更などと合わせた、1席当たり15%の燃費改善である。

2014年6月に、JADC、MHI、KHI、FHI、新明和、及び日飛が、B777X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に調印したことを発表。その後2015年7月に、ボーイングとJADCは、ボーイングと日本の機体主要パートナーが正式契約に調印したことを発表した。機体構造分担については、現行B777における各社担当の踏襲を基本として、MHIが後部・尾部胴体及び乗降扉を、KHIが前部・中部胴体、主脚格納部、貨物扉及び圧力隔壁を、FHIが中央翼、中央翼・主脚格納部結合、主脚扉及び翼胴フェアリング(前部)を、新明和が翼胴フェアリング(中・後部)を、日飛が主翼構成品を手掛ける計画が示されている。

MHIは、製造にあたり広島製作所江波工場内に新設するB777X製造ラインに、パネル自動搬送や自動打釘、ロボットを導入することで組立自動化による生産効率化を図っていく予定であり、これに係る設備増強投資等に取り組むための必要資金につき、当行は「特定投資業務³³」を活用したファイナンス面でのサポートを実施している。

33 「特定投資業務」は、民間による成長資金の供給を促進し、もって成長資金市場の創造・発展を図るため、政府から一部出資措置を受け、時限的かつ集中的にDBJの成長資金(資本性資金・メザニン等)供給を強化するもの

第IV章 重工メーカーの動向

前述の通り、本邦航空機産業においては、エンジンメーカー及び機体メーカーに対し、ユニットを供給する、所謂 Tier1 と呼ばれる重工メーカーが重要な役割を果たしており、航空機産業の発展は、重工メーカーの発展とともにあったと言っても過言では無い。当行は、JAEC・JADC の支援を通し培った知見等を踏まえ、今も積極的に重工メーカーへの支援を継続している。

また、近年では技術・ノウハウの蓄積が進み、機体・エンジン開発における本邦勢の参画範囲が拡大した。これに伴い、重工メーカー以外の周辺企業も益々発展しつつあり、これに応じて当行の支援範囲も広がりを見せている。当行は産業の成長を金融面で影から支えてきた。それら全てを紹介するには紙面に限りがあるが、主要な取り組みを中心に、重工メーカー及びその他の周辺産業に分け紹介する。

1. 三菱重工業

(1) 三菱重工業概要

- 沿革

三菱重工業(MHI)は、我が国を代表する総合重機メーカーで三菱グループの代表的企業である。創業者岩崎彌太郎が1884年に政府より工部省長崎造船所借り受け、長崎造船所と命名して造船事業を開始したことを嚆矢とする。1934年には船舶のほかに重機、航空機、鉄道車両を加え、社名を「三菱重工業」に変更した。

三菱グループとしての航空機に関する活動は、MHI が分社化される前の三菱合資会社が本社および長崎造船所で、陸軍の命で第1次大戦で活躍した航空機の研究を開始したことに端を発し、三菱合資会社神戸造船所にてフランス開発の航空機エンジンの国内生産を1916年に開始、名古屋の三菱内燃機製造にて三菱が製作した初めての航空機の飛行に1921年に成功することから始まっており、MHI はそれらの事業活動を発足と同時に継承している。第二次大戦後の1950年、財閥の解体を目的とした「過度経済力集中排除法」に従い、西日本重工、中日本重工業、東日本重工の3社に分割されたが、製品の重複等もあり、1964年には3社が合併し、新生三菱重工業が誕生した。なお、1970年に自動車部門が独立し、三菱自動車工業として発足している。航空機関連でいえば、2008年にYS-11以来の国産旅客機となるMRJ(Mitsubishi Regional Jet)の事業化を決定し、事業会社である三菱航空機を設立している。2014年には9事業本部を「エネルギー・環境ドメイン」、「交通・輸送ドメイン」、「防衛・宇宙ドメイン」、「機械・設備システムドメイン」の4事業領域(ドメイン)に再編成した(民間航空機関連は「交通・輸送ドメイン」に含まれる)。

<航空機事業>

- 主力事業所

当社の航空機事業所は、以下の工場である。

名古屋航空宇宙システム製作所(通称:名航)

大江工場・・・総合管理部門、設計・研究部門、航空・宇宙の部品製作

飛島工場・・・宇宙機器の製作、航空機の部分構造組立

小牧南工場・・・航空機の最終組立・艙装、航空機の修理、航空機の飛行試験、顧客支援

名古屋誘導システム製作所(通称:名誘)・・・飛昇体、航空・宇宙エンジン、制御機器等の開発、生産、修理飛昇体、航空・宇宙

広島製作所 江波工場・・・ボーイング機種(777等)の製造

名航は、1920年に三菱内燃機製造の一工場として発足したものであり、1956年に名古屋製作所が名古屋航空機製作所として分離独立し、1989年には名古屋誘導推進システム製作所を分離独立させたものである。現在は、上記のように大江工場、飛島工場、小牧南工場等を擁し、最新鋭の航空機の設計・製作・運用サポートおよび宇宙機器の設計・製作・打上げ輸送サービスを実施している。その他、三菱航空機株式会社が開発を進めている次世代リージョナルジェット機MRJ(Mitsubishi Regional Jet)の試作、製造、飛行試験を名航で実施している。

- 航空機事業の沿革

当社の航空機事業に関しては、戦後禁止されていた航空機生産を1952年に再開させ、1965年には日本初の純国産旅客機YS-11の量産を開始した。しかし、1973年のYS-11生産終了(量産182機にて終了)後は国産機開発・製造から、ボーイングのTier1メーカーとしての事業運営に軸足を移行した。

ボーイングが1978年に開発を開始したB767へのパートナー参画(後部胴体等)を皮切りに、1991年にB777(後部胴体、尾部胴体等)、2005年にB787(主翼)へ参画しボーイング機体製造のTier1メーカーとして地位を確立した。

こうしたなか2008年には国産初の小型ジェット機であるMRJ(Mitsubishi Regional Jet)事業の開始を決定した。加えてB777Xについても2014年6月に製造パートナーとして参画(後部胴体等)することを正式発表した。

2014年には民間航空機エンジン事業を会社分割し、新会社「三菱重工航空エンジン」を設立した。同社にはMHIが89%、IHIが1%、当行が10%の出資をしている。同社は、燃焼器モジュール、低圧タービンモジュールを主要製品とする。

(2) 航空関連製品・技術紹介

- 自社製品(自主開発)

<MRJ—Mitsubishi Regional Jet>

➤ MRJ 概要

MRJ は、MHI が事業化に乗り出した次世代の地域間交通リージョナルジェット機であり、三菱航空機が開発・販売する国産初の(小型)ジェット機である。概要は以下のとおりである。

図表IV-1 MRJ の概要

	MRJ90	MRJ70
座席数(標準)	86 席	76 席
2015 リスト価格	47.3 百万\$	46.3 百万\$
航続距離	2,120km	1,880km
離陸滑走距離	1,490m	1,450m

(出典:三菱航空機)

MRJ の特徴として次の点が挙げられている。

a) 環境～優れた燃費と低騒音～

- ・燃費は現有の競合機と比較し 20%以上向上し、排出ガス量も低減する。
- ・搭載するプラット・アンド・ホイットニー製 GTF エンジン、ファン速度を最適な回転で運転が可能で、騒音を大幅に低減する。

b) 乗客～快適な客室～

- ・広いヘッド・フット・クリアランス、クラス最大の大型オーバーヘッド・ビン、幅広でスリムなシートで客室快適性が向上する。

c) エアライン～優れた経済性～

- ・先進空力技術により空気抵抗の小さな主翼、最適化した胴体、プラット・アンド・ホイットニー開発の次世代エンジン GTFエンジン採用による燃費向上が図られる。

➤ MRJ の開発・生産体制

MHI は、2003 年に、NEDO(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発研究機構)の「環境適応型高性能小型航空機研究開発事業」の幹事会社となり、経済産業省支援の下、NEDO 支援事業として当該プロジェクトの基礎研究開発を行ってきた。

2007 年より、エアラインへの本格営業を開始。2008 年 3 月には、全日本空輸より 15 機の

確定受注を獲得したほか、エンジン等の主要サプライヤーの目処が立ったことから、三菱航空機を2008年に設立し、本格的な研究開発を行うこととなった。

三菱航空機は、MRJの設計、型式取得、部材の調達に加え、販売、カスタマーサポートを行う主体としてMHIの100%出資で設立された。当社は、研究開発の進捗に応じて2段階で増資を行うこととなり、トヨタ自動車、三菱商事、三井物産、住友商事、東京海上日動火災保険、日揮、三菱電機、三菱レイヨン、及び当行が資本参画した。

MHIと三菱航空機との役割分担は、MHIが、製造、量産機の資材調達、三菱航空機が開発、型式証明（飛行試験）、開発時の資材調達、販売、カスタマーサポートを担当する。その後、三菱航空機はボーイングとの間でも各分野における支援契約を締結した。

MRJのエンジンにはプラット・アンド・ホイットニーが開発を進めたPW1200Gの採用が決定している（量産エンジンは最終組立と完成後の領収試験を三菱重工航空エンジンで実施する）。

装備品に関しては、欧米有力メーカーはじめパートナーとして参画している。主要な装備品パートナーは以下の通り。

- ・油圧システム・・・パーカー・エアロスペース
- ・電源、空調、補助動力などの各システム・・・ユー・ティー・シーエアロスペース・システムズ（旧ハミルトン・サンドストランド）
- ・フライトコントロール・コンピューター、アビオニクス・・・ロックウェル・コリンズ
- ・パイロン・・・スピリット・エアロシステムズ
- ・スラット、フラップなどの5部位・・・イー・アイ・ディー・シー
- ・旅客、サービス貨物用ドア・・・エアバス・ヘリコプターズ（旧ユーロコプター）
- ・内装品・・・ゾディアック・エアロスペース

また、日本の装備品メーカーが供給する主な装備では、住友精密が降着システム、ナプテスコがフライトコントロール・アクチュエーター、小糸製作所が照明器具、ミネベアがベアリングや構造部材を供給することになっている。

なお、マニュアル作成の一部に関してサーブと、訓練プログラムの開発・実施に関してはシー・イー・イーと、カスタマーサポート支援に関しては、従来日本の機体メーカーが経験に乏しいとされているなか、ボーイングと契約を結び支援を受ける準備を進めている。

➤ 開発・生産・受注状況

MRJは、2010年9月に部品製造を開始した。高い安全性と性能を備えた航空機の開発を確実に推進するとの観点から、設計・開発段階から安全性を担保していくプロセスと装備品開発を推進してきた結果、2015年11月11日に初飛行に成功した。今後、日本とアメリカで2500時間にのぼる試験飛行を行う計画である。

受注に関しては、全日空から25機、日本航空から32機、米国トランス・ステーツ・ホールディングから100機、米国スカイウエスト航空から200機をはじめとして合計407機の受注を獲得

している(うちオプション・購入権 184 機)³⁴。

- 他社製品(部品ユニット生産)

<主要新型機体における担当部位及びその内容>

MHI の航空機主要製品(防衛省機を除く)は以下のようにになっている(除自主開発)。

図表IV-2 MHI の航空機主要製品

	機種	相手先	分担部位
共同開発	B767	ボーイング	後胴、胴体扉
	B777	ボーイング	後胴、尾胴、乗降扉
	B787	ボーイング	主翼
	Global Exp/5000	ボンバルディア	主翼 中胴
	Challenger300	ボンバルディア	主翼
	S-92	シコルスキー	胴体客室部、後部スポンソン
サブコン	B737	ボーイング	内舷フラップ
	B747	ボーイング	中央翼
	A380	ユーロコプター	床下カーゴドア

(出典:(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

➤ B777X 開発・量産にかかる設備増強支援

ボーイングは、主力広胴機 B777 の後継機として、B777X を 2013 年 11 月にローンチ。400 席クラスの B777-9X と 350 席クラスの B777-8X をラインナップする予定であり、2020 年に 9X、2022 年に 8X を市場投入する予定である。これに関し MHI は、2014 年 6 月に B777X 生産(後部・尾部胴体及び乗降扉)に参画することを正式発表し、2015 年 7 月にボーイングとの正式契約に調印した。

B777X の生産にあたり、MHI は広島製作所江波工場を活用する方針とした。広島製作所は、1944 年に造船等向け工場として開所したが、70 年代の造船不況を受け 80 年に新造船事業から撤退している。その後、1992 年に B777-200 の後部胴体の組み立てを名古屋から広島に移管した他、B777X の生産においては、ボーイングからの生産機数増加要請に対応すべく、自動打鋸システム等の自動化設備や治工具購入を含む大規模な設備投資を広島江波工場に対して行う事で、広島江波工場をボーイング専用工場とするための集約化を図っている。また、MHI においては、従前機体の組み立ては熟練工の手作業に依るものも多かったが、熟練工の引退等により技術やノウハウが失われる可能性があるほか、急速に成長を遂げる航空機需要に対応するための生産能力増加が喫緊の課題であった。よって、広島江波工場における自動化設備への設備投資は、同社の航空機生産基盤を更に強固なものにする上でも重要

34 2016 年 3 月末時点

な投資であった。

当行は、当社が広島江波工場において実施する設備投資等に対し、前述の通り2015年9月に「特定投資業務」を活用し、資金面からのサポートを行った。

<主要新型エンジンにおける担当部位及びその内容>

MHIのエンジン主要製品は以下のようになっている

図表IV-3 MHIのエンジン主要製品

	機種	相手先	分担部位(リスクシェア)
共同開発	V2500	アイ・エー・イー	アクティブクリアランスコントロール 高圧タービンケース(3.45%)
	PW4000	プラット・アンド・ホイットニー	低圧タービン 燃焼器(10%)
	PW6000	プラット・アンド・ホイットニー	燃焼器モジュール(7.5%)
	TRENT1000/XWB	ロールス・ロイス	燃焼部品、低圧タービン(7.0%)
サブコン	CF34-10	ゼネラル・エレクトリック	燃焼器ケース

(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

➤ 三菱重工航空エンジンの設立

MHIは、将来的なMRJの生産や、B787等機体部門での大規模な投資が見込まれる中、民間航空機エンジン部門を子会社化し、同部門の柔軟且つ迅速な意思決定体制を整備した。

三菱重工航空エンジンは、MHIにおいて、民間航空機エンジンの製造・販売・修理等を行う部門である。MHIは、①交通・輸送、②エネルギー・環境、③防衛・宇宙、及び④機械・整備システムの4ドメインから成り、三菱重工航空エンジンは、交通・輸送ドメインに含まれる。

図表IV-4 MHI 民間航空機エンジン事業沿革

年次	沿革
1920	三菱内燃機製造として発足
1945	GHQ から軍需生産禁止命令
1952	航空機事業再開、航空機エンジンの修理作業開始
1971	JT8D 事業にサプライヤー参画
1983	V2500 事業へ(一財)日本航空機エンジン協会(JAEC)を通じて参画
1989	PW4000 事業へ RRSP として参画
1991	MRO を主業とする子会社 MHI エアロエンジンサービス設立
2004	Trent1000 事業へ RRSP として参画
2008	TrentXWB 事業へ RRSP として参画
	PW1200G 事業へ Preferred Supplier として参画
2011	PW1100G 事業へ JAEC を通じて参画
2014/10	三菱重工業から会社分割の上、当社にて事業を承継
2015/5	Trent7000 事業へ RRSP として参画

(出典: 当行作成)

MHI は、民航エンジン部門を 2014 年 10 月に分社化。事業継承会社として、三菱重工航空エンジン(MHIAEL)を愛知県小牧市に設立した。当行は、かかる会社分割に際し、を活用した資本参加に加え、産業競争力強化法に基づくツーステップ・ローン(事業再編促進業務)により融資を実施し、支援を行った。

また、この分社化において、IHI が当社に資本参加し、当社との長期的な生産連携体制を構築している。これは、生産量の増加が見込まれる低圧タービンブレードにおいて世界有数の生産能力を持つ IHI と生産連携すること、および MHI の支援を通じた取引企業のクラスター化により構築されるエンジン部品製造の一貫生産体制を通じ、競争力の強化および国際マーケットでの存在感を高めていくことを企図したものである。

MHIAEL は、ボーイングの 787 用の Trent1000、エアバスの A350XWB 用の TrentXWB、A320neo 用の PW1100G-JM や三菱航空機の MRJ 用の PW1200G の共同開発・量産に参画しているが、特に MRJ 用の PW1200G では、最終組立を当社が担うこととなり、国内初めての旅客機用エンジン最終組立となる。また国内外のエアライン向けのエンジンの整備修理事業にも携わっている。

➤ 産業クラスターの活用

分社化と同時に、MHIAEL で培った生産プロセスの一部を、中小企業連合からなる民間航

空機エンジン部品の製造にかかる産業クラスターに委託する取り組みも行われている。

➤ タービンブレードクラスター

MHIAEL はタービンブレード増産のため、放電精密加工研究所(神奈川県厚木市)とともに「ブレード生産ミニクラスター」を組成し、産業クラスター第一弾案件として活用をはじめている。ミニクラスター組成に至った背景には、受注好調による生産の急拡大があり、自社生産を中心としたリソース投入には限界があるとみた MHIAEL が、投資リスク、生産変動リスクをシェアする相手を育成し、長期安定的な供給先を確保することで、全体としての生産能力向上とコスト競争力の強化を果たすため、MHIAEL の事業所近辺に拠点を構える企業群と連携することとしたものである。

一方、受け側の企業としても、高度な品質要求と加工技術の蓄積が求められる航空エンジン部品の仕事は参入障壁が高いとは言え、従来の単工程外注のままでは、いずれ新興国を中心とした勢力の台頭を許すことに危機感を感じ、企業連携により付加価値の高い一貫生産体制を構築することで、将来的には海外エンジンメーカーからの直接受注を目指すことにより生き残りを図ることを選択したものである。

タービンブレードの製造に際しては、クラスター構成企業である、小坂鉄工所(研削加工)、放電精密加工(放電加工)、及び品質研究所(検査)が連携することで、MHIAEL 内で行われていた研削→放電加工→表面処理→非破壊検査→完成という工程を、ほぼ同じ内容で一貫して行う体制を実現し、現在は量産化まで達成している。当該工程の構築等にあたり、MHI が 10 年の歳月をかけて獲得した製造ノウハウや改善点を設備に反映している。

一貫生産をまとめるにあたり、工場や設備は放電精密加工で用意し、同社は従来どおり表面処理などの特殊工程担当。自社で持たない研削加工、外観検査等の検査関連業務については、専門会社に委託し、受注全体に対しては、放電精密加工が責任を負うということで、この形態(ミニクラスター)になった。

放電精密加工研究所では、技能が確立していない労働者でも製品の製造がしやすいよう、加工上の仕組みを整備するだけでなく、新分野への意欲ある若手の投入、MHI との連携等により、人的資源の配分においても工夫を行っている。他方、MHIAEL 全体にとっては、産業クラスターを活用することで、海外や社内で生産するよりも相対的に安いコストで部品生産が可能となるメリットがあり、当社とクラスター全体の双方にとってシナジーが発揮されている状況にあるといえる。また、当社の事業所整備にあたっては、経産省、愛知県、小牧市等から支援があった。クラスター成功のためには、行政の協力も重要な要素であるといえる。

➤ 燃焼器ケースクラスター

MHIAEL は、タービンブレードに次いで、燃焼器ケース(ガスタービン燃焼器の外殻部分を構成)においても、増産に対応すべくクラスターの活用を検討することとしており、品質マネジメントシステムの認証プログラムである JISQ9100 の認証も既に取得を完了し、2015 年度に試験加

工を開始している。今後、海外エンジンメーカーからの設備認証・工程認証を取得し、2016年度中の量産開始を計画している。

このクラスターでは、平和産業(「松阪部品クラスター」で前述)を中核会社とし、同社工場内(長野県駒ヶ根市)において、主要工程を実施する計画である。参画企業は同社と放電精密加工研究所(前述)である。

➤ 燃焼器クラスター(Central Japan Aerospace Cluster(CJAC))

MHIAELは、Trent1000/XWB, PW1100G/1200Gの燃焼器及び板金小部品に対して、産業クラスターの活用を検討している。

なお、プラット・アンド・ホイットニー製のPW1200Gは、MRJに独占搭載が決定しているエンジンであり、MHIAELは、その燃焼器、高圧タービンディスクおよびケースの開発・製造と、同エンジンの最終組立・領収運転試験³⁵を担当している。

燃焼器とは、エンジン内部で燃焼を行う燃焼器部の主要部品であり、エンジン1台につき1個搭載される。燃焼時の高温(約2000℃)に耐える必要があるため、材質はニッケル耐熱合金が用いられる。

一般的な燃焼器の製造工程は、大きく分けて①機械加工、②表面処理、③検査仕上から構成される。従来は、それぞれの工程を担当する企業と、発注元の顧客(重工等)が個別に契約を結び、且つ各工程が終わる度に部品は一度顧客側に戻され、次の工程へと輸送される所謂「ノコギリ型」の発受注構造となっていた。そこで、一連の工程における顧客との折衝を、中核となる企業に集中させ、当該企業を中心に機械加工→表面処理→検査仕上の工程を顧客から切り離し横につなぐことによって、顧客ニーズに応じた部材供給を可能とするだけでなく、物流コスト等の削減等を可能にしようとする構想が、Central Japan Aerospace Cluster(CJAC)である。

前述の松阪部品クラスターでは、参画企業が顧客(重工等)から個別に受注する形となっているのに対し、CAJCでは部品製造の一連の工程を中核事業がとりまとめ、一つのクラスター内で完結させる点が大きく異なる。

CJACでは、光製作所(工程管理、品質保証、営業活動を担当)が中核会社となり、同じ加工メーカーである松浦など4社が設備を持ち寄り共同工場を設立。更に、熱処理及び非破壊検査については、放電精密加工の工場と連携することで、燃焼器の一貫生産を可能にする。光製作所が新工場の展開場所をMHI至近(愛知県小牧市)で検討しており、試験加工開始は2016年度を目途としている。なお、CJACは、国際戦略総合特区として指定されている「アジアNo.1航空宇宙産業クラスター形成特区」内に展開予定である。

愛知県小牧市に本社を置く松浦は、航空機、宇宙、自動車、配電設備等の部品製造を行う溶接・板金加工メーカーである。当社は、航空機、航空機エンジン部品を幅広く手がけており、CJACへ参画し、航空機エンジン部品の溶接・プレス・レーザー加工を担うこととなった。

35 領収運転試験=MRJ搭載エンジンとして要求される性能を満たしているか確認するための試験のこと

当行は、2015年度以降、産業クラスターへの支援を積極化しており、当社のCJAC参画に際した設備投資資金につき、2016年2月に、国際戦略総合特区支援利子補給金制度³⁶に基づく融資を実施している。

³⁶ 「国際戦略総合特区支援利子補給金」とは、産業の国際競争力の強化に関する施策を総合的かつ集中的に推進するべく国が指定した「国際戦略総合特区」における事業に必要な資金の金融機関からの借入に対して、国が利子補給金を支給することにより、事業の円滑な実施を支援するもの。

2. 川崎重工業

(1) 川崎重工業概要

- 沿革

川崎重工業(KHI)は、明治29年(1896年)に株式会社川崎造船所(初代社長:松方幸次郎)として創立されたが、明治11年(1878年)に創業者の川崎正蔵が東京・築地に川崎築地造船所を開設したのがその起源となっている。現在ではグループで船舶海洋事業、車両事業、航空宇宙事業、ガスタービン機械事業、プラント環境事業、モーターサイクル・エンジン事業、精密機械事業等と、幅広く事業展開を行っている国内第二位の総合重機メーカーである。とりわけ、輸送用機器に強みを有する。

<航空機事業>

- 主力事業所

当社航空機事業所は以下の5工場である

岐阜工場・・・航空機製造、組立、修理

名古屋第一工場・・・B777/B787 担当部位組立

名古屋第二工場・・・B767 担当部位組立

明石工場・・・ジェットエンジン、ガスタービンエンジン、モーターサイクル、ロボット

西神工場・・・ジェットエンジン

- 航空機等事業沿革

当社の航空機事業は、1918年(大正7年)に兵庫工場飛行機科が新設され、その第一歩を踏み出し、1922年には飛行機科が兵庫工場の所管を離れ、川崎造船所飛行部(各務原分工場)が設置された。1937年には川崎航空機工業株式会社を設立し、川崎造船所から分離独立させた。その後1954年には川崎航空機工業、川崎機械工業、川崎岐阜製作所が合併し、川崎航空機工業として発足した。さらに1969年に川崎重工業、川崎航空機工業、川崎車輛が合併し、現在の川崎重工業として発足するという経緯を辿っている。

最近の動きとしては、2005年にB787、また2015年にはB777Xの正式契約をそれぞれ締結しており、これらの機種の開発完遂、量産の立上げと増産体制の確保が重要課題となっている。

(2) 航空関連製品・技術紹介

- 他社製品(部品・ユニット生産)

<主要新型機体における担当部位およびその内容>

当社の航空機主要製品(防衛省機を除く)は以下のようになっている。

図表IV-7 KHIの航空機主要製品

	機種	相手先	分担部位(リスクシェア)
共同開発	B767	ボーイング	前胴パネル、中胴パネル、貨物扉等
	B777	ボーイング	前胴パネル、中胴パネル、貨物扉、主脚格納部、後部圧力隔壁等
	B787	ボーイング	前胴、主脚格納部、主翼固定後縁
	エンブラエル 170/175	エンブラエル	動翼、中央翼、主脚扉
	エンブラエル 190/195	エンブラエル	動翼、主脚扉
	BK117C-2	エアバスヘリコプターズ	全機組立、胴体 主減速歯車(50%)
	AW139	アグスタ・ウエストランド	ギアボックス
サブコン	B767-200SF	ボーイング	大型貨物扉、改修部胴体パネル

(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月)をもとに当行にて一部更新)

➤ 生産体制

KHIでは、航空関連事業の拡大を見据えた増産に伴い調達規模が大きく拡大しているが、構成部品の調達内訳は、外注品が約1/4で、その半分が国内の加工外注であり、国内サプライヤーの育成が急務とされている。KHIは国内の外注先育成に向けた施策の一つとして、一貫外注化を掲げている。

• 川崎岐阜協同組合一貫生産推進チーム

一貫外注化における代表的な取り組みの一つが、航空機事業における川崎岐阜協同組合の活用である。航空機部品産業は、個々の中小企業が単一工程のみを担い、発注企業の管理の下で受注・納品を繰り返す“のこぎり刃型”の加工外注生産体制が主流である。この体制は、中小企業がそれぞれの技術力・特色を活かすという面では有効な仕組みである反面、発注企業の経費や在庫の負担、物流経費の増大等の問題があり、完成品としての部品の納品に対応できないという課題があった。

このような課題を解決する一貫生産を実現するためには、熱処理、非破壊検査、表面処理等の特殊工程についても、一貫生産プロセスの中で行う必要があるが、これらの工程での作業に必要な認証等を取得している企業が多くないことに加え、中小企業側に十分な受け入れ余力がないという課題があった。また、生産を開始する事前準備として、多額の設備投資と長

い認証取得期間を要することから、規模の小さい中小企業にとっては、負担の大きい取り組みであった。

この状況を打開すべく、川崎岐阜協同組合において、「川協一貫生産推進チーム」がつけられ 2016 年までを目途に一貫生産体制を形にするという目標が掲げられた。川崎岐阜協同組合は、1951 年に設立された、輸送用機械器具製造の協力メーカーによりつけられた組合であり、現在では航空機関係中小企業を中心とした 22 社を含む 30 社を組合員としている。

2014 年 3 月、組合員による一括受注を目指し、組合員企業の一つである天龍エアロコンポーネントが新工場(岐阜県各務原市)を完成させた。この工場には、非破壊検査や塗装工程に加え、これまで、ほとんどを発注企業や組合外企業に依存し、体制構築の最大のネックとなっていた表面処理工程が設置された。工場では、2015 年 1 月以降に本格生産を開始。川崎岐阜協同組合の 11 社が天龍エアロコンポーネントの設備を利用した一貫生産体制に向けた改革に着手しており、KHI は、従来 Tier2 に位置するリーダー企業である今井航空機器工業に対して発注していた表面処理・塗装工程を、川崎岐阜協同組合に対しても試験的に発注し、生産体制向上を目指している。

＜主要新型エンジンにおける担当部位及びその内容＞

当社のエンジン主要製品は以下のようにになっている。

図表IV-8 KHIのエンジン主要製品

	機種	相手先	分担部位(リスクシェア)
共同開発	V2500	アイ・イー・イ ー	ファンケース、LPCディスク他(6%)
	PW1100G-JM	アイ・イー・イ ー	ファンハブ、ファンケースライナー、IBR #3他(6%)
	CF34-8	ゼネラル・エ レクトリック	アクセサリギアボックス
	CF34-10	ゼネラル・エ レクトリック	アクセサリギアボックス、低圧タービン
	PW4000	プラット・アン ド・ホイットニ ー	LPTケース他(1%)
	RB211-524	ロールス・ロ イス	LPTディスク、LPTケース他(3%)
	RB211-535	ロールス・ロ イス	LPTディスク、LPTケース
	Trent700/800	ロールス・ロ イス	LPTディスク、LPTケース他(3%)
	Trent500	ロールス・ロ イス	中圧圧縮機ドラム(5%)
	Trent1000/XWB	ロールス・ロ イス	中圧圧縮機モジュール(6~11%)
	Passport	GE	アクセサリギアボックス
	RE220<APU>	ハネウエル	ギアボックス
	131-9<APU>	ハネウエル	タービンブレード

(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月)をもとに当行にて一部更新)

なお、当行は KHI が兵庫県において実施する民間航空機用ジェットエンジン部品の増産投資に関し、「エネルギー環境適合製品の開発及び製造を行う事業の促進に関する法律(低炭

素投資促進法³⁷⁾」を活用した融資を 2012 年 3 月に実施。KHI が開発・製造を行う燃費性能の優れた民間航空機用ジェットエンジンの部品の増産投資を、制度の利用対象事業としている。

当社は、複数のエンジン開発プログラムに参加しており、資金負担の軽減が課題であった。そこで当行は、当社が参画する民間航空機用エンジンの国際共同開発事業関連投資について、「特定投資業務」を活用したサポートを 2016 年 3 月に実施している。

37 低炭素投資促進法は、低炭素型製品の開発・製造を行う事業者で同法に基づく特定事業計画の認定を受けた者に対して、低利・長期の資金供給等を行う制度

3. IHI

(1)IHI概要

- 沿革

IHIは、幕命により嘉永6年(1853年)に設立された石川島造船所を嚆矢とする。1960年に石川島重工業、1968年に呉造船所と合併し本邦造船業界における地歩を固める一方、船舶、陸上機械や、航空機用ジェットエンジン等各種重機分野に進出した。現在は、本邦における主要総合重機メーカーとしてMHIに次ぎ、KHIにほぼ並ぶ売上高業界3位の重工業メーカーとなっている。2007年7月1日に商号を石川島播磨重工業からIHIに変更した。航空機関連でいえば、エンジンに特化しており、機体の製造は行っていない。当社は、2013年度より事業分野を、「航空・宇宙・防衛部門」、「産業システム・汎用機械部門」、「資源エネルギー・環境部門」、「社会基盤・海洋部門」の4分野に部門分けしている。

<航空機事業>

- 主力事業所

当社の航空機事業(主力はエンジン)の事業所は、以下の5工場である。

瑞穂工場・・・ジェットエンジンの組立、運転および修理整備

呉第二工場・・・ジェットエンジンの大型部品製造、修理

相馬第一工場・・・ジェットエンジンの翼部品の製造、修理

相馬第二工場・・・ジェットエンジンの中小部品製造

富岡事業所(IHIEアロスペース)・・・航空機エンジン用複合部品の開発製造

➤ 相馬工場復興支援

相馬工場は、航空宇宙事業本部の4番目の生産拠点として1998年に竣工した工場であり、航空・宇宙部門を中心としたジェットエンジンのタービン翼を専門に素材から加工までの一貫生産を行ってきた。しかし、2011年3月に発生した東日本大震災の被害を受け、操業停止を余儀なくされた。しかしながら、驚異的な速度で復旧した。

当行は、震災被害を受けた相馬工場において、航空機エンジン生産設備の増強のために必要となる設備投資資金につき、復興特区支援利子補給制度³⁸に基づく融資を2015年6月に実行している。

- 航空機等事業沿革

航空の分野では、当社はジェットエンジン製造を専業とし、エンジンにおいて他社重工業メーカーより歴史が古く、例えば防衛省関係であるが、当社は1962年4月から我が国初の実用ジェットエンジンJ3

38東日本大震災の被災地域における雇用機会の創出等を図る事業等の円滑な実施を支援することを目的に、借入人が利子に対する補給を受けることができる制度

の量産を開始している。また、ジェットエンジンの国内開発としては、上記J3の後、当社は1963年にJR100の設計を開始し、1964年9月に同機を科学技術庁航空宇宙技術研究所に納入している。

(2) 航空機関連製品・技術紹介

- 他社製品(部品・ユニット生産)

<主要新型エンジンにおける担当部位及びその内容>

当社の航空機主要製品(防衛省向けを除く)は以下のようになっている。

図表IV-9 IHIのエンジン主要製品

	エンジン名	相手先	分担部位(リスクシェア)
共同開発	V2500	アイ・イー・イー	ファン、ファンケース、LPコンプレッサー
	PW1100G-JM	プラット・アンド・ホイットニー	ファン、低圧圧縮機、低圧シャフト
	CF34-8/-10	ゼネラル・エレクトリック	ファンローター、LPタービン、HPコンプレッサー
	GE90	ゼネラル・エレクトリック	LPTブレード、ディスク ロングシャフト(10%)
	GEEx	ゼネラル・エレクトリック	低圧タービン、高圧圧縮機部、 シャフト(15%)
	Passport20	ゼネラル・エレクトリック	ファン静止部、高圧圧縮機部 低圧タービン・モジュール
	RB211-524	ロールス・ロイス	タービン部品
	Trent500/700/800	ロールス・ロイス	IPCディスク、LPTブレード、ロングシャフト
	Trent900	ロールス・ロイス	LPタービン・ブレード
サブコン	GP7200	ゼネラル・エレクトリック／プラット・アンド・ホイットニー	高圧圧縮ブレード 前側/後側シャフト
	PW4000	プラット・アンド・ホイットニー	ロングシャフト
	CT7-9	ゼネラル・エレクトリック	減速装置

(出典：(一財)日本航空機開発協会「民間航空機関連データ集」(2015年3月))

➤ 開発/生産体制

IHI は、特定の地域に関連産業が集積する等、クラスターのような形態ではないものの、次世代民間機エンジン PW1100G-JM の開発のため、独自の国内連携体制を構築している。特にエンジンの構成材料については、強力な連携体制の下、エンジン性能向上のための研究開発に注力している。

燃料費高騰と温暖化ガス削減要求の高まり等により、機体・エンジンの軽量化、燃費向上に対する需要が増加したこと等の理由により、軽量で耐熱性の高い新材料が必要とされるようになったことを受け、航空機に対する複合材適用のための開発が進められてきた。

航空機エンジンの燃費向上には、ファン部品の軽量化と高温タービンの耐熱温度向上が不可欠である。当社は、大型民間機航空エンジン GE9X の製造において低圧タービン部品、中型民間機航空エンジン PW1000G-JM のファンケース、構造案内翼、低圧タービン部品を担当しており、それぞれの機種への搭載を目指して繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastics : FRP) 材料、セラミック基複合材 (Ceramic Matrix Composites : CMC)、高温高強度ディスク材等の独自技術を開発してきた。それらの部材開発のための連携体制について紹介する。

• 先進複合材: 繊維強化プラスチック (FRP) 材料にかかる国内連携体制

FRP は、軽く脆いプラスチックにガラス等の繊維を混ぜることによって弾性を増し、軽さを維持したままで強度を加えた素材のことである。FRP は、軽くて高剛性、高強度である、腐食しにくい、汚れが落としやすい、補修が容易である等の特長を有している。航空機の構造材料は長らくアルミニウム合金が主体であったが、近年は軽量かつ強度がある FRP、とりわけ CFRP (炭素繊維強化プラスチック) の利用が進んでいる。CFRP は機体のほか、エンジンにも使用されており、燃費向上のために大口径化したターボファン部品の軽量化に役立っている。

IHI は、国内企業とともに、日本各地に点在する技術力の高い企業の力を結集し、強固な連携体制を構築することにより、地理的な集積は弱いながらも新技術・新製品開発に対応可能な体制を整備してきた。

• 先進複合材: セラミック基複合材 (CMC) の開発にかかる国内連携体制

CMC (Ceramic Matrix Composites) は、セラミックスとその強度を維持・向上させるための強化繊維で構成される複合材料である。

CMC には炭化ケイ素、酸化アルミニウム等で製造された繊維やマトリックス (母材) が用いられる。炭化ケイ素は高耐熱性、酸化アルミニウムは低コストといった特徴があり、適用する機体の部位に求められる特性等を考慮して使い分けがなされている。具体的には、航空機エンジンの低圧タービン部品等に使用される部材である。

特徴として、タービン用耐熱 Ni 合金よりも、耐熱性が向上し、軽量化もされている点が挙げられる。当該材料を航空機エンジンに適用した場合、熱効率の向上や、エンジンの軽量化が

見込まれ、燃費が約 10%改善するとされている。特に、IHI が製造する CMC については、従来品よりも低コストで中耐熱性であるという特徴を有している。

IHI は、当該材料の開発について、他の部材と同様に強力な連携体制をもって開発に取り組んでいる。

- PW1100G-JM エンジン量産体制整備にかかる連携体制

IHI は、前述の複合材料開発分野における連携のほか、量産体制の整備等により、世界レベルのコスト競争力をさらに強化している。

(3)IHI エアロスペース概要

IHI は、航空機エンジンの開発のみならず、グループ企業である IHI エアロスペース(IHI航空宇宙事業本部内で、IHIグループの宇宙事業を中心に担っており、同社 100%子会社)を通し、宇宙事業にも取り組んでいる。

IHI エアロスペースは、日本初のロケット実験と言われるペンシルロケット開発に始まる我が国唯一の固体燃料ロケットメーカーであり、幾多の事業承継の歴史を経て、2000 年 7 月に IHI が日産自動車より事業譲受を実施し、現在に至っている。なお、現在では H-II A、H-II B ロケットの固体燃料ロケットブースタの製造、宇宙ステーション関連の実験装置、機構系、輸送系の開発・製造や防衛関連製品の推進機関の開発・製造にも幅広く取り組んでいるほか、小型衛星の効率的な打ち上げを目的とした新時代の固体燃料ロケットであるイプシロンロケットの開発・製造を担い、将来的にはイプシロンロケットの商業化を目指しており、我が国の宇宙開発及び防衛関連事業に積極的に参画している。

また、IHI エアロスペースが長年培ってきたロケット用 FRP(強化繊維プラスチック)の製造基盤技術は、欧米の宇宙関連企業などでも適用しているもので、この技術を活用し、2004 年からジェットエンジン用 FRP 部品の製造を行い、IHI に納入している。2014 年からは、航空機の更なる燃費性能向上の実現に向け、エンジンの軽量化を目的とした先進複合材技術を適用した、PW1100G-JM 向けの航空機エンジンのファンケースならびに構造用ガイドベーンを IHI へ納入している。これらの製造基盤技術は、航空機用構造物など幅広い製品に応用できるポテンシャルを有しており、今後の事業拡大を期待できるものである。

第V章 裾野・周辺企業の動向

前述の通り、航空機産業では、機体・エンジンメーカーを頂点とし、当該企業と直接取引を行う部品メーカーである Tier 1 (主に重工メーカー)、更に部品メーカーに対し、部品や素材を提供する企業、加工や組み立てなどのサービスを提供する企業、工作機械・工場設備等のインフラを供給する Tier2、Tier3 が階層的に存在する。

近年では、航空機市場自体の成長に加え、開発・生産担当範囲の拡大等により生産能力の拡大に迫られた重工メーカーが、その対応のために他企業に部品生産や加工の一部を委託する事例もみられる。また、機体・エンジンメーカーから要求される技術水準を含めた製造能力の高まりを受け、それに対応するための工作機械等・加工設備等に対する要求も一段と高まっている。

また、第I章にて前述の通り、本邦航空機産業の経済波及効果を拡大させるためには、1次間接効果をもたらす部品・素材等の関連産業の自給率を向上させることも重要である。このような観点等から、当行は、重工メーカーのみならず、上述の裾野・周辺企業に対する支援にも取り組んでおり、ここではその代表的な事例の一部を紹介する。

1. 工作機械

重工メーカーをはじめとする機体・エンジンの部品製造者にとって、欠かす事ができないのが工作機械である。

工作機械とは、主として金属の加工物を切断、研削等によって、または電気、その他のエネルギーを利用し、不要部分を除去するなどして形状を作り上げる機械のことである。代表的な工作機械には、マシンングセンタ(MC)や数値制御(NC)旋盤等がある。

航空機部品は、自動車等に比べ一層の信頼性、安全性、軽量化、高性能が要求される。そのため、航空機産業は、工作機械をはじめとする関連産業に技術進歩を促す。

特に、ジェットエンジン部品や重要機構部品の加工においては、複雑な形状の上に、CFRP やチタン化合物、ニッケル化合物等の難削材部品が多いうえ、高精度の加工が求められる。

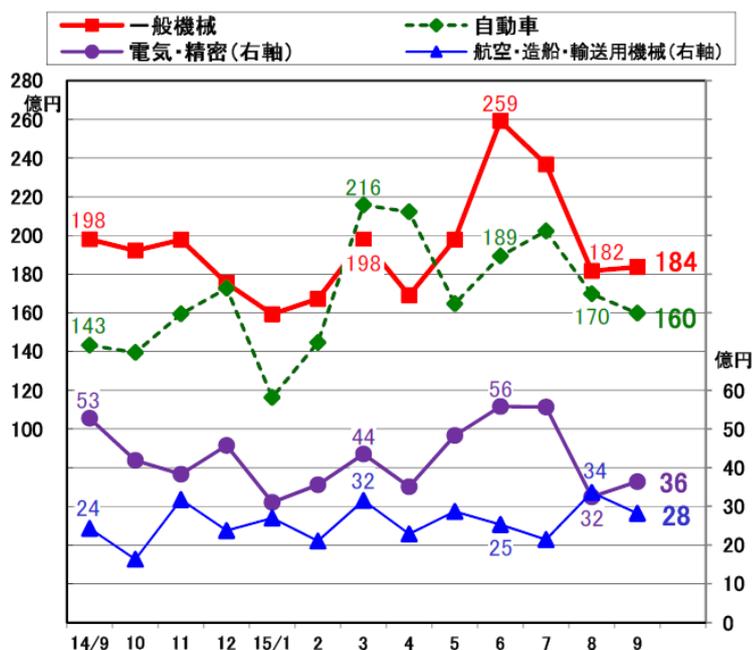
例えば、タービンブレードをはじめとしたエンジン構成部品には同時5軸制御(直線3軸の加工に「傾斜」と「回転」の2軸を割り出す機構を付加することによって、複数の面加工を可能としたもの)でなければ加工できないものがある。また、エンジンは、高温且つ高圧の中で稼働しなければならない、僅かな狂いが動作に致命的な影響を及ぼす可能性があるため、1mmの千分の1であるミクロン単位の極めて高精度な加工技術が必要となる。さらに、また、航空機部品は、一般部品に比較して、長尺のものや複雑形状のものが多いだけでなく、加工時に発熱の大きいチタン材やバリ・欠損の出やすいCFRP等、加工の難易度が高いとされている。したがって、形状精度の改善と加工時間の短縮を可能とする5軸加工機や高高度合金に対応した耐熱高速加工技術や、機体への採用が進んでいるCFRPに対応したウォータージェット切断技術等を有する工作機械等が必要不可欠である。

(1) 工作機械マーケット概観

日本国内における工作機械産業の市場規模は1兆5千億円³⁹で、製造業全体に占める割合は生産額で0.3%程度、従業員数で1.5%程度と、自動車産業等と比較するとさほど大きい業界ではないものの、自動車をはじめとした日本の基幹産業である機械産業を支えてきた重要な業界である。現状、同市場を約600社⁴⁰が分け合う構造であり、数社の大手が独占する市場ではなく、有力な中小メーカーによる裾野が広がっている。

内需において工作機械のユーザーを産業別にみると、2015年12月時点では一般機械向けが35%、自動車向け35%であり、この2業種で需要の大半を占めている。次いで、電気・精密向けが8%となっており、航空機産業が含まれる航空・造船・輸送用機械向けは5%にすぎない。

図表 V-1 工作機械の業種別受注額推移



(出典：(一社)日本工作機械工業会資料)

航空機関連工作機械メーカーの中で、特に大手と呼ばれるメーカーにおいても、航空機産業向け売上が大半という企業は少なく、一般的に1~2割程度に留まる。これは、もともと工作機械メーカーが自動車産業において培った技術をもとに航空機産業に参入したケースが多い事に加え、大型・特殊・高精度である工作機械の製造技術が求められること等の理由から事業規模を拡大できていないためである。

39 出典：経済産業省「平成25年工業統計」

40 出典：経済産業省「平成25年工業統計」

(2) 主要工作機械企業紹介

次に、当行が取引を行う代表的な工作機械メーカーを紹介する。

① 三井精機

- 企業概要

1928年創業の工作機械及び産業機械メーカーで、売上高 203 億円、従業員 552 名（何れも当社単体、2015年3月末時点）の中堅メーカー。埼玉県比企郡に本社工場を持つ。

創業当時、日本には高精度のマザーマシンを製造する技術は無く、当社はその国産化を使命として発展してきた。1935年には、日本初のマザーマシンの開発に成功。1970年には、現在の主力商品であるマシニングセンタの製造を開始するなど業容を拡大してきた。三井精機のマシニングセンタは、精密性及び剛性に定評があり、特にチタン合金等の難削材加工に対する需要が増加している航空機産業において、国内有数のシェアを誇る。MHI、KHI、IHI を初めとする大手重工メーカーに対しても納品しており、本邦航空機業界の部品製造の現場に欠かすことのできない企業の一つである。

一般的に、工作機械メーカーの売上の中心は自動車産業や電子機器部品製造向けであり、航空機関連は1割前後である企業が多いものの、三井精機は売上の19%（2011年度）と割合が大きいことが特徴的である。

- 航空産業向け製品

当社の工作機械は、航空機産業において、エンジンや機体などの様々な部品の加工に用いられている。

<エンジン向け>

近年、ジェットエンジンの高性能化に伴い、エンジン内の圧力が上昇。これに伴い、エンジン内の温度も上昇傾向にあり、高温化に耐えるニッケル基耐熱合金に対する需要が増加している。

ニッケル耐熱合金は、「超耐熱・超耐食合金」と呼ばれ、難削材の中でも特に加工が難しい「超難削材」と呼ばれることもある。高温下でも強度が落ちにくいこと、加工硬化が生じやすいこと、熱伝導率が悪く工作機械側に熱負担がかかること等、部品素材としての優れた特性が、加工においては技術的なハードルとなる。

三井精機は、ニッケル耐熱合金等を使用して作られるインペラー（エンジン内の空気圧縮装置で用いられる羽根車）、プリスク（エンジンの羽根と、それが取り付けられる部品が合体した構造物）、及びファンブレード（エンジンの羽根）等の加工が可能な、高精度の 5 軸加工マシニングセンタを開発・製造している。

図表 V-2 5 軸マシニングセンタのイメージ(当社製品)



(出典: 三井精機)

図表 V-3 5 軸マシニングセンタにより削り出したインペラーのイメージ



(出典: 三井精機)

5 軸加工機とは、XYZ 軸移動の 3 軸加工機に回転軸を 2 軸付加したものであり、左右、前後、上下の 3 軸に加えて傾く 2 軸も制御して加工を行う。例えば、3 軸加工では工具のホルダと加工物の干渉を避けるため、工具の突き出し量を長く取らざるを得ないが、突き出し量を長くするほど工具

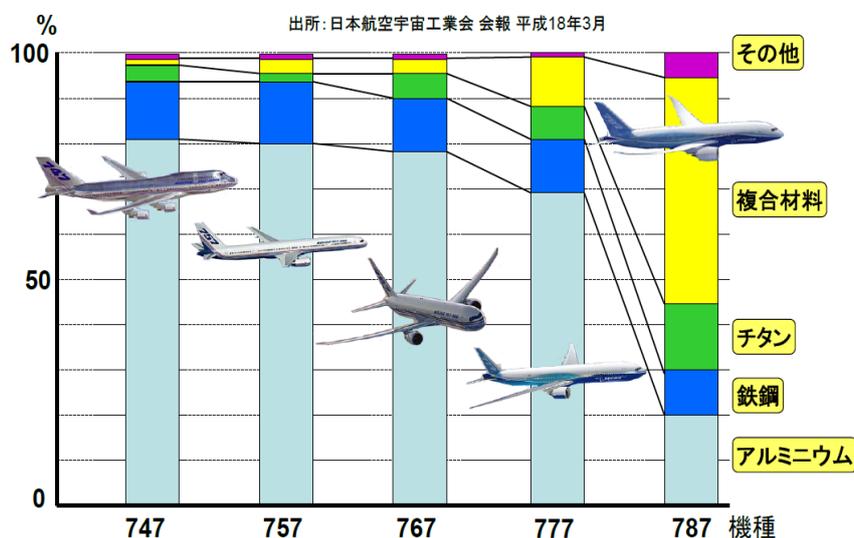
の剛性は低くなるため、精度が維持できないことに加え、工具が届かない部分については、放電加工を行わざるを得ない等のデメリットがある。他方、5 軸加工では、工具もしくは加工物を傾けることによって、短い突き出し量で加工できるため高精度加工ができ、放電加工も回避することができる。

当社は前述の部品の他、高圧タービンブレード(エンジン内で空気を膨張させる羽根)や、ノズル・ガイド・ベーン(静翼)などを加工する工作機械も製造している。これらの部品は、耐熱合金鋼を使用しているが、その使用環境から、冷却をしないと高温に耐えられない。そのため、部品内部から表面に冷却用エアを出して、空気の膜をつくり部品を保護する必要がある。エア噴出のために、部品表面には無数の冷却用穴を加工する必要があり、三井精機はレーザーによる高速穴空け加工が可能な 5 軸制御レーザー加工機を製造している。

<機体向け>

機体は、かつて大半がアルミニウムを用いて製造されていたが、更なる軽量化・高強度化に対する要請から、近年では複合材料(金属やプラスチック、セラミックス等 2 種類以上の材料を組み合わせ、素材のもつそれぞれの特性を生かし単独では得られなかった機能、性能を持たせた材料)、チタンといった部材の活用が急速に増加している。1969 年に初飛行した B747(通称、ジャンボジェット)では、機体の約 80%がアルミニウム製である一方、2009 年に初飛行した B787 では、アルミニウムの割合は約 2 割まで減少し、代わりにチタンが約 15%、複合材料が約 5 割近くを占めるようになっている。

図表 V-4 ポーイングの航空機における構造材の変遷



(出典:(一財)日本航空宇宙工業会会報)(2006年3月)

複合材料の中でも特に中心となるのが、CFRP である。CFRP は、炭素繊維を樹脂で貼り合わせて作られるが、樹脂の強度が弱いために、加工方法によっては切削の際に繊維が面で剥がれてしまうことがある等、従来の切削技術では加工が難しい素材である。

また、CFRP は、アルミニウムと接触すると、電池作用により腐食が発生するという特性がある。そのため、腐食が生じにくい素材としてチタンの導入が進められることになる。しかし、チタンは耐食性、耐熱性、耐久性といった優れた特性を持つ一方、加工時には、熱伝導率の小ささを要因として、切削時に発生した熱が逃げられずに工具と加工材に蓄積するため、工具の磨耗が大きくなる等の問題がある。そのため、チタンは加工が難しい「難削材」と呼ばれ、高度な加工法が必要となる。

当行は、当社に対し、2012年10月に、工作機械メーカーでは初となる「DBJ スマートジャパンプログラム⁴¹」に基づく融資を実施し、本邦航空機産業に欠かすことのできない最先端の工作機械メーカーを支援している。

41 DBJ スマートジャパンプログラムは、震災からの復旧・復興、円高、欧州金融危機、海外を含めたサプライチェーンの途絶など、外部環境の変化を踏まえた日本経済の持続性確保を目的に、(1)世界に通じる競争力強化、(2)まちづくり、(3)環境・エネルギーの3分野について金融サポートを行うDBJ独自の融資制度

②不二越

• 企業概要

1928年創立の不二越鋼材工業を嚆矢とする富山の老舗機械工具メーカー。創業当初は、機械工具の国産化を目指して創業され、のこぎりの一種であるハクソーの開発・製造を行っていた。その後、ハクソー事業で培った技術を活かし、ドリル等の工具事業を開始。さらには、特殊鋼、ベアリングといった事業にも進出している。

機械工具の売上のうち、7割は自動車向けであり、航空機産業向けの工作機械・工具が占める割合は自動車に比べ小さい。

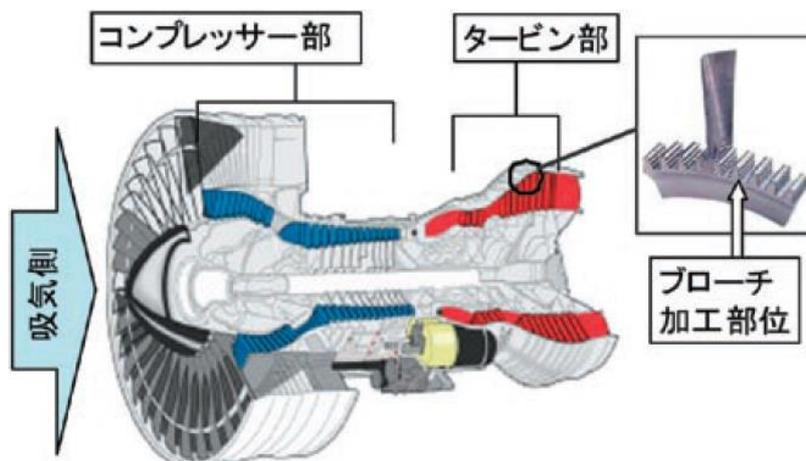
• 航空機産業向け製品

航空機産業向けの当社の代表的な商品は、エンジンのディスク等の加工に用いられるブローチ及びブローチ盤、特殊合金やアルミ、CFRPの加工等に用いられるドリル、である。

<ブローチ>

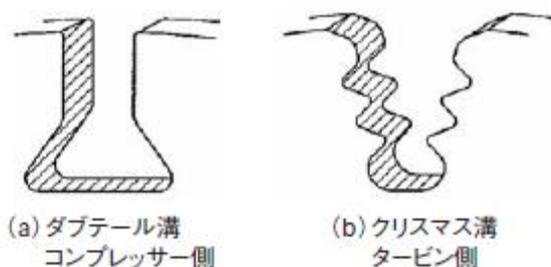
エンジンには、吸気・圧縮を行うコンプレッサーディスク、炎症ガスをコンプレッサーの駆動力に変換するタービンディスクを複数枚備えている。このディスクとブレード(羽根)を勘合させる取り付け溝は、それぞれ特徴的な形状をしており、コンプレッサーディスクにはタブテール(鳩の尾)、タービンディスクには、高温高圧かでの応力分散に優れたクリスマスツリー形状の加工が施される。これらの溝形状は、一枚のディスク全周に数十箇所加工され、その加工にはブローチという工具と、ブローチ盤という機械が用いられる。

図表 V-5 エンジン部品でブローチ加工が用いられる箇所



(出典:不二越)

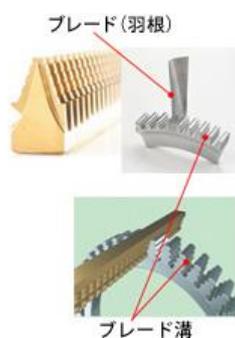
図表 V-6 ブローチ加工が施された溝のイメージ



(出典:不二越)

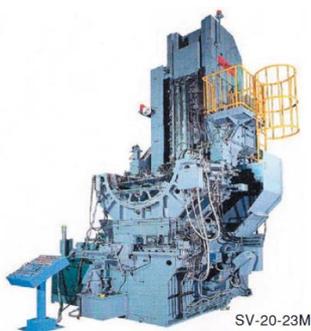
ブローチとは、多数の刃を、徐々に大きくなるように寸法順に並べた工具であり、これをブローチ盤と呼ばれる機械で一直線に引き抜くことで、複雑で不規則な形でも加工可能である。加工時間が短く、高能率であることに加え、加工精度が良く、加工に熟練を要しないことが特徴である。不二越は、ガスタービンロータの溝加工に用いられるクリスマスツリー型のブローチでは、世界トップシェア(2008年時点で50%)を誇る。

図表 V-7 ブローチのイメージ



(出典:不二越)

図表 V-8 ブローチ盤の一例



(出典:不二越)

<ドリル・エンドミル>

不二越は、航空機関連部品の製造における金属等への穴空けや切削等の加工に用いられる工具(ドリル・エンドミル)を製造している。

ジェットエンジン部品に用いられる耐熱合金は、高温でも強度が落ちないことから、その加工には高い硬度の刃先が求められる。不二越では、極めて高硬度な超硬合金を採用することで、耐熱合金も精密加工可能なエンドミルを提供している。

また、ディスク、ブレード、ランディングギアなどに用いられるチタン合金は、鋼等に比べても硬度が高く、工具の欠損が生じやすい。そのため、不二越ではこれを防ぐ超硬合金を用い、また刃先に特殊なコーティングを施し、溝形状を工夫したエンドミルを提供している。

航空機の機体などに近年多様されている CFRP は、耐摩耗性等に優れている一方、通常の刃先で加工した場合、刃先側の摩耗が著しい。そこで、不二越では結晶性・耐摩耗性を向上させたクリスタルダイヤコートを施すことにより、通常のドリル・エンドミルに比べ工具寿命の長期化を可能にしている。

航空機市場の拡大に伴い、不二越は航空機関連製品の製造キャパシティ拡大のため、積極的に投資を行っており、当行は設備投資資金の融資等を通じて当社の生産能力向上をサポートしている。

2. 素材・加工

(1) 日本エアロフォージ

- 企業概要

国内重工メーカー各社が国際共同開発の中で生産分担比率の拡大を図っている一方、本邦航空機産業の競争力の底上げのためには、重工メーカーのみならず、素材メーカーも含めた航空機産業全体の大幅な競争力強化が必要である。

斯様な問題意識の下、国内の重工メーカー、素材メーカーが一同に会する研究会が発足。日本の航空機産業の技術力とコスト競争力強化に向けたサプライチェーンのあり方などの課題について検討を重ねてきた。

日本のメーカーは、機体やエンジンの製造において、素材加工に優れた能力を発揮しているが、その素材となるチタン、ニッケル、アルミ、CFRPなどでも優れた製品を開発・生産している。しかし、素材の加工に必要な信頼性の高い大型プレス機(4~5万トン以上)が国内に存在してこなかった(1万トンクラスが最大)。そのため、材料ビレット製造→荒鍛造加工→後行程処理までの加工前工程を海外事業者に依存せざるを得ず、国内での一貫生産ができないため、材料の安定確保や調達コスト等に課題があり、付加価値の面で不利な立場を余儀なくされていた。次世代航空機の軽量化を目的とした複合材適用拡大に伴うアルミからの大型チタン構造材などへの材料移行を背景として、部品の安定供給の重要性が更に増大する中で、大型プレス機の導入は、本邦航空機産業の地位向上のための悲願であった。

そうした状況の中、日立金属、神戸製鋼所の国内素材メーカー2社、KHI、IHIの国内加工メーカー2社の計4社が共同出資する形で、2011年1月に日本エアロフォージが設立された(その後、伊藤忠丸紅及び双日エアロスペースも資本参画し、2015年3月末時点の出資比率は、日立金属 40.53%、神戸製鋼 40.53%、IHI5.41%、KHI5.41%、伊藤忠丸紅 5.41%、双日エアロスペース 2.70%)。当社は、国内初となる能力5万トン級の最新鋭大型鍛造プレスを導入。国内では不可能であった大型鍛造品の製造事業を2013年4月より岡山県倉敷市において開始した。

当行は、大型鍛造プレスの導入に係る導入資金につき、当社工場が立地する岡山県の地元金融機関である中国銀行及びトマト銀行と共にシンジケート・ローンを組成し、融資を実行した。

当社事業においては、航空用チタン鍛造品でトップシェアを誇り、溶解から製品までチタンの一貫製造体制を持つ神戸製鋼、熱間鍛造金型用工具鋼シェアで日本トップシェアを誇り、特殊合金素材製造技術に高い評価を得ている日立金属等の素材メーカーがチタン、ニッケル、および高合金などの素材を当社に供給。当社はそれらの素材に対して鍛造加工を実施し、鍛造加工後の素材は、当社から素材メーカーへ戻され、熱処理、機械加工、検査を行った後、国内重工メーカー各社に供給する。

日本エアロフォージが設立されたことで、重工メーカーは、国内での材料からの一貫生産によるコストダウン及び安定供給のメリットを享受することが可能となった。

当社が製造する航空機関連部品は、エンジン及び機体に用いられる大型鍛造製品である。エンジンにおいては、チタン及びニッケル製の制圧縮機及びタービン用ディスク、機体用部品においては、チタン製等の結合部材及び脚材等を製造している。

図表 V-9 5 万トン油圧プレスイメージ



(出典：日本エアロフォージ)

3. 部品

(1) 菊地歯車

- 企業概要

菊地歯車は、1940年創立の栃木県足利市に本拠を構える老舗の歯車メーカーである。当社は、工作機械をメーカーと機械を共同開発し、工具は自社開発するなど独自の加工技術を確立しており、高い技術力が要求される歯車開発品の生産依頼が多い。

- 航空機産業向け製品

菊地歯車は、自動車や産業機械向けのギアなどを得意としてきたが、2007年、国内重工業メーカーよりGENx（広胴機であるB787及びB747-8に搭載）のチタンアルミ製低圧タービンプレードの開発品製造を受注したことを機に、航空機産業に参入した。

その後、2009年には、JISQ9100（航空宇宙産業における品質マネジメントシステムの国際的な認証）を国内歯車メーカーとしては初めて取得し、航空機産業への参入を本格化させた。

GENx開発・部品製造の経験を経て、当社はチタンアルミ加工の将来性に目をつけ、長年蓄積された高精度の切削技術と併せて適切な工具を自社加工することでチタンアルミ加工技術を高めた。2010年頃より、当社は経済産業省と連携して海外航空機メーカーへの営業を開始。当社の技術は海外企業からも高く評価され、2013年にはスネクマとの間で、LEAPエンジン用部品である、チタンアルミ低圧タービンプレードの生産契約を結ぶこととなった。

LEAP（「Leading Edge Aviation Propulsion（最先端の航空推進技術）」の頭文字から）は、現在運行中のA320及びB737の後継機であるA320neo及びB737MAXに搭載される予定のエンジンである。製造者はゼネラル・エレクトリックとスネクマの合併会社であるCFMインターナショナルであり、スネクマが低圧タービンの製造を請け負っているため、菊地歯車はスネクマと契約を締結することになった。

スネクマからの受注事業（新事業）は、既存の歯車製造事業とオペレーション等の面で異なる部分が多い。そこで、菊地歯車は新たにAeroEdgeを設立（2015年9月設立）し、同社に対し新事業の譲渡を行う計画をたてた。菊地歯車は、設立に向け長期のパートナーを必要としていたところ、経済産業省の仲介で当行に共同出資者として白羽の矢が立つこととなった（2016年4月に当行より出資を実施）。

AeroEdgeでは、LEAPの低圧タービンプレードの最終段を製造し、スネクマに納入するが、低圧タービンプレードの材質はチタンアルミであり、軽量である反面、精密加工がしにくいという特性を持つ。そのためブレード加工を行うには高度の技術を要する。チタンアルミは耐腐食性に優れ、軽量かつ高強度の材料である。反面、切削時は剪断型と呼ばれる不連続な切りくずが発生し、切削振動を引き起こし、仕上げ面が粗くなる難削材として知られている。チタンアルミはニッケル合金に比べ高温域では強度が低下するため、航空機エンジンの高温部においてはニッケル合金が使用され、一般的に

500～600℃が境界とされている。ニッケル合金とチタンアルミを比較すると、ニッケル合金に比べてチタンアルミは熱が伝わりにくく・変形しやすく・鋳造性が悪く・科学的に活性という特徴を持つ。切削は主にすくい角(逃げ角)・工具送り速度・工具材料で表面の仕上がりが決まってくるが、チタンアルミは熱が伝わりにくいので、発生した摩擦熱が工具に集まってしまい、工具の摩耗を招いてしまう。防止するためには送り速度を遅くする、すくい角を大きくする等の対策が挙げられるが、同時に工具刃先にかかる力が増加し、工具摩耗を招いてしまう。また、チタンアルミは科学的に活性であるため、工具との相性によっては工具が反応を起こしてしまい、工具の摩耗を招いてしまう。工具の摩耗は仕上げ面の粗さに直結するため、チタンアルミ切削のための最適なすくい角(逃げ角)・工具送り速度・工具材料の組み合わせを見つけるのは困難であるとされており、高い技術力を要する。

第Ⅵ章 次世代の航空機産業育成に向けて

これまでの各章では、本邦航空機産業の歩み及び現在の各社の取り組みに焦点を当ててきた。本章では、今後更なる発展が期待される航空機及びその先にある宇宙産業にまで視野を広げ、/未来に向けた様々な可能性を検討したい。

1. 航空機産業の将来的な発展の方向性

本邦航空機産業にとって、凡そ50年ぶりの国産旅客機であるMRJが初飛行を向かえた2015年11月は、一つの節目であろう。しかし、日々進化を続ける航空機産業においては、常に「次の一手」が求められているのも事実である。ここでは、本邦航空機産業が更なる飛躍を遂げるための切り口として、いくつかの可能性について取り上げる。

(1) 航空機関連部品・製品等の自給率改善にむけたアプローチ

我が国初の国産ジェットとしてMHIで製造されたMRJだが、その多くは海外製品であると言われる。例えば、エンジンはプラット・アンド・ホイットニー製であり、操縦用電子機器(アビオニクス)はロックウェル・コリンズ製である。また、ダクト、油圧システム、乗降用・貨物用ドア等についても海外製品を使用している。

これは、既に多数の実績を有する部品を採用することにより、顧客に対し安心感を訴求する効果もある一方、航空機市場の成長を我が国により還流させていくためには、国内で生産し、且つ世界的にも認められる品質の部品・素材等をより増やして行くことは不可欠である。前述の通り、本邦航空機産業の経済波及効果における経済波及効果⁴²が、乗用車の3.549に対し1.502に留まっている一つの理由として、国内自給率の低さが考えられる。この数値を上げ、航空機産業の成長を本邦が享受できるようにするためには、自給率の向上が急務である。

では、そのためにはどのような手段が考えられるだろうか。一つは、装備品分野における統合・メガサプライヤー化である。近年、ボーイングやエアバスは、従来の個別発注から、統合されたシステム単位への発注へと移行している。サプライヤーには、単一の部品ではなく複数のシステムや部品を統合する力が求められており、その結果として欧米を中心にサプライヤーの統合が進み、所謂「メガサプライヤー」が寡占化を進める状況にある。例えば、油圧システムではイトン・エアロスペース、ハミルトン・サンドストランド、与圧・空調システムではハネウェル、ハミルトン・サンドストランド、燃料システムではイトン・エアロスペース、グッドリッチなどが高いシェアを有する。また、米国ユー・ティー・シー・エアロスペース・システムズは、フライトコントロールシステム、電気系統、発電装置、アビオニクス、着陸装置など構造部品以外を幅広くカバーする戦略をとっている。

航空機産業と同様に、自動車産業においてもボッシュやコンチネンタルなどサプライヤーが力をつけてきている。これに対抗すべく、例えばトヨタ自動車では、2004年にグローバル内装システムサプライヤーへの

⁴² ここでは、直接効果と1次間接効果の合算値を指す

脱皮を目指し、豊田紡織、アラコ、タカニチが合併してトヨタ紡織が誕生した。さらに 2006 年には光洋精工と豊田工機が合併し、電動パワーステアリングや軸受けなどを手掛けるジェイテクトが発足している。このように、サプライヤーの統合により国際競争力を強化する動きは、本邦航空機産業においても当てはめることができよう。

また、よりミクロなレベルでのサプライチェーンの変革も必要となる。例えば、前述の CJAC や川崎岐阜協同組合に代表される取り組みは、重エメーカーと部品・加工メーカーが一工程毎に個別契約を結び、受注企業において各工程が終わる度に発注元に戻すという所謂ノコギリ型発注を、各企業を横につないだ一貫生産体制構築により解消しようという取り組みである。これは、発注者の事務工数や費用削減に寄与するのみならず、受注メーカーの競争力強化にも繋がるため、今後このような取り組みが更に広がることが期待される。

この他、サプライチェーンで本邦が“弱い”部分を補い、チェーン全体で収益を上げていくという考え方も必要であろう。例えば、ボーイング、エアバスともに、近年燃費向上のため機体重量の大幅な軽量化を目指し、炭素繊維複合材料を大胆に導入している。B787 では、構造部材の 50%を複合材が占める⁴³。この結果、サプライチェーンは大幅に変化し、炭素繊維を得意とする日本企業は川上(素材)では大きく市場を獲得した。しかし、成形・加工段階では、製造装置については欧米がほぼ独占している状況であり、日本の強みをサプライチェーン全体で活用しきれていない現状がある。

(2)IoT による航空機産業の変化

IoT(Internet of Things)とは、近年提唱されている情報技術に関する新概念であり、コンピュータなどの情報・通信機器だけでなく、世の中の様々な物体に通信機能を持たせ、インターネットへの接続や、モノ同士の相互通信を可能にすることにより、自動制御や遠隔計測などを行う技術概念である。

IoT の波は、航空機産業にも徐々に浸透しつつある。例えば、ゼネラル・エレクトリックは、自社製造するエンジンにセンサーを搭載し、飛行中にリアルタイムでエンジンの状態等をモニタリングすることを可能にしている。これにより、トラブルの発生箇所や、メンテナンスを必要とする箇所を飛行機の着陸前に把握し、従来は某大な時間を要していたメンテナンス時間を短縮している。航空機産業は、前述の通り整備の収益性が高い特徴を持つ。情報技術を活用し、部品販売のみならず、整備のサービスそのもので高い付加価値を提供していくことが、航空機産業で「稼ぐ」上では不可欠であると考えられる。

また、製造物や生産ラインに取り付けたセンサーからデータを取得し、製品の保守や生産ラインに反映するシステムそのものを他社に販売していく動きもある。

航空機部品の生産効率向上という観点でも、IoT は有用である。航空機に対する需要そのものの増加に加え、本邦では MRJ を皮切りに完成機メーカーへと進出を果たしたため、今後は爆発的に仕事量が増加していくことが予想される。MHI は、より効率的な生産体制を実現すべく、航空エンジン事業において部品に無線識別(RFID)タグをつけて個別に生産の進捗を管理する IoT 技術の導入を進めている。部品の情報に対し、工作機械の設備情報や加工条件、素材データ等の項目をひも付けすることで、生産

43 出典：経済産業省「我が国航空機産業の現状と課題」(2013年3月)

工程の最適管理や、異常に速やかに対応可能な体制を整備しているのである。

今後は、モノとインターネットが融合した「サービス」の提供や、情報通信技術を活用した生産技術の効率化という観点で、航空機産業において一層 IT の重要性が高まってくるであろう。

(3) 防衛関連需要の拡大

日本はこれまで、「武器輸出三原則」の方針のもと、武器の輸出を原則禁止してきたが、安倍内閣は 2014 年 4 月、これに代わる「防衛装備移転三原則」を閣議決定し、一定の条件を満たせば輸出を認める方針に転換した。

具体的には、①国連安保理決議や国際条約に違反する場合や、紛争当事国へは輸出しない、②輸出を認め得る場合として「平和貢献や日本の安全保障に資する場合に限定し、透明性を確保し厳格審査する」、③輸出の際に「原則として目的外使用と第三国移転について日本の事前同意を相手国政府に義務付ける」との内容になっている。

防衛技術は年々高度化する一方、財源は限られる中で、先進各国では他国との国際共同開発により開発費を分担・抑制する取り組みを始めている。日本はこれまで F2・F35 戦闘機の日米共同開発・生産を行ってきたが、当時の武器輸出三原則がネックとなり、その幅が限られていた。しかし、防衛装備移転三原則の登場により、国際共同開発の幅が広がったため、今後は新たな技術開発の機会が増加するであろう。

足許では、2016 年 4 月に初飛行した国産初のステルス機「X2」にも期待がよせられる。X2 は、レーダーに探知されにくいステルス性と高い運動性能が特徴であり、日本の技術で将来のステルス戦闘機(F3)の開発の可能性を探るため、防衛省が 1995 年度からエンジンの研究を始めるなどして、開発を進めてきた技術実証機である。

防衛装備庁から設計・製造を受託した MHI を筆頭に、開発計画には約 220 社が参画しており、主翼と尾翼は FHI、コックピット周りは KHI、制御機器はナブテスコ、エンジンは IHI が担当している。国際共同開発については、現在も検討が進められている状況であるものの、今後防衛関連需要の拡大は日本の航空機産業の基礎体力強化に寄与するであろう。

2. 次世代航空機の姿

ここまででは、航空機産業そのものの進化の可能性について触れたが、その産業が生み出す飛行機そのものは、今後どのような発展を遂げていく可能性があるのだろうか。ここでは、環境、利便性等を切り口に最新の動向を紹介する。

(1) 環境

航空機の輸送量は、今後世界の人口増加・経済発展とともに増加するとみられており、民間ジェット航空機だけでも、その機体数は今後 20 年間で約 2 倍の伸びが見込まれている。その一方で、温室効果ガスの排出や騒音など、航空機による環境負荷の増大も懸念されており、環境性の向上が次世代航空機には欠かせない。

① エコエンジン

旅客機のジェットエンジンは圧縮した高温の空気に燃料を噴射し燃焼させるが、燃費改善のため空気を強く圧縮すると、温度上昇に伴い NO_x の発生量が増えるという問題がある。NO_x は、離着陸時や飛行中に大気汚染の原因となるため、国際民間航空機関 (ICAO) が排出基準を強化している。

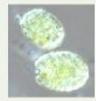
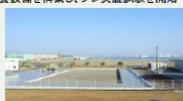
本邦では、JAXA を中心にその研究が進められており、2013 年にはその基礎技術が開発されている。通常のジェットエンジンでは、圧縮空気に燃料を噴射し燃焼を行うため燃料濃度や温度に偏りが発生し、NO_x が発生しやすいが、新技術では燃料と空気を混ぜて混合気をつくるノズル2つを組み合わせ、燃焼室に送り込んだ燃料の濃度を均一にし、温度を均一にすることで、燃料・温度の偏りを抑制している。実験機では、ゼネラル・エレクトリックの最新型エンジンである GEnx よりも NO_x の排出を約 4 割削減することに成功している。実用化は十年以上先とみられるが、今後の発展が期待される。

② バイオジェット燃料

世界で排出される温暖化ガスのうち 2% は航空分野が占めている。世界の航空輸送量は年率およそ 5% の勢いで拡大しており、国連の IPCC (気候変動に関する政府間パネル) は、このままなら 50 年に航空分野の CO₂ 排出量は最大で現在の 5 倍に達すると試算している。また、ICAO (国際民間航空機関) では、航空分野の CO₂ 排出量抑制のためには、軽量素材や高効率エンジンが搭載された高燃費機材への更新や運行方式の改善のほか、航空燃料の代替が大きな役割を果たすと想定しており、その切り札として、生産時に CO₂ を吸収する藻などを活用して作るバイオジェット燃料が期待されている。

これまでバイオ燃料は、エネルギー密度 (リッター当たりのエネルギー) が低すぎるため、少なくとも現行のジェットエンジンには適さないとされていた。しかし現在、世界中の多くの新興企業が、植物や動物性油脂から精製したオイルを用いて、さまざまな燃料の開発を進めている。

図表 VI-1 微細藻類燃料の開発状況

戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業					福島再生可能エネルギー次世代技術研究開発事業
主要事業者	I H I	J-POWER	DENSO	D I C	藻類産業創成コンソーシアム
共同実施者	ちとせ研究所・神戸大	東京農工大・日揮	中央大・クボタ・出光興産	神戸大・基礎生物学研究所	筑波大
微細藻株	ポトリオコッカス 油分(炭化水素)を体外分泌し、保持する特徴を有する藻。増殖能力の高い株を獲得済みであり、更なる改良も実施。 	珪藻 海洋珪藻。オイル成分の分布がシンプル。細胞の付着性がない。自己繁殖性がある。 	シュードココミクサ 日本国内の温泉から発見された藻類。酸性条件下で生育可能であり、野外培養に有利。 	クラミドモナス 海産性モデル緑藻の Chlamydomonas reinhardtii の近縁種。 	土着藻類 
目的代替油	ジェット燃料	ジェット燃料	ジェット燃料・ディーゼル	ジェット燃料	ジェット燃料等
開発段階	応用研究～商用実証へ 鹿児島市に国内最大級(1500㎡)屋外培養設備を構築し、プレ実証試験を開始 	基礎～応用研究(中期) 大型培養槽(円型10㎡、20基;福岡県)により、藻類の連続培養試験を実施中 	基礎～応用研究(中期) 60㎡培養槽(レースウェイ型、愛知県)における、藻類の試験培養を実施中 	基礎～応用研究(中期) 25㎡屋外レースウェイ培養槽を設置し(未開)、屋外培養を実施中 	基礎研究 
研究開発の概要	屋外大規模培養実証を実施中 商用スケールに向けた課題抽出 海外での培養適性評価試験の実施 発電所等の排CO2の有効利用検討 等	屋外培養条件の確立、育種 屋外における半連続培養等の最適化 遺伝子組換えによる育種技術の確立 耐冷性株選育による遠年培養の検討	屋外培養条件の確立、育種 屋外における培養条件の最適化 遺伝子組換え株の商用利用手法確立 藻の省エネ、低コスト回収技術開発	屋外培養条件の確立、育種 屋外における培養条件の最適化 遺伝子組換えによる育種技術確立 代謝解析による油分向上技術検討	福島県内に存在する再生可能エネルギー資源(土着藻類)を活用し、次世代の技術開発を実施。
研究開発支援状況	24年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施。	25年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施。	23年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施(中央大と)。25年度から別のNEDO事業実施(中央大、クボタ、出光興産と)。	24年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施。	25年度～27年度まで上記事業を実施。

(出典:国土交通省・経済産業省「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会でのバイオジェット燃料利用に関する検討について」2015年7月)

欧米では、早くも2011年頃から一部エアラインが商用飛行でバイオジェット燃料を使用している他、日本では2012年に全日本空輸及び日本貨物航空の一部空輸飛行において同燃料が使用された。

日本は実用化で欧米に後れを取ってきたが、官民連携による「オールジャパン」の開発普及体制が始動。経済産業省は2015年7月、「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けたバイオジェット燃料の導入までの道筋検討委員会」を立ち上げている。今後は、大量生産技術の確立や、ジェット燃料混合施設、共同貯油施設、専用タンク等のインフラの整備等が必要となるが、同委員会ではこれらの課題解決に取り組むつつ、2020年をメルクマールとしたバイオジェットフライトの実現を目標に掲げている⁴⁴。

燃料分野は、燃料開発のみならず、前述の通りその供給インフラの整備や燃料の管理システム等、単一の企業に留まらずバリューチェーンの広範に渡る変革・対応が求められる。

(2) 利便性

高速移動手段である航空機にとって、更なる飛行速度の向上は進化の必然的な方向性である。現在の航空機は音よりも遅く、マッハ0.8程度で飛行しているため、日本から欧米までの飛行時間は12時間以上かかるのが実状である。かつて英仏が共同開発し、唯一の超音速旅客機として高速旅客機時代の

44 出典:国土交通省・経済産業省「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会でのバイオジェット燃料利用に関する検討について」(2015年7月)

名詞となったコンコルドは、超音速が生む騒音等のために退役を余儀なくされた。飛行機が音速を超えると、機体から衝撃波が生じるが、その衝撃波が空気を圧縮することにより、地上に届くと同時にソニックブームと呼ばれる爆破音を発生させる。コンコルドは、この衝撃波が大きくなり陸上航路就航が困難と判断されたことから海上航路のみの導入に留まった。その結果、大量生産によるコスト削減が実現せず、商業的な成功に結びつかなかった。このような背景から、超音速旅客機の開発には、衝撃波の影響を抑制する技術が不可欠である。

本邦では、JAXA が静寂超音速機技術の開発に取り組んでおり、2002 年から 2005 年にかけて小型超音速実験機飛行実験により、空気抵抗を下げ燃費を良くする技術を実証している。また、2011 年から低ソニックブーム設計概念実証(D-SEND)プロジェクトにより、ソニックブームが小さくなる機体設計技術のコンセプトを実証に取り組んでおり、超音速旅客機が抱える課題を解決する鍵技術の確率に中心的な役割を果たしている。

3. 航空機産業の次へ

ここまででは、航空機産業という言葉を用いて、主に民間ジェット旅客機について論じてきたが、ジェット旅客機の他にヘリコプターも今後大いなる成長が見込まれる産業である。また、空を超えた先にある宇宙は、大いなるフロンティアでもある。これまで官の領域であった宇宙開発は、近年の技術進歩等を受け民間の参入が相次いでおり、活況を呈している。ここでは、これらの産業の現状と可能性について概説する。

(1)ヘリコプター

ヘリコプターの航空機としての最大の特徴は垂直離陸機能であり、これにより離着陸に必要なインフラが不要となる他、ホバリング・面での移動が可能となる等のメリットを有する。よって、固定翼機(ジェット機等)では参入できない独自のマーケットを形成しており、高い機動性から報道や観光用途のみならず、救急医療や洋上石油・ガスパラントへの移動手段等として活用されている。

図表 VI-2 ヘリコプターと固定翼機の特徴比較

	ヘリコプター	固定翼機
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・垂直離陸、ホバリングが可能 ・費用が安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・速度が速い ・航続距離が長い
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・速度が遅い ・後続距離が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ・2 地点間移動のみ ・大規模滑走路必要 ・費用が高い

(出典: 当行作成)

ヘリコプター市場は、ジェット旅客機市場とは異なり、多数のメーカーが乱立している状況である。2014年のシェアを見ると、民間の上位3社(括弧内はシェア)はエアバス・ヘリコプターズ(44%)、ベル(21%)、アグスタ・ウェストランド(16%)が占める。一方、軍用ではシコルスキー(21%)、ロシアン・ヘリコプターズ(19%)、ボーイング(14%)となっている⁴⁵。

日本市場で見ると、2014年の民間・官公庁向け販売は全体で625機であり、うち上位3社はエアバス・ヘリコプターズ(55%)、ベル(24%)、アグスタ・ウェストランド(13%)である⁴⁶。

ヘリコプターの自主開発能力を有する国は、世界で米露英仏独伊日のみであり、日本にはヘリ機体メーカーとしてMHI、FHI、KHI、ヘリエンジンメーカーとしてはMHI、KHIが存在する。ライセンス製造における各社シェア(製造機数ベース)は、KHI47%、MHI27%、及びFHI26%であり、我が国で開発・製造された機体については、KHIが99.3%(機数ベース)である。KHIとエアバス・ヘリコプターズが開発したBK117は、2014年12月末時点で1,142機を売り上げたヒット機であり、国内ではドクターヘリ等の用途で、多方面において活用されている。

45 出典:エアバス・ヘリコプターズ「Annual Result 2015」

46 出典:エアバス・ヘリコプターズ「2014年日本のタービンヘリコプター市場(登録ベース)」

図表VI-3 我が国でライセンス生産された主な航空機(赤線は、うちヘリコプター)

平成26年12月現在

納入開始年度	機種	種別	用途	技術提携先	製造会社	生産機数
昭和28	Bell 47	小型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	川崎重工業	236
29	B-45(T-34)	単発プロペラ機	初等練習機	Beech Aircraft (米)	富士重工業	162
31	F-86F	ジェット機	戦闘機	North American (米)	三菱重工業	300
31	T-33A	ジェット機	ジェット練習機	Lockheed (米)	川崎重工業	210
32	L-19	単発プロペラ機	連絡機	Cessna (米)	富士重工業	22
33	S-55(H-19)	大型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	46
34	P2V-7	大型ビストン機	対潜哨戒機	Lockheed (米)	川崎重工業	48
37	F-104J/DJ	ジェット機	戦闘機	Lockheed (米)	三菱重工業	230
37	V-107	大型ヘリコプター	汎用	Boeing Helicopters (米)	川崎重工業	160
37	S-62	大型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	27
38	Bell 204(BH-1B)	中型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	富士重工業	127
39	S-61(HSS-2)	大型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	184
43	Hughes 369(OH-6)	小型ヘリコプター	汎用	McDonnell Douglas (米)	川崎重工業	387
45	F-4EJ	ジェット機	戦闘機	McDonnell Douglas (米)	三菱重工業	140
48	UH-1H	中型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	富士重工業	133
56	F-15J/DJ	ジェット機	戦闘機	McDonnell Douglas (米)	三菱重工業	199
57	P-3C	大型ターボプロップ機	対潜哨戒機	Lockheed (米)	川崎重工業	98
58	AH-1S	中型ヘリコプター	対戦車用	Bell (米)	富士重工業	89
61	CH-47J/JA	大型ヘリコプター	汎用	Boeing Helicopters (米)	川崎重工業	89
平成5	SH-60J/K UH-60J/JA	中型ヘリコプター	汎用	Sikorsky (米)	三菱重工業	243
5	UH-1J	中型ヘリコプター	汎用	Bell (米)	富士重工業	130
18	MCH/CH-101	中型ヘリコプター	汎用	Agusta Westland (伊)	川崎重工業	7
18	AH-64D	中型ヘリコプター	戦闘用	Boeing (米)	富士重工業	11

(出典:(一財)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」2015年7月)

図表VI-4 我が国で生産・開発された主な航空機(赤線は、うちヘリコプター)

納入開始年度	機種	種別	用途	開発/製造	生産機数(台数)	備考
昭和28	KAL-1/2	ビストン機	連絡練習機	川崎重工業	4	
29	KAT	ビストン機	連絡練習機	川崎重工業	2	
31	LM-1	ビストン機	連絡練習機	富士重工業	27	
33	KM-2	ビストン機	連絡練習機	富士重工業	66	TL-1 2機含む
35	T-1	ジェット機	練習機	富士重工業	66	
37	KH-4	ヘリコプター	汎用機	川崎重工業	203	
39	YS-11	ターボプロップ機	輸送機	NAMC	182	
41	MU-2	ターボプロップ機	ビジネス機	三菱重工業	765	納入機数
42	FA-200	ビストン機	軽飛行機	富士重工業	299	
43	PS-1	ターボプロップ機	対潜飛行艇	新明和工業	23	
44	P-2J	ターボプロップ機	対潜哨戒機	川崎重工業	83	
45	C-1	ジェット機	輸送機	NAMC/川崎重工業	31	
46	T-2	ジェット機	高等練習機	三菱重工業	96	
49	US-1/1A	ターボプロップ機	救難飛行艇	新明和工業	20	
50	FA-300	ビストン機	ビジネス機	富士重工業	47	FUJII-700/710型
52	F-1	ジェット機	支援戦闘機	三菱重工業	77	
52	T-3	ビストン機	初等練習機	富士重工業	50	
55	MU-300	ジェット機	ビジネス機	三菱重工業	103	
55	B767	ジェット機	輸送機	JADC/CAC	1,067	ボーイングとの共同開発
57	BK117	ヘリコプター	多用途ヘリコプター	川崎重工業	1,142	ECDとの共同開発
60	T-4	ジェット機	中等練習機	川崎重工業	212	
63	T-5	ターボプロップ機	初等練習機	富士重工業	52	
平成6	B777	ジェット機	輸送機	JADC/CAC	1,263	ボーイングとの共同開発
7	XF-2	ジェット機	支援戦闘機	三菱重工業	4	
7	205R	ヘリコプター	多用途ヘリコプター	富士重工業	2	ベルとの共同開発
8	US-2	ターボプロップ機	救難飛行艇	新明和工業	5	US-1Aの改造開発
9	OH-1	ヘリコプター	観測ヘリコプター	川崎重工業	36	
11	MH2000	ヘリコプター	多用途ヘリコプター	三菱重工業	7	
12	F-2	ジェット機	支援戦闘機	三菱重工業	94	
14	T-7	ターボプロップ機	初等練習機	富士重工業	56	T-3後継機
20	XP-1	ジェット機	対潜哨戒機	川崎重工業	2	
21	XC-2	ジェット機	輸送機	川崎重工業	2	
23	B787	ジェット機	輸送機	JADC/CAC	228	ボーイングとの共同開発
24	P-1	ジェット機	対潜哨戒機	川崎重工業	6	

NAMC: 日本航空機製造株式会社
 JADC: 日本航空機開発協会
 CAC: 民間航空機株式会社
 ECD: ユーロコプター・ドイツ社(Eurocopter Deutsch)

(出典:(一財)日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」(2015年7月))

ハネウェル社が 2015 年に公表した試算では、2010-2014 年の世界の民間用タービンヘリコプターの販売機数が 4,300 機であったのに対し、世界的な人口増加に伴う緊急用用途や資源開発関連需要等の増加を受け、2015-2019 年には 4,750-5,250 機に増加すると予想されている⁴⁷。

また、中国はこれまで民間航空機が低空空域を飛行する際は、軍に対する許可が必要であったため、ヘリコプターの導入は殆ど行われていなかった。しかし、2014 年より一部空域⁴⁸において高度 1,000m 以下の空域における軍への飛行許可申請が不要となり、2015 年度は年率 18%で導入機数が増加している。なお、2015 年末時点で中国全土におけるヘリコプター導入機数は 764 機に留まっており、今後急速な市場拡大が見込まれる。

47 出典：ハネウェル社「Turbine-powered, civilian helicopter purchase outlook 2015」

48 瀋陽、広州、海南島、長春、唐山、西安、青島、杭州、寧波、昆明、重慶の各飛行管制区・分区

(2) 宇宙産業

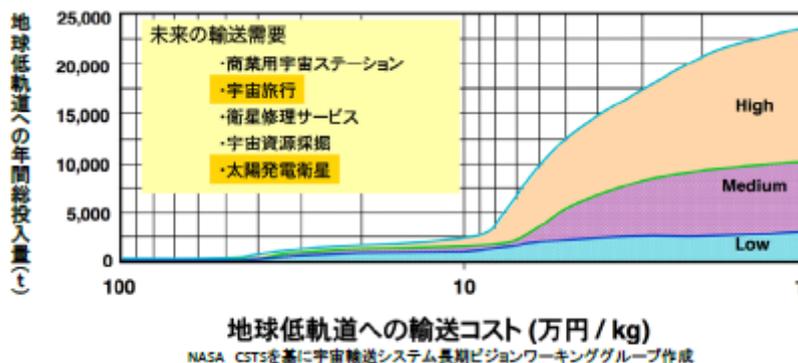
航空機産業との関わりが深く、且つ今後大きな成長が期待されるのが宇宙産業である。産業として初期的な段階にあることから、大量生産を前提としない製品が大半であることに加え、宇宙空間への到達には多大な費用がかかることが特徴である。本邦における宇宙機器の売上高(平成 22 年度)は、宇宙機器産業のみで見れば 2,584 億円であるが、衛星通信・放送等の宇宙システムを利用してサービスを提供する宇宙利用サービス産業(7,815 億円)、カーナビ等の宇宙利用サービス用機器を製造する宇宙関連民生機器産業(42,740 億円)、宇宙利用サービスを利用した事業等を展開するユーザー産業群(38,559 億円)と合わせると、91,698 億円の産業となる⁴⁹。

宇宙産業では、極限環境下に耐える製品が求められるため、先端的な部品・素材技術の結集が必要とされる(商用衛星に必要な部品数は約 70 万個と言われる⁵⁰)。我が国産業が得意とする小型化・高機能化技術の活用が期待される産業である一方で、平成 24 年の経済産業省の資料によれば、日本の通信・放送衛星 20 機中、19 機は外国製というのが実態である⁵¹。

宇宙産業の更なる発展のためには、新たな宇宙利用需要の拡大が不可欠であるが、それには輸送コストの更なる低減が必要となる。

内閣府の発表資料によれば、輸送コストが従来の 1/10 程度になっても、需要の増加は 10 倍弱程度に留まるが、1/100 まで低下した場合は、宇宙医療施設、宇宙太陽光発電、高速 2 点間移動など、これまで想定し得なかった需要が喚起され、大規模な需要が見込まれるとの試算されている。

図表 VI-5 地球低軌道への輸送コストと年間総投入量の関係



(出典:内閣府「宇宙輸送システム長期ビジョン素案 参考資料集」(2014年2月))

使い捨て型の宇宙輸送システムは、年数回の打ち上げでは再使用型よりも経済性が高い一方で、年間十数回以上の打ち上げの場合は完全再使用型宇宙輸送システムがより低コストとなる⁵²。よって、今後の宇宙産業の発展のためには、完全再使用型の宇宙輸送システムの発展が不可欠であり、本邦においては官民においてその取り組みが行われている。JAXAは、「完全再使用型宇宙輸送システム」及び「二地点間輸送サブオービタル機」の両システムの実現に向けた取り組みを行っている。但し、短段式完全再使用型宇宙輸送システムは、技術的な困難が予測されることから、まずは二段式完

49 出典:社団法人日本航空宇宙工業会「平成 23 年度宇宙産業データブック」

50 出典:経済産業省「我が国宇宙産業を取り巻く課題と対応」(2014年9月)

51 出典:経済産業省「我が国宇宙産業を取り巻く課題と対応」(2014年9月)

52 出典:内閣府「宇宙輸送システム長期ビジョン素案 参考資料集」(2014年2月)

全再使用型輸送システムを想定し、2020年頃を目途に本格的な将来輸送システムの開発に着手することを目標に掲げている。また、民間ではPDエアスペースが、完全再使用型弾道宇宙往還機の開発に取り組んでいる。

この他、宇宙分野においては、ベンチャー企業を主体とした民間事業者による動きが活発である。小型のロケット開発については、堀江貴文氏も関与するインターステラテクノロジズ(本社:北海道広尾郡大樹町、代表取締役社長 稲川貴大氏)が2013年に設立され、JAXA、東京大学の技術支援、丸紅の開発費及び営業支援等を受けながら、民間による小型ロケットの開発を進めている。既に燃焼実験、飛翔実験を成功させており、2016年内にも商用化を目指している。

また、小型ロケット開発に加えて、ベンチャー企業であるアクセルスペース(本社:東京都千代田区、代表取締役社長 中村 友哉氏)は東京大学の技術支援も得ながら、低コスト・超小型衛星の開発を手掛けており、既に複数機の超小型衛星開発及び打上げに成功している。将来的な量産化が実現すれば、民間企業、研究機関の独自の宇宙利用が一気に加速する可能性を秘めている。

なお、宇宙関連機器の小型化に関し、例えば、小型のロケット開発においては、アビオニクス的小型化も必須となるが、小型のアビオニクスは大型のロケットでも使用できる可能性がある。斯様に、ベンチャー企業を中心とした、ロケットや衛星を含む宇宙関連機器の小型化は既存の宇宙関連機器の大幅なコスト低減に資する可能性が大きい点でも、今後の動向が注目される。

その他、NASAやJAXA等の公的機関に頼らない、民間による月面探査を目指すチームHAKUTOの活動が挙げられる。チームHAKUTOは、Googleがスポンサーとなり、XPRIZE財団によって運営される月面探査の国際レースに日本唯一のチームとして参加しており、ベンチャー企業であるi.space(本社:東京都港区、代表取締役 袴田武史氏)が中心となって、東北大学と協働しながら、月面探査機の開発及び2016年の打ち上げを予定している。国際レースの要件(①月面での500m以上の移動、②月面から動画・静止画を地球にデータ送信)に加えて、月面の資源探査等のサブミッションも兼ねており、民間主体による宇宙開発のフロンティアを拓ける取り組みとして注目に値する。

以上、本邦の航空機産業の更なる発展・そして航空「機」の枠にとらわれず、日本の強みを行かせる宇宙・その他航空技術分野の発展可能性について検討してきた。航空宇宙産業は、他の産業に比べ一般的に研究開発期間が長く、「長期的」なビジョンに基づくアプローチが不可欠である。当行は、これまで足許の産業競争力強化に繋がる支援を中心に取り組んで参ったが、今後は更に長期的な産業発展を見据えた支援についてもどのような貢献ができるのかを積極的に検討して参りたいと考えている。当行は、JAXAとの間で連携し、①航空分野での政策課題等を踏まえた航空科学技術に関する研究開発の戦略検討、及び②我が国の航空産業及び航空関連企業に対して技術開発から社会実装まで継ぎ目なく技術的及び資金的にサポートする新たな共同支援スキームの開発及び運用の検討に取り組んで参る方針である。また、JAXAのみに留まらず、今後とも関係省庁との連携を強め、未来の航空宇宙産業の礎作りに主体的に貢献して参りたい。

おわりに

日本の航空機産業は戦後航空機製造を禁止された「空白の7年間」の後、YS-11 の挑戦、国際共同開発の時代を経て、今 MRJ が始動しようとしている。プロペラ機からジェット機に変わる、技術が急激に進歩した時代に航空機の製造を許されていなかったという産業としてディスアドバンテージがあった中、その後の長期間の技術蓄積や素材産業の発展により現在の地位を獲得している。しかしながら、まだまだ欧米プライムメーカーの下請けである部位も多く、自国で生産できる部品・素材等が限られているのが実態である。航空機産業は、自動車産業に比べて経済波及効果が低位に留まっているが、今後サプライチェーンの頂点に立つ重工業メーカーのみならず、その周辺企業の国際的競争力向上等により効果が高まれば、世界的に増加が見込まれる航空機関連需要取り込みを背景に、国内経済に広く活気をもたらす産業になるであろう。

今後も MRJ プロジェクト等をはじめとしてメーカー、商社、金融機関、さらには政府含め日本の航空機産業に関わるプレイヤーが相互に連携し合い、世界の航空機産業の中で日本企業の地位が向上し、ひいてはその他の産業にも好影響をもたらすことを願ってやまない。

以上

本稿執筆担当者：

株式会社日本政策投資銀行

屋代 顕 企業金融第1部 副調査役

大沼 久美 産業調査部 副調査役

株式会社日本経済研究所

Appendix

1. 掲載企業等の略称等及び正式名称

本稿での略称	正式名称
アイ・イー・イー	IAE International Aero Engines AG
アグスタ・ウェストランド	Agusta Westland NV
アビオ	Avio S.p.A.
イトン・エアロスペース	Eaton Aerospace Group
イー・アイ・ディー・シー	Aerospace Industrial Development Corporation
エアバス	Airbus S.A.S.
エアバス・ヘリコプターズ	Airbus Helicopters
エム・ティー・ユー	MTU Aero Engines
エンブラエル	Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.
ガルフストリーム	Gulfstream Aerospace Corporation
グッドリッチ	Goodrich Corporation
コンチネンタル	Continental Airlines
サフラン	Safran S.A.
サーブ	Saab AB
サンドストランド	Sundstrand Corporation
GE アビエーション	GE Aviation
CFM インターナショナル	CFM International
シコルスキー	Sikorsky Aircraft Corporation
新明和	新明和工業株式会社
スカイウエスト航空	SkyWest Airlines
スネクマ	Snecma
住友精密	住友精密工業株式会社
スピリット・エアロシステムズ	Spirit AeroSystems, Inc.
ゼネラル・エレクトリック	General Electric Company
ゾディアック・エアロスペース	Zodiac Aerospace
当行	株式会社日本政策投資銀行
トランス・ステーツ・ホールディング	Trans States Holdings, Inc.
パーカー・エアロスペース	Parker Aerospace
ハネウェル	Honeywell
ハミルトン・サンドストランド	Hamilton Sundstrand
ヒーステクナ	Heath Tecna Inc.

本稿での略称	正式名称
日飛	日本飛行機株式会社
フィアット	Fiat Avio
プラット・アンド・ホイットニー	Pratt & Whitney
ベル	Bell Helicopter Textron
ボーイング	The Boeing Company
放電精密	株式会社放電精密加工研究所
ボッシュ	Robert Bosch GmbH
ボルボ	Volvo Group
ボンバルディア	Bombardier Inc.
マクドネル・ダグラス	McDonnell Douglas
三井精機	三井精機工業株式会社
ロシアン・ヘリコプターズ	Russian Helicopters
ロックウェル・コリンズ	Rockwell Collins
ロールス・ロイス	Rolls-Royce
ユー・ティー・シー・エアロスペース・システムズ	UTC Aerospace Systems
ユナイテッド航空	UNITED, Inc.
ユナイテッド・テクノロジーズ	United Technologies Corporation
ユーロコプター	Eurocopter Group
CTDC	財団法人民間輸送機開発協会
FHI	富士重工業株式会社
IADF	公益財団法人 航空機国際共同開発促進基金
IHI	株式会社 IHI
JADC	一般財団法人 日本航空機開発協会
JAEC	一般財団法人日本航空機エンジン協会
JAXA	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
KHI	川崎重工業株式会社
MHI	三菱重工業株式会社
MHIAEL	三菱重工航空エンジン株式会社
NEDO	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

2. 参考資料

① データベース等

名称	発行者(HPのURL)
航空宇宙産業データベース	(一社)日本航空宇宙工業会
航空と宇宙((一社)日本航空宇宙工業会会報)	(一社)日本航空宇宙工業会
装備品専門委員会成果報告書	(一社)日本航空宇宙工業会
航空機等の動向調査	(公財)航空機国際共同開発促進基金 http://www.iadf.or.jp
民間航空機関連データ集	(一財)日本航空機開発協会 http://www.jadc.or.jp
航空機エンジン協会 HP	(一財)日本航空機エンジン協会 http://www.jaec.or.jp
航空実用事典	日本航空 http://www.jal.co.jp
日刊工業新聞「航空機を支える」特集	日刊工業新聞社
AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY	The McGraw-Hill Companies
BUSINESS & COMMERCIAL AVIATION	The McGraw-Hill Companies
Aero Strategy Management Consulting HP	http://www.aerostrategy.com/
Gorham Technical Associates, Inc	http://www.gorham-tech.com
炭素繊維協会 HP	http://www.carbonfiber.gr.jp/
FAA(Federal Aviation Administration) HP	http://www.faa.gov
(一財)日本品質保証機構 HP	http://www.jqa.jp
総合科学技術会議(Council for Science and Technology Policy)	http://www8.cao.go.jp/cstp
技術戦略マップ 経済産業省	http://www.meti.go.jp
2015年6月設備投資計画調査	(株)日本政策投資銀行
平成23年(2011年)産業関連表(確報)	総務省
平成26年3月東海産業競争力協議会 報告書	中部経済産業局東海産業競争力協議会
東海地域の戦略産業の現状(2013)	中部経済産業局東海産業競争力協議会作業部会
平成23年版日本の航空宇宙工業	(一社)日本航空宇宙工業会
近畿経済産業局 HP	http://www.kansai.meti.go.jp/E_Kansai/page/201405/01.html
航空機関連産業の課題と将来戦略集積形成の可能性に関する調査(2010)	(株)日本政策投資銀行
世界経済の潮流(2004)	内閣府
東海北陸経済情報年報(2014)	中部経済産業局

② 書籍

書籍名	出版社	著者
現代航空論:技術から産業・政策まで	東京大学出版会	鈴木真二ほか

航空機部品	日本経済新聞社	久木田 実守
ボーイング 787 はいかにつくられたか	ソフトバンク・クリエイティブ	青木 謙知
プロが教える飛行機のすべてがわかる本	ナツメ社	鈴木 真二(監修)
図解・飛行機のメカニズム	講談社	柳生 一
ボーイング vs エアバス	アリアドネ企画	マシュー・リーン
国産旅客機 MRJ 飛翔	大和書房	前間 孝則
AIRBUS JET STORY	イカロス出版	青木 謙知
BOEING JET STORY	イカロス出版	青木 謙知
旅客機年鑑 2010-2011	イカロス出版	青木 謙知
BOEING787 ドリームライナーのすべて	イカロス出版	青木 謙知他
日本の産業クラスター戦略	有斐閣	石倉洋子他

③論文等

海上 [2011], 「航空機産業における部品供給構造と参入環境の実態」, 『日本公庫総研レポート』 No.2010-3 日本政策金融公庫総合研究所
山本[2011], 「日本における航空機産業の動向と新規参入に向けた展開」, 『機械経済研究』No.42, (一財)機械振興協会
Marshall, A. [1890], Principles of Economics (8th ed.) , Macmillan
Weber, A. [1909], Über den Standort der Industrie: Reine Theorie des Standorts
Krugman, P. [1991], Geography and Trade, The MIT Press
Piore, M.J. and C.F.Sabel [1984], The Second Industrial Divide, Basic Books
Porter, M. E. [1998], On competition, Harvard Business School Press.
Breschi, S. and F. Malerba [1997], “Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries”, C. Edquist ed., Systems of Innovation, Pinter, pp.130-156
Ansoff, H.I. [1965], Corporate Strategy, McGraw-Hill.
Coleman, J.S. [1990], Foundations of Social Theory, Harvard University Press.
Carlson, B. ed. [1997], Technological Systems and Industrial Dynamics, Kluwer Academic Pub
Saxenian, A. [1994], Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128, Harvard University Press.
Camagni, R. ed. [1991], Innovation Networks: Spatial Perspectives, London: Belhaven Press.
Porter, M. E. [1990], The Competitive Advantage of Nations, The Free Press.
藤田・久武 [1999], 「日本と東アジアにおける地域経済システムの変容 新しい空間経済学の視点からの分析」, 『通商研究レビュー』第13号.
齊藤[2012], 「企業集積の効果」, 『富士通総研 研究レポート』No.383, 富士通総研経済研究所

©Development Bank of Japan Inc.2016

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引等を勧誘するものではありません。本資料は当行が信頼に足ると判断した情報に基づいて作成されていますが、当行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しましては、ご自身のご判断でなされますようお願い致します。本資料は著作物であり、著作権法に基づき保護されています。本資料の全文または一部を転載・複製する際は、著作権者の許諾が必要ですので、下記連絡先までお問い合わせ下さい。著作権法の定めに従い引用・転載・複製する際には、必ず、『出所：日本政策投資銀行』と明記して下さい。

本稿に関するお問い合わせ先

株式会社日本政策投資銀行

〒100-8178 東京都千代田区大手町 1-9-6

Tel. 03-3244-1680

企業金融第1部