

2022年度現地ニーズ等活用促進事業
欧州航空機産業における現地ニーズ調査

—エアバス・サプライチェーン特徴とその動向—

2023年3月
日本貿易振興機構（JETRO）

免責事項

本レポートは、日本貿易振興機構（ジェトロ）パリ事務所が委託先 KISHIKAWA CONSULTING に作成委託し、2023年2月に入手した情報に基づき作成したものです。掲載した情報は作成委託先の判断によるものですが、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本レポートはあくまでも参考情報の提供を目的としており、提供した情報の正確性、完全性、目的適合性、最新性及び有用性の確認は、読者の責任と判断で行うものとし、ジェトロおよび KISHIKAWA CONSULTING は一切の責任を負いません。これは、たとえジェトロおよび KISHIKAWA CONSULTING が係る損害の可能性を知らされていても同様とします。

禁無断転載

作成者 日本貿易振興機構（ジェトロ）パリ事務所／ビジネス展開支援課

〒107-6006 東京都港区赤坂1丁目12番32号

BDA@jetro.go.jp 電話番号：03-3582-5511(代表)

はじめに

本稿は、世界の二大民間航空機メーカーの一つである Airbus Group (エアバスグループ) 傘下の Airbus (エアバス) が手掛ける民間航空機事業におけるサプライチェーンの特徴とその動向について、2022年9月から2023年2月にかけて調査を行ったものである。本調査は、4つの報告から構成される。

まず、「報告1」では、**エアバス・サプライチェーンの基本的構造**について解説する。最初に、サプライチェーンを理解する前提として、エアバスグループ民間航空機事業の**主要プログラムの概略**を紹介。次に、エアバスの民間航空機事業のサプライチェーンが成立する過程を踏まえ、従来の Boeing (ボーイング) のサプライチェーンとの相違点という観点から、**エアバス・サプライチェーンの構造的条件**について分析を行う。その上で、これらの条件のもとに形成されたエアバスの**主要プログラム A320 及び A350 のサプライチェーンの仕組み**についてその概略を示す。

次に「報告2」では、ボーイングとの競合関係にある**エアバス・サプライチェーンの「進化」プロセス**について検討する。まず、B787プログラムを進める上で、**ボーイングがエアバスのサプライチェーンから受けた影響**を紹介。次に、A350プログラム推進の背景にあった**航空機産業の質的变化とエアバスの戦略的方向性**について解説を行う。その上でエアバスが**A350プログラム向けに行ったサプライチェーンの再編**について例を挙げて示し、最後に、**A350プログラムのサプライチェーンを構成する主な企業**をボーイングのB787プログラムとの比較において紹介することとする。

「報告3」では、エアバス・サプライチェーンのうち、エアバスコンソーシアム参加国である**主要国、すなわちフランス、ドイツ、英国、スペインの主な企業とそれぞれのサプライチェーンの特徴**を示すこととする。本報告では、国別に事業が振り分けられた歴史的経過があり、グローバルな調達ที่広がりつつも、依然として国単位で組織されている傾向の強い構造部品部門を取り上げ、それぞれの国のサプライチェーンの**主要な企業**、またそれら企業同士の関係及びその動向について紹介したい。

「報告4」では、報告1から3までの記述を踏まえ、**エアバス・サプライチェーンの調達戦略の今後の動向**について検討を加える。とりわけコロナ禍以降のエアバス・サプライチェーンの**マネジメント上の課題**、同社の**戦略**、今後の**方向性**を見出したい。また、エアバスの**サプライチェーンマネジメントの方針**による**Tier1、Tier2 サプライヤーへの影響**、また、これら**サプライヤー企業の戦略**についても解説する。最後に、エアバス・サプライチェーンと**日本企業のあり得るべき関係性**についても若干の考察を行うこととする。

なお、4つの各報告では、現在、航空機産業における**重要な技術トピック**をそれぞれ1件ずつ取り上げ、その技術動向や関係企業の動きなどについて紹介する。また、サプライチェーンのキーとなる**企業関係者等のインタビュー**も掲載しており、本論の内容を補完する情報の収集に努めた。

報告の作成手法としては、航空機産業のサプライチェーンに関する英語圏及びフランス語圏における学術論文を参考にしたほか、製造業や航空機産業を取り扱う専門誌の記事、専門サイトの情報、エアバスグループほかサプライチェーンを構成する企業の事業報告書、さらに、企業サイトへの掲載情報を活用している。また、インタビューは、エアバスのA350XWBプログラム参加企業への生産プロセス指導を行った経験を持つフランス人パートナー**OE-XPERTS** 代表により、2022年11月から2023年2月にかけて、それぞれ実施されたものである。

本稿により、日本の航空機産業に関わる企業人や政策立案者の方々に、欧州市場の動向や、今後の事業戦略を検討する上での一材料を提供することができれば幸いである。

目次

はじめに	2
「報告1」エアバス・サプライチェーンの基本的構造	7
第1節 エアバス民間航空機プログラム	7
第1項 A220 ファミリー	7
第2項 A320 ファミリー	8
第3項 A330 ファミリー	10
第4項 A350XWB ファミリー.....	11
第5項 A380 ファミリー	12
第2節 エアバス・サプライチェーンの基本的構造	14
第1項 複数国による分業体制.....	15
第2項 米国企業への依存	17
第3項 マーケットの確保とオフセット.....	19
第4項 小規模の軍事関連事業	20
第3節 エアバスのサプライチェーンの地域分布.....	22
第1項 A320 サプライチェーン.....	23
第2項 A350XWB サプライチェーン	24
技術フォーカス（複合材）	27
サプライチェーン・インタビュー（調達部門）	30
「報告2」エアバス・サプライチェーンの「進化」プロセス	32
第1節 B787 プログラムとエアバスの影響	34
第2節 A350XWB プログラムとエアバス・サプライチェーン戦略.....	40
第3節 A350XWB プログラム下のエアバスのサプライチェーンの再編	44

第4節 A350XWB 構造部品主要サプライヤー B787 との比較.....	48
技術フォーカス（積層造形）	57
「報告3」主要国別サプライチェーンの特徴（構造部品）	62
第1節 主要4カ国の構造部品サプライチェーンの特徴.....	63
第1項 フランス構造部品サプライチェーン	64
第2項 ドイツ構造部品サプライチェーン.....	75
第3項 英国構造部品サプライチェーン.....	81
第4項 スペイン構造部品サプライチェーン	85
第2節 欧州構造部品部門サプライチェーン総括.....	89
技術フォーカス（電動化）	92
サプライチェーン・インタビュー（小型電化飛行機の開発）	99
「報告4」エアバス・サプライチェーン調達戦略の今後の見通し.....	103
第1節 エアバスの軌跡.....	106
第1項 エアバス・サプライチェーンの特徴	107
第2項 2000年代後半以降のサプライチェーンの動き	108
第2節 エアバスの現状認識と戦略.....	109
第1項 コロナ禍前のエアバス	109
第2項 コロナ禍後のエアバス	111
第3節 Tier1、Tier2 サプライヤーへの影響とその戦略.....	120
技術フォーカス（水素航空機）	123
サプライチェーン・インタビュー（水素燃料推進システム開発）	135
最後に：日本航空機産業とエアバス・サプライチェーンの可能性	138

2022年度現地ニーズ等活用促進事業
欧州航空機産業における現地ニーズ調査

—エアバス・サプライチェーン特徴とその動向—

「報告1」 エアバス・サプライチェーンの基本的構造

「報告 1」 エアバス・サプライチェーンの基本的構造

エアバスグループは、主に民間航空機製造部門のエアバス、防衛及び宇宙部門の Airbus Defense & Space (エアバス D&S)、ヘリコプター部門の Airbus Helicopters (エアバス・ヘリコプターズ) の三社から構成されている。また OEM 企業としては、イタリアの Leonardo (レオナルド) との合弁である ATR がターボプロップエンジンによる近距離用旅客機を製造している。エアバスグループにはこれら OEM 企業以外に、エアバスのサプライチェーンの主要サプライヤーでもある複数の構造部品メーカー、Airbus Atlantic (エアバス・アトランティック/フランス)、Airbus Aerostructures (エアバス・アエロストラクチャーズ/ドイツ)、Premium Aerotec (プレミアム・アエロテック/ドイツ) などのほか、材料メーカー、非破壊検査などのテスト会社なども含まれている。

本報告では、エアバスグループの民間航空機製造部門におけるエアバスのサプライチェーンの構造上の基本条件について検討することとする。まず、第 1 節では、現在、製造中、あるいは最近まで製造されていたエアバスの民間ジェット航空機の各プログラムについて概観し、次に第 2 節では、エアバスのサプライチェーン成立の基本的な条件とその基本構造について示す。第 3 節では、主要プログラムである A320 及び A350XWB ファミリーのプログラムにおけるサプライチェーンの概要について簡単な解説を加えたい。

第 1 節 エアバス民間航空機プログラム

エアバスは、ボーイングと並び、現在、世界で唯一、大型、中型及び小型のすべてのセグメントの旅客機を生産、販売する OEM 企業である。同社が生産する各機種の詳細は、エアバスのサプライチェーンを理解する上での前提となる。以下、A220、A320、A330、A350XWB 及び A380 ファミリーのプログラムについて、それぞれ概要を示す。

これらのプログラムの 2022 年 11 月末現在の発注・納機状況は次のとおりである。すなわち、短中距離用の狭胴機である A220 及び A320 の発注総数は 17,579 機となっており、このうち、10,854 機はすでに納機済み、受注残は 6,725 機となっている。一方、中長距離用の広胴機である A330、A350XWB では、発注総数は 3,060 機、そのうち納機済み機数は 2,441 機で、発注残は 619 機となっている。なお、生産中止となった A380 の納期数は 251 機である。

第 1 項 A220 ファミリー

2016 年、エアバスは、財務的困難に陥っていた Bombardier (ボンバルディア) と、同社が 2000 年代後半から 2010 年代にかけて開発した近中距離向けの狭胴機の C シリーズに関し提携を結ぶ。これにより CS100 型機は A220-100、CS300 型機は A220-300 という型式名で、エアバス

のブランドで販売されることになった。さらに 2020 年には、エアバスが同プログラムを 6 億カナダドルで完全買収している。

A220-100 は 100-135 人定員の標準タイプで、全長 35.0m、翼幅 35.1m、最大巡航速度はマッハ 0.82。最大航続距離は 6,390km となっている。A220-300 は 120-160 人定員の標準タイプで、全長 38.7m、翼幅 35.1m。最高巡航速度はマッハ 0.82。最大航続距離は 6,297km となっている。エンジンは Pratt&Whitney (P&W) の PW1000G シリーズを採用。



A220-300 (エアバス提供)

B787 ドリームライナーや A350XWB と同様に複合材の使用を増やし、燃費性能を従来機と比較して、約 25%向上させている。また、キャビン空間も改善した同機は、エアバスのファミリーとして販売されることで、同グループの世界的なメンテナンスネットワークの活用が可能になることが強みとなった。

生産拠点としては、カナダ、ケベック州の Mirabel (ミラベル) に FAL (Final Assembly Line : 最終組み立てライン) があり、組立前ライン 1, 組立ライン 2 を備えていたが、2020 年には、エアバスの米国拠点、A320 ファミリーの FAL があるアラバマ州 Mobile (モビール) に A220 の米国市場向けの FAL が新たに建設されている。

第 2 項 A320 ファミリー

A320 ファミリーは、近中距離向けの狭胴機で、1984 年にエアバスが開発を開始、1987 年に初飛行を実現し、1988 年にエールフランス航空が初運航している。長胴型の A321 は 1994 年、短胴型 A319 は 1996 年に運航開始している。さらに短胴型の A318 は 2003 年の初運航である。ただし、A318 は商業的には伸び悩み、2021 年までに生産されたのは 80 機に過ぎない。A220 がエアバスに加わったこともあり、現在発注数はゼロとなっている。

A320NEO は、A380 や A350XWB の開発で採用された技術を A320 ファミリーに導入し、更新したものであり、2010 年に開発を始動、2014 年に初飛行を実施、2016 年にルフトハンザ航空で初運航されることになった。エンジンは CFM LEAP-1A 及び PW1000G から選択される。燃料効率は当初の A320 と比較し 15~20%の改善を果たし、CO2 排出量も削減、窒素酸化物の排出も半減させている。なお、A320NEO のほか、前世代機と同様に長胴型、短胴型を備えており、それぞれ A321NEO、A319NEO として開発、運航されている。



A321XLR (エアバス提供)

A320NEO は、140-170 人定員を標準とし、最大で 180 席の確保が可能である。全長 37.57m、翼幅 35.80m、最大巡航速度はマッハ 0.82。最大航続距離は 6,300km となっている。A321NEO は 180-220 人定員を標準とし、最大で 244 人の定員まで可能。全長 44.51m、翼幅 35.8m。最高巡航速度はマッハ 0.82。最大航続距離は 7,400km となっている。A319-NEO は 120-150 人定員を標準とし、最大で 160 人の定員。全長 33.84m、翼幅 35.8m。最高巡航速度はマッハ 0.82。最大航続距離は 6,850km となっている。

一方、A321NEO に変更を加えた A321LR (Long Range)は給油タンクを増設し、7,400km の最大航続距離を確保している。同機の初飛行は 2018 年。その後、A321XLR (Xtra Long Range) も開発がスタートし、2022 年 6 月には試験飛行が成功裏に行われた。最大航続距離は 8,700km と大幅に伸びており、ニューヨーク・ローマ間、マイアミ・ロンドン間などの長距離路線での運用が可能。LCC 航空会社などによる主要空港以外の空港間をつなぐ新規長距離路線の開設にもつながると期待されている。2022 年秋には、ボーイングが少なくとも今後 10 年は狭胴機の開発を行わない方針を発表していることから、A321LR 及び A321XLR により、200 席以上の長距離狭胴機の市場は、エアバスの独壇場になるとの見方が強まっている。

A320 ファミリーは、1988 年の初就航以来、2022 年 11 月末現在で、17,187 機の発注を受けており、競合する B737 を製造するボーイングとの対抗上、エアバスの優位を強める重要な役割を果たしている。

A320 ファミリーの FAL は、Toulouse (トゥールーズ/フランス)、Hambourg (ハンブルグ/ドイツ)、天津 (中国)、モビール (米国) の 4 カ所、トゥールーズでは A320、ハンブルグでは A318、A319、A320、A321、天津では A319、A320、モビールでは A319、A320 と A321 が組み立てられている。組立ラインは、ハンブルグが 4、トゥールーズが 2、モビールと天津がそれぞれ 1 となっており、コロナ禍直前では、ハンブルグが月産 40 機、トゥールーズが 16 機、モビールが 6 機、天津が 6 機の生産力を保有。¹ なお、A320 ファミリー全体発注数の約 40% を占めるとされる A321 の増産に対応するために、現在の A320 ファミリー FAL の代替として、近代化、デジタル化を進めた最新の FAL をトゥールーズに設置、2023 年をめどに稼働開始される予定になっている。また、天津においても A321 の生産を可能にする整備が現在、進められている。

第 3 項 A330 ファミリー

当初の A330 は A340 とともに A300 の胴体部を受け継ぎ、共通の翼部分を持ち、A320 のコックピットコンセプトを導入した長距離向けの広胴機である。A330 は双発エンジン、A340 は 4 発エンジンを備えていた。² A330/340 プログラムは、短距離路線だけでなく大陸間横断の長距離路線でもボーイングに対抗するため、B747 の競合機として 1987 年に開始され、1992 年に初飛行、1994 年に初運航している。A330 はシートあたりコストで B747 に対抗、A340 はさらに長距離路線をターゲットとしていた。しかし ETOPS 新規制により、以前は 4 発エンジンに限られていた路線でも双発エンジンで運航できるようになったため、A340 は、双発エンジンの B777 の登場によって競争力を失っていた。これに対しエアバスは、A330 の胴体長を短くし航続距離を伸ばすことで、航空会社が座席あたりのコストを抑えて新しい中長距離路線を開設できるよう対応を進めた。

¹ Les Echos, “Airbus inaugure sa nouvelle vitrine industrielle à Hambourg”, 2018/6/15

² A340 は 2012 年に生産終了



A330NEO (A330-900) (エアバス提供)

A330NEO は、B787 の競合機、A350XWB を補完する機種として 2014 年にプログラムを開始。2017 年に初飛行、2018 年にポルトガル航空が初運航している。A330 の新エンジンモデルである A330NEO は、B787 の登場から A350XWB の生産が拡大するまでの間、コストパフォーマンスの高い航空機を提案することで、海外の顧客を維持するとともに、多くの航空会社で退役が進んでいた B767 が市場としていた中距離路線でのシェア拡大を企図していた。

同ファミリーの A330-800 は 220-260 人の定員。全長 58.82m、翼幅 64.00m、最大巡航速度はマッハ 0.86。最大航続距離は 15,094km となっている。A330-900 は 260-300 人の定員。全長 63.66m、翼幅 64.00m、最大巡航速度はマッハ 0.86。最大航続距離は 13,334km となっている。いずれも Rolls-Royce (ロールスロイス) の Trent 7000 エンジンを積んでいる。FAL は、トゥールーズに設置されている。

第 4 項 A350XWB ファミリー

A350XWB ファミリーは、ボーイングの B787 あるいは B777x との競合機として開発された中長距離向け広胴型の新型機となっている。2006 年に A350XWB (Xtra-Wide Body) とのプログラム名で開発が決定され、2013 年に初飛行、2014 年にカタール航空に初納機された。

A350XWB には、A350-900 と A350-1000 の二種類がある。当初は、A350-800 の構想も存在したが、これは A330NEO で代替されることになった。A350-900 は定員数 300~350 人、全長 66.80m、翼幅 64.75m、最大巡航速度はマッハ 0.89 で、最大航続距離は 15,372km である。一方、A350-1000 は定員数 350-410 人、全長 73.79m、翼幅 64.75m、最大巡航速度はマッハ 0.89 で、最大航続距離は 16,112km となっている。



A350XWB (A350-1000) (エアバス提供)

A350XWBは、A330をベースに最新の技術を導入、A380で使用が拡大した複合材など新素材の活用を拡大し、複合材の使用割合は52%にまで達した。機体の軽量化を進め、客室空間の拡大も行っている。ロールスロイスのTrent XWB、新世代エンジンの搭載で燃費性能も25%向上させたとされる。

A350XWBファミリーは、エアバスの最新プログラムであり、電化、デジタル化など様々な最新の技術が利用されており、これに合わせて、サプライチェーンの見直しが進められた。現在のエアバスあるいは航空機業界全体として、最適と考えられるサプライチェーンの在り方が追及されたものといえる。なおA350XWBのFALはトゥールーズに設置されている。

第5項 A380 ファミリー

A380ファミリーは、超大型の4発エンジンの二階建て広胴機で、B747の対抗機として2000年に正式にプログラムを開始。B747と同様、ハブ・トゥ・ハブのマーケットに照準を合わせた機種であった。2005年に初飛行を実現し、2007年にシンガポール航空に初納機された。

基本バージョンであるA380-800は定員407-615人。全長72.72m、翼幅79.75m、最大巡航速度はマッハ0.89で、最大航続距離は15,200kmである。ロールスロイスTrent 900あるいはGP7200のエンジンオプションがある。

超大型航空機の新プログラムとして、鳴り物入りで開発されたA380であるが、開発計画が3度に渡り遅延。同機が競合機として位置づけたB747の市場を奪うことには成功しなかった。当初は、エコノミー主体の800人を超える定員などを想定していたが、各航空会社はシート数を減らし、ビジネスクラスを増やす選択を行った。これは、双発エンジンの技術進歩により燃料効率が上がり、中長距離路線でハブ空港を経由せず、地域空港から地域空港へ直接つなぎ、また便数を増加させるという戦略が一般的になったことが影響している。また、生産プロセスで問題が多発したこともあり、B777やA330といったプログラムとして実績を残している機種との比較で、

信頼性を獲得できなかったこともある。さらに航空各社がコスト面での懸念を払しょくできなかったことなどもあり、受注が伸びなかった。また、2008年の金融危機の影響も受け、2019年にプログラムの中止が決定、2021年に251機目の納機が行われ、生産が終了した。このうち123機は、同機をフラッグシップとしたエミレーツ航空が購入している。当初、予定した100億ユーロ強の予算から倍以上にコストが膨らんだとされ、総開発費は、250億ユーロから300億ユーロに上るとの試算もある。商業的には明らかに失敗に終わったプログラムである。同機の市場は極めて限定されたものとなり、ロサンゼルス空港、ヒースロー空港、パリシャルルドゴール空港、マイアミ空港、フランクフルト空港など、すでに稼働率が高い巨大空港間の路線、あるいは、ハブ戦略を取った一部の湾岸諸国やシンガポールの航空会社の運航する路線に限られている。



A380 (エアバス提供)

しかし、A380で導入が進んだ複合材の活用、電化、デジタル技術の向上などは、A350XWBなどのその後の航空機の開発、プログラム更新に活かされている。また、開発、生産プロセスにおいても、仏独など、国境を越えた複数の開発拠点を持つエアバスの総合的な開発、生産のノウハウを高めたとの指摘もある。³ 一方、後述のリスクシェア・パートナー（RSP）についても、広範にその導入が試みられたプログラムでもあり、現在のエアバスのサプライチェーンの構造と、そのあり方について少なからず影響を与えることとなった。

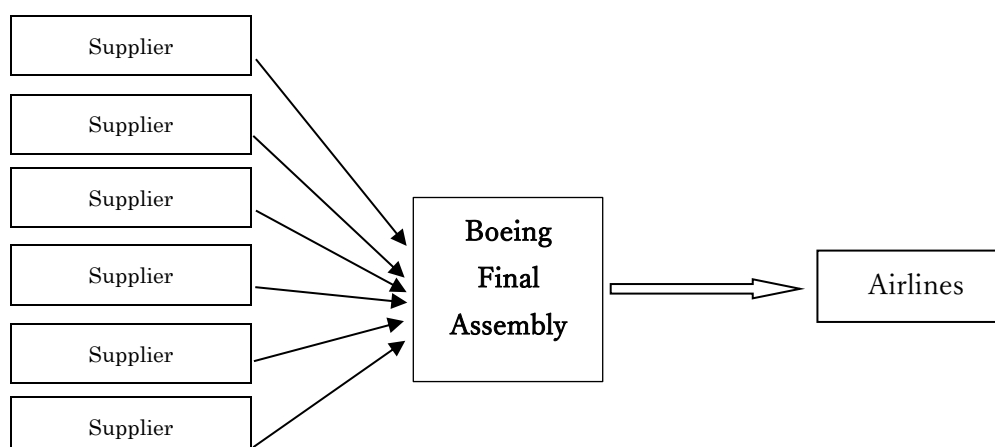
フランスの航空機業界に貢献した Lagardere（ラガルデール）グループの初代社長 Jean Luc Lagardere（ジャン＝リュック・ラガルデール）の名を冠した FAL は、トゥールーズに設置されていた。同施設は、前述のとおり、2022年10月現在、売れ行き的好調な A320 ファミリーの FAL として生まれ変わるべく再整備中である。

³ Usine nouvelle, “ Pourquoi l’A380 n’aurait jamais dû voir le jour“, 2019/2/12

第2節 エアバス・サプライチェーンの基本的構造

本節では、エアバスのサプライチェーンの構造を形作った基本的な条件を確認する。最初に頭に入れておきたいのは、ボーイングのサプライチェーンの原型である。従来型のボーイングのサプライチェーンは初期の自動車業界のように、メーカーでありインテグレーターとしてのボーイングの役割と、部品やコンポーネントなどの供給を行うサプライヤーの立場が明確に分かれた構造になっていた。すなわち主要サプライヤーから中小サプライヤーまで、サプライヤーは部品・部材、コンポーネント、サブアッセンブリー等の供給を専業としており、開発や、コンポーネントなどのインテグレーション、組立工程には原則として関与しない立場にある。

図1-航空機製造サプライチェーンの原型(ボーイング)



出典：Christopher S. Tang and Joshua D. Zimmerman, *Managing New Product Development and Supply Chain Risks: The Boeing 787 Case*, Supplychain Forum vol.10-No.2, 2009

すなわち、図1に示すように、各構造部品や装備品のサプライヤーが、部品・部材、コンポーネント、サブアッセンブリーなどを直接にボーイングのFALへ納入し、FALでボーイングがインテグレートや組み立てなどの製造工程を担い、完成した航空機を顧客である航空会社に納機するという流れとなっていた。なお、B737プログラムでは、数千のサプライヤーが直接、ボーイングと取引をしていたとされる。⁴ また、米国の航空機産業におけるサプライチェーンは、軍事支出において米国議会の議決を得る必要があることから、伝統的に、サプライヤーが数多くの州に分散しており、米国全土の非常に数多くのサプライヤーから部品を調達する構造になっていた。

⁴ Christopher S. Tang and Joshua D. Zimmerman, “Managing New Product Development and Supply Chain Risks: The Boeing 787 Case”, Supplychain Forum vol.10-No.2, 2009

各サプライヤーは、下請け企業から部品や部材などの供給を受けて製造しているが、飛行機の開発を行うのは、航空機メーカーのボーイングであり、同社から指示された仕様書等に従い、規定の期日に発注を受けた製品を納品することになる。すべてのサプライヤーは、いわゆる **Build to Print** (ビルド・トゥ・プリント) という契約関係の枠組みで品質基準を満たした製品を供給することが求められるのであって、納期の遅延に対してペナルティーが科されるというのが基本的な契約形態となる。従ってサプライヤーは基本的に、開発や産業化、事業結果に関連するリスクを負うことはなかった。

後発のエアバスが自らのサプライチェーンを構築する上では、一つのサプライチェーンモデルの「原型」として、このボーイングのサプライチェーン構造が念頭にあった。また、この「原型」は、フランスや英国の航空機産業が、それぞれの国内で持っていたサプライチェーンの型でもあった。しかし欧州は、エアバスプロジェクトにおいてボーイングあるいは、各国に存在していたサプライチェーンをそのまま再現できない複数の制約を抱えており、それらの制約が、エアバスのサプライチェーン構築に少なくない影響を与え、また、それを特徴づけている。その制約とは次の4点である。すなわち、

1. 複数国による分業体制
2. 米国企業への依存
3. 域外のマーケット確保の必要性
4. 小規模の軍事関連事業

以下、それぞれの制約事項について解説する。

第1項 複数国による分業体制

まず、エアバス・サプライチェーンの最大の特徴は、欧州民間航空機プロジェクトに参加した4カ国、すなわち、フランス、ドイツ、英国、スペインによる分業体制である。

先行の米国と異なり、欧州では単独でボーイングなどに対抗し得る、十分な資金的リソースを有する国はなかった。もちろん欧州でもすでに英国やフランスなどで、軍事産業としての航空機産業は戦前から発達しており、戦後、民間部門でもフランスの **Caravelle** (カラベル) や英国の **BAC111** などさまざまな航空機プロジェクトを実施。また、**Concorde** (コンコルド) のように英仏が技術の粋を集めた開発プログラムも実現された。しかし当時、先行するボーイングらに対峙し、競争力を備えた民間航空機プロジェクトを、欧州の一国が単独で成功裏に立ち上げるのは現実的ではなかった。

このような中、戦略的意味を持つ航空産業において、欧州主要国では、国主導による産業政策が進められ、企業合併の末、それぞれ主要企業グループが成立。各国の企業グループの協力によ

り民間航空機プロジェクトが進められることになる。1967年には、A300プログラムの研究開発計画が英国、フランス、ドイツの間で固まり、それぞれ、37.5%、37.5%、25%の割合で費用負担を行うことが一旦、決定される。その後、英国がコンソーシアムへの参加を見送ったことを受けて、1969年にフランス、ドイツ両政府の合意により、両国がそれぞれ投資比率を50%とする前提でA300プログラムが始まったが、英国側の参加企業 Hawker Siddeley (ホーカー・シドレー)は、すでに主翼の開発に相当額を投資しており、企業間協力の枠組みで、英国も同社を通じてプロジェクトに継続して関与することが決まった。その後、1971年には、スペインが4.2%の資本参加を決める。また、英国も、ホーカー・シドレーの継承会社 British Aerospace (BAe) が株式20%を取得し、独仏の持ち分がそれぞれ37.9%に引き下げられた。こうして、フランス、ドイツ、英国、スペインの4か国体制で、民間航空機プロジェクトが本格的に開始されることとなった。

当初は、欧州の主要な航空宇宙及び軍事関連の企業を統合することが目指され、民間部門及び軍事部門の双方において各国がリソースを共有することにより、軍事、経済面での対米依存を緩和し、欧州の独立性を高めることが目的となっていた。しかし当初計画から英国が離脱し、対米ビジネスを重視した英国 BAe の参加が得られなかったことで、エアバスのプロジェクトは事実上、民間航空機事業のみが欧州として統合されることになった。この結果、プロジェクトのガバナンスとしては、ドイツが出資割合を増やし、その後のサプライチェーンの構築の上でも、より大きな影響力を行使することになった。

企業ガバナンスとしては、当初は国の統制が強かったが、プロジェクトが進行するに従い、次第に経営側の自律性が高まり、プログラムの決定、経営リソースの配分などについて、経営側の主導で行われる傾向が次第に強まった。このプロセスは、1970年代のプロジェクトの初期段階から、現在のエアバスグループを形成するまでの長期に渡っている。主要な変革期としては、2000年に、エアバスコンソーシアム (GIE : groupement d'intérêt économique) を形成していた3企業グループ、すなわち、フランス Aerospatiale-Matra (アエロスパシアル・マトラ)、ドイツ DaimlerChrysler Aerospace AG (ダイムラークライスラー・アエロスペース AG)、スペイン Construcciones Aeronáuticas (コンストラクシヨネス・アエロノティカス)が合併し、European Aeronautic Defence and Space company (EADS) が成立。また、2014年にエアバスグループに名称を変更、傘下には、民間航空機部門エアバス、ヘリコプター部門エアバスヘリコプターズ、防衛及び宇宙部門のエアバス D&S の三部門が集約された。

その後も、国の株式の持ち分を引き下げるなど、官主導の産業プロジェクトから一般的な国際企業としてのガバナンス体制への移行が漸進的に進められた。これは、ボーイングとの競争という環境の中で、様々な航空機プログラムを産業ベースで円滑に運営するために不可欠な改革であった。ただし、現在、フランス及びドイツは、政府が公的ファンドを通じてエアバスグループの

株式をそれぞれ約 11%保有、また、スペインも約 4%を保有しており、合計で 26%の株式を保有。これら三国が株主間協定を結んでおり、少数株主でありながら一定の条件下で、グループの意思決定に影響を与えることができる状況にある。

また、例えばフランス政府は、グループ資産のうちフランス政府にとって戦略的に重要とされる戦闘機、ミサイル関係などの資産について、これを保全するための協定を個別に結んでいる。さらに、研究開発関係の補助金などもあり、政府が経営に関する事項に介入する契機は残されている。一般的には、経営幹部人事および生産拠点の選定（すなわち雇用）の二分野に関して政府の介入が想定される。たとえば、2019年にドイツ人 CEO, Tom Enders（トム・エンダース）の任期が切れる際、後任の人選をめぐり、フランス人の選任をフランス政府が主張したように、エアバスグループのガバナンスには政治的要素が残っている。また、A321の増産のための新 FALの整備についても、フランス経済相の介入がメディアでも報道されている。さらにコロナ禍においても、雇用に関連し、長期一時帰休制度の創設や各種補助金の給付などを含めて、フランス政府と企業側との調整が行われていたことは、エアバスグループ経営陣、政府関係者の一連の発言や報道からも明らかであった。

一方、産業上の国別の役割分担については、事実上、フランス、ドイツ、英国、スペインのプロジェクト主導国の間での雇用の確保のため、出資金の比率との均衡を重視して、事業の振り分けがなされてきた。これは、各国の労働代表あるいは政党などからも厳密にモニターされている事項である。この複数国による分業体制は、上述の政治的経過を踏まえた制約条件として、エアバスのサプライチェーンの形成に影響を与えた。具体的には、多くのコンポーネント、装備品も含め、産業上の効率性の論理を超えて、参加国のそれぞれの企業グループに役割分担が行われ、開発、生産されてきた。特に構造部品部門においては、当初、各国ごとにサプライチェーンが組織されるという状況がより顕著であった。⁵

また、FALの立地は、当初、フランスのトゥールーズだけであったが、その後、主要参加国であるドイツにも設置されたことから、テスト飛行、コンプリーション、デリバリーの機能などで二重投資が必要になるという状況が生まれた。サプライチェーンとしても、FALの機能に関連するサプライヤーが各地域に組織される傾向にある。⁶

第2項 米国企業への依存

後発の民間航空機 OEM 企業として、エアバスは、多くの米国企業をサプライヤーとして取り込む必要があった。参加4カ国、あるいは欧州内だけで様々な高度技術を必要とする装備品を競

⁵ 構造部品部門の国別のサプライチェーンの状況については「報告3」で詳述する。

⁶ さらに現在では、プログラム参加国の役割分担とは別の産業上の理由で、中国（天津）、米国（モビール）、カナダ（ミラベル）にも FAL が存在し、一部、これらの機能が重複している。

争力のある価格で調達することは困難であった。当時の試算によれば、当時、すべて欧州企業で生産した場合、コストが 20%前後増加するとの見込みがなされていた。

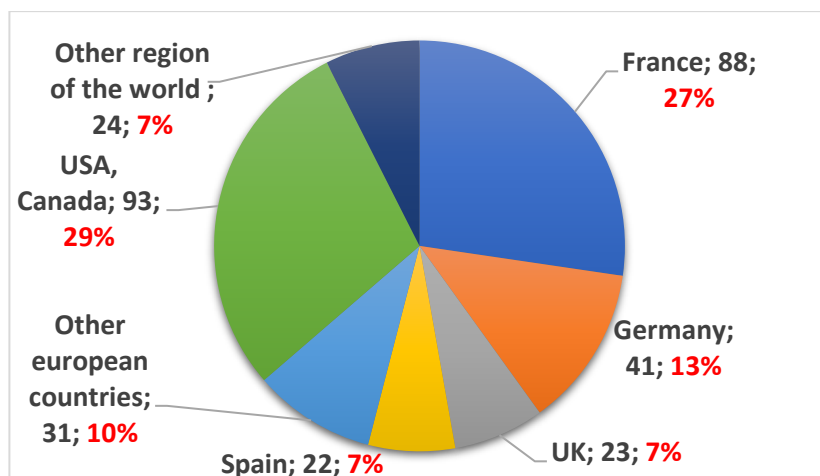
また、米国と欧州の航空宇宙産業の力量の比較材料として、当時の欧州、すなわち ECC 諸国（フランス、西ドイツ、イタリア、ベネルクス三国）と米国の航空機産業（軍事、民間）研究開発費の状況が参考になる。1960 年代、フランスを始め ECC 諸国は、航空宇宙産業の振興を積極的に進めようとした。その結果、ECC 諸国と米国の研究開発費格差は、1960 年時点で、1 対 14.3 であったものが、1967 年にはその比率は 1 対 6.2 にまで縮小した。しかし格差は依然として大きいといわざるを得ず、ECC 諸国と英国（当時 ECC 未加盟）を合算したとしても、欧州の航空機産業研究開発費は、1960 年から 1967 年までの 8 年間の合計額で約 79 億ドル（ECC 約 35 億ドル、英国約 44 億ドル）であり、その 4 倍近くの約 308 億ドルを費やす米国には遠く及ばない。⁷

例えば、現在 Raytheon Group（レイセオン・グループ）に属する Collins Aerospace（コリンズ・アエロスペース）は、冷戦初期の 1953 年からすでにフランスに拠点を持っており、Mirage（ミラージュ）や Rafale（ラファール）などフランスの戦闘機においても同社のシステムが導入されてきた。同社は、エアバスにアビオニクスシステムを供給するなど、Honeywell（ハネウェル）と同様、A300 プロジェクトからのサプライヤーであり、これ以外にも構造部品、コックピットほか、システム関係の製品、コンポーネントを供給している。また、A300 向けのエンジンについても、当初、英国のロールスロイス製が検討されたものの、すでに B747 に採用されていた米国企業の GE Aviation（GE アビエーション）の CF6 あるいは P&W の JT9D が搭載されることになった。これは、米国市場向けのビジネスを優先したロールスロイスの事情もあるが、エアバスにとっても、とりわけ米国など海外顧客の信頼性を高め、また、米国 FAA の認証を速やかに取得するためにも必要な選択であったと考えられる。

現在、エアバスのベストセラーである A320 をはじめ、各ファミリーの機種についても、装備品を中心に、しかし構造部品も含めて米国企業から供給されている部品、コンポーネントは少なくない。具体的な数値は公表されていないが、2016 年 7 月に、アメリカの企業団がトゥールーズを訪問した際に代表を務めた外交官 Uzra Zeya（ウズラ・ゼヤ）は、当時、エアバスが海外から調達している 245 億ユーロのうち、130 億ユーロはアメリカ企業からであると発言している。

⁷ Commission des Communautés Europeennes, “Les industries aéronautiques et spatiales de la Communauté, comparées à celles de la Grande-Bretagne et des Etats-Unis”, 1971

グラフ 1：エアバス中堅・大手サプライヤー* 国/地域別企業数調べ



出典：エアバス公式サプライヤーリスト（2021年12月版）のデータに基づき著者作成

*「中堅以上の企業」の定義は、便宜的にエアバス公式サプライヤーでレフェランスを3件以上保有する企業とする。また、企業の国籍は、本社登記地を原則とした。

また、グラフ 1 に示すとおり、2021 年 12 月現在のエアバス公式サプライヤーリストによれば、エアバスグループのレフェランスを3件以上保有する中堅以上のサプライヤーの中で⁸、北米企業は93社（グループ）と、全体の29%を占めている。エアバスの設立に参加し、国などが株主となっている欧州4カ国の場合、フランスは88社、ドイツは41社、英国は23社、スペインは22社となっており、いずれも米国企業数を下回っている。欧州4か国を合算した場合、174社となり、54%と過半数を占める形になっている。もちろんこの中堅企業以上の企業数は、サプライチェーンにおける重要度を測る直接的な指標ではないが、米国航空産業のエアバスのサプライチェーンへの貢献度の大きさを示すものであることは確かである。

第3項 マーケットの確保とオフセット

前項でも指摘したとおり、軍用機あるいはコンコルドの共同開発など、航空産業の基盤が備わっていた欧州といえども、1970年代において、巨額の研究開発費、大規模な航空機市場を有する米国で先行する米国企業、とりわけボーイングに伍して競争するのは容易ではなかった。なかでも、エアバス出資4カ国を合わせても、その域内市場が米国ほどの規模を持たないことから、域外に販路を求めざるを得ず、開発段階からマーケットの確保に向けた方策が極めて重要となってくる。参加4カ国の国内市場の確保は当然のことながら、まず、A300プログラムが開始され

⁸ レフェランスは、下請業務の種別及び指定施設別にサプライヤーに付与される。例えば、「Aerostructure Design & Built」と指定されている拠点が2か所あり、「Material detail part Manufacturing」の拠点が2か所ある場合、レフェランス数4とカウントしている。

る時点で、世界の民間航空機市場の約 50%は米国市場であり、米国企業サプライヤーの市場競争力だけでなく、米国市場を攻略するためにも、米国航空機産業とのビジネスは必須であったといえる。

留意したいのは、マーケット支配力を持つボーイングらに対抗せざるを得ない不利な状況にエアバスは置かれていたわけであるが、逆にこの状況にあったからこそ、サプライヤーを顧客先の市場で見出す、オフセット契約を積極的に進めてきたという側面である。A300 プログラムは、当初、エールフランス航空、ルフトハンザ航空など、プログラム参加国のナショナルフラッグからの発注以外、とりわけ欧州域外からの発注を得ることがなかなかできない状況にあった。そのような中、米国市場に先んじて、韓国は 1974 年にアジアで初の発注を行った。その後も、韓国は定期的にエアバスの民間航空機を購入している一方、KAI を中心にオフセット契約の枠組みで、現在もエアバスのサプライチェーンの一端を担っており、とりわけヘリコプター事業における協力関係も強い。韓国は、過去からボーイングの事業も行っており、ボーイング一辺倒であった日本の航空機産業とは一線を画してきた。オフセット契約を取引材料に韓国市場を開拓したエアバスの戦略と、韓国の多角的な航空産業振興策において、利害が一致した形である。

近年においても、エアバスは、顧客のいる市場でサプライヤーを開拓するというオフセット契約の原則を、エアバス自身のみならず、サプライヤー各社にも求めている。自国に大規模の航空機市場を持つ中国やインドなどの大国のみならず、インドネシア、タイ、湾岸諸国、南アフリカ、オーストラリアなどでも活用されている。この戦略は、2000 年代半ばにエアバスグループがベストコストの追及など合理化政策を進めるために策定したパワー8 戦略の展開と同時に広がりを見せた。同プランでは、エアバスの購買担当、また、エアバスのサプライヤーは世界規模での調達可能性の検討を要請されており、オフセット契約の推進は、東欧や北アフリカでの BCC 戦略 (Best Cost Countries strategy) と並んで、グローバルな調達方針を構成していた。このマーケティングツールとしてのオフセット契約という手法では、エアバスが先駆的役割を果たしてきたともいえる。

第 4 項 小規模の軍事関連事業

先行するボーイングと比較して、エアバスが不利な条件に置かれているのは、軍事関連事業の規模に関するものである。民間航空機事業の場合は、巨大な投資額を必要とする一方、利益を確保するためには、長期的にプログラムを遂行しなければならず、プログラムの成否や、需要のサイクルに事業実績が大きく影響される。一方で、軍事事業は、自国政府からの公的調達の割合が大きくなるために比較的安定的な収益を確保しやすい。この点で、同じ企業グループに幅広い軍事事業を持ち、自国政府の膨大な軍事費に支えられたボーイングは有利な立場にある。⁹

⁹ ただし、冷戦終結後の軍縮の流れはボーイングに不利に働いた。

エアバスグループの軍事、宇宙部門という非民間航空機事業の売上規模は、時代により変化しているが、例えば、2007年に出されたフランス元老院 (Sénat)の経済関係委員会の調査報告によれば、エアバスグループ (当時 EADS) の2006年における民間航空機部門の売上は約75%で、軍事・宇宙部門は約25%に過ぎない。一方で、ボーイングは、同年、軍事・宇宙部門売上のグループ売上に占める割合は約55%に上っている。同報告書では、米欧二大航空機メーカーのこの収益構造の違いを指摘し、民間航空機部門特有の市場のサイクルの影響に晒されやすいエアバスグループの企業体質の脆弱性を課題として取り上げている。¹⁰

2010年以降、エアバスグループでは、軍事部門を強化することを意図した試みがなされた。すなわち、当時のCEO トム・エンダースの主導で、エアバスグループ (当時 EADS) と巨大な軍事部門を持つ英国 BAE Systems の企業合併が検討された。両企業的首脳レベルでは、営業、法務、企業ガバナンス、資本・配当などの分野で合意に達していたが、政府レベルで合意が整わず、見送りとなった経過がある。計画が頓挫した理由としては、フランスの立場が強くなることを懸念したドイツ政府の意向が働いたとされている。¹¹ 仮にこの合併が実現していたとすれば、エアバスグループは民間航空機事業と軍事・宇宙事業をバランスよく備えた巨大企業として、ボーイングとの対抗上、地歩を固めることができたはずであった。

民間部門偏重のこの状況は現在も大きく変わっていない。2021年決算では、エアバスグループ全体に占める民間航空機部門であるエアバスの売り上げは69%で、民間部門と軍事部門を併せ持つエアバスヘリコプターの売上12%、軍事事業及び宇宙事業を行うエアバス D&S の売上は19%となっている。また、2021年度末現在の受注残総額では、上記3社を合わせて、民間部門が89%、軍事部門が11%となっている。

一方、ボーイングは、軍事事業で公的調達により、比較的安定的な収益構造を確保するとともに、軍事プログラムで育てた技術を民間プログラムに転用することで産業上のシナジーをより強く享受し続けている。この点で、欧州共通の軍事政策が事実上存在せず、エアバスグループとBAEの合併が実現できなかったエアバスグループは、軍事部門と民間部門を車の両輪のごとく機能させているボーイングと比較し、一定のハンディキャップを背負っている。

¹⁰ フランス元老院 (Senat) , Rapport d'information n° 351 (2006-2007) , MM. Jean-François LE GRAND, Roland RIES, La commission des affaires économiques, 2007/06/27

¹¹ 新会社へのフランス政府の持ち分が高くなりすぎること、また、ミュンヘンへの本社の移転が受け入れられなかったことなどから、当時のメルケル首相が反対をしたとの報道 (The Guardian, BAE-EADS: Angela Merkel blamed for collapse of £28bn merger, 2012/10/10)

第3節 エアバスのサプライチェーンの地域分布

第2節で解説のとおり、エアバスのサプライチェーンの歴史的制約の1つは、プログラムに参加している4カ国のエアバスコンソーシアム参加国による資金的な貢献度を反映した生産の仕組みを構築し、物流体制を整えることにあった。そこでエアバスは、出資国に子会社（NATCO：National Companiesの略で4社）を設立し、各子会社が航空機の特定コンポーネントを担当し、それぞれが製造後、FALに輸送して最終組立を行うという流れを作ることとなった。

従って、エアバスは、MCA（Major Component Assembly）方式を基礎としたモジュールコンセプトによる体系を早い段階で構築することになる。このいわゆるMCA方式は、国別の作業分担を円滑に進めるためのものであったが、結果的に新型航空機の開発に伴うリスクを縮小させる効果を生み出すことになった。この産業戦略は、前節で示したとおり、ボーイングの伝統的かつ歴史的な組立モデル、すなわち、数多くのサプライヤーから部品、部材、コンポーネントをボーイングが直接調達し、組立工程について基本的にその一切を担うというモデルと大きく異なっている。エアバスの場合、最初のプログラムからMCA方式が取り入れられ、メインコンポーネントには、さまざまな部品、断熱部品、床、一部の機器がすでに組み込まれた状態で航空構造部モジュールとしてFALに納品され、FAL上で他のモジュールと接合されることになる。

当初、NATCOは地元のサプライヤーとのネットワークに強く依存した独自の供給網を持っていた。しかし、国主導で形成されたコンソーシアムとしてのエアバスから、グローバル企業としてのエアバスグループに移り変わっていく過程において、とりわけ2000年代半ばに開始されたパワー8やパワー8+などの相次ぐ調達最適化プログラムにより、調達のグローバル化、調達条件に関して拠点間で均一化が推進される。また、自動車産業のように、Tier1、Tier2、Tier3と明確に区分された構造へと合理化が進められた。

エアバスの拠点間の物流は同社特有のもので、あらゆる輸送手段を使い、複雑な輸送システムが構築されている。陸運では、拠点間地上シャトルネットワークやエクスプレス輸送、また、空運では、1990年代からGuppie（グッピー）輸送機（4機）に代わり、Beluga（ベルーガ）輸送機（4機）の運用が始まった。¹² なお、現在、新世代のベルーガXL輸送機（6機）に順次、取り替わりつつある。¹³ また海運では、チュニジアのエアバスの構造部品を生産するエアバス・アトランティック工場、ナポリのAlenia（アレニア）工場、Saint-Nazaire（サン・ナゼール）のエアバス・アトランティック工場、ハンブルクのエアバス工場間をつなぐ海上輸送などがある。特にA380向けでは海上輸送が重要な働きを果たしていた。このように、NATCO間の輸送手段や社

¹² ベルーガは、A300をベースに製造されており、A300-600STという型式名を持つ。

¹³ A330をベースに製造、A330-743Lの型式名となっており、A350の主翼などの運搬を念頭に更新されたものである。

内物流をできるだけ効率的に実施することで、生産拠点の地理的拡散に伴うデメリットや非付加価値部分を最小化する試みが進められている。

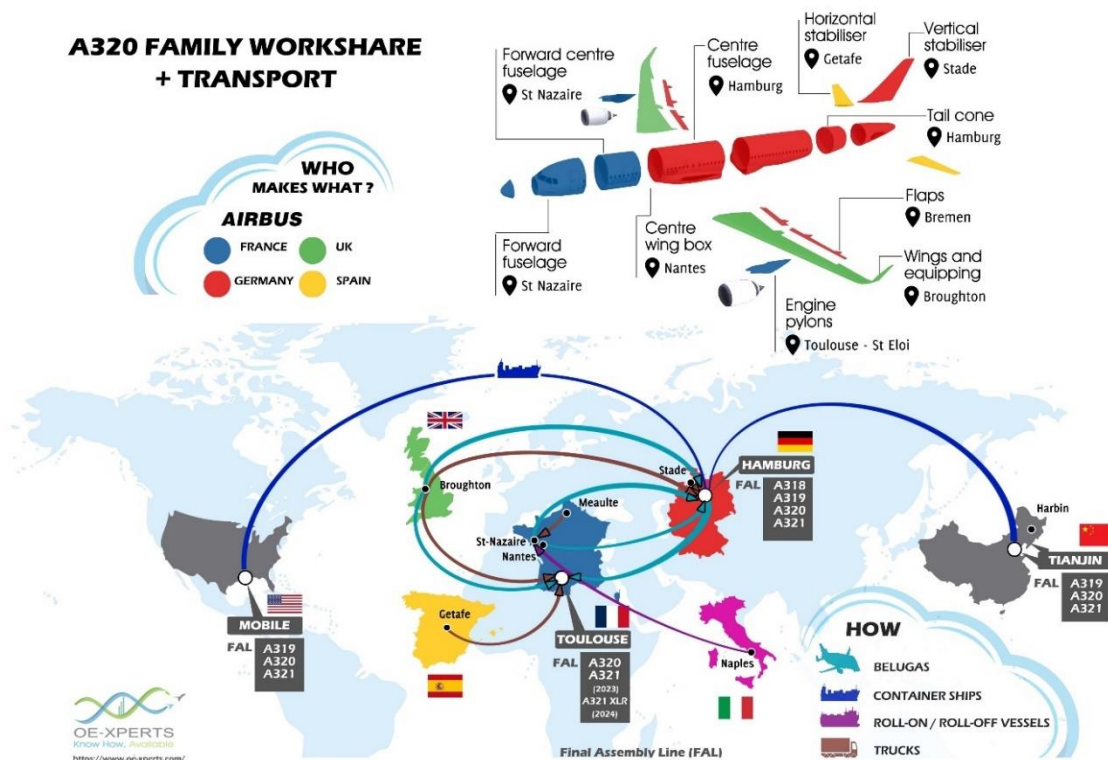
以下、A320 及び A350XWB のサプライチェーンについて具体的に紹介したい。

第 1 項 A320 サプライチェーン

ここでは A320 のサプライチェーンの産業化、物流に関する主なフローを示す。まず、機首部分、前部胴体、エンジンパイロン、センターウィングボックスは主にフランスのエアバス・アトランティックが拠点を持つ Méaulte (メオルト) やサン・ナゼールで生産され、組立まで行われている。ドイツは中部胴体と後部、また、垂直尾翼を担当しており、エアバス (ドイツ) が主に生産を担っている。

主翼は英国で生産されているが、近年では天津 FAL 向けに中国でも生産が行われている。スペインでは水平尾翼の生産を行っている。なお、エアバスコンソーシアム参加国ではないが、イタリアのアレニア工場では、サン・ナザールのエアバス・アトランティック向けに前部胴体の一部を生産している。

図 2 : A320 ファミリー ワークシェア+運輸体制



出典：エアバス公開情報に基づき OE-XPERTS 作成

現在、フランス・トゥールーズ、ドイツ・ハンブルグ、米国・モビール、中国・天津の合計 4 か所の FAL が存在し、2025 年までに A320 ファミリー月産 75 機体制を目標としている。まず、フランス・トゥールーズの FAL は、現在、A320 の生産を行っているが、2023 年からは A321、また、2024 年には A321XLR が生産される予定となっている。次に、ドイツ・ハンブルグの FAL では、A318¹⁴、A319、A320、A321 が生産されている。

ドイツ人 CEO トム・エンダースの時代(2007-2019)¹⁵に、収益性が極めて高く安定した狭胴機である A320 ファミリーの生産が強化され、ドイツ・ハンブルグ拠点が大きく成長した。1990 年代からハンブルグで A318、A319、A321 が生産されていたが、これに A320 が加わり、また、A320 の内装関係もドイツで行われるようになった。さらに A321 の売り上げが伸びるなかで、ハンブルグ FAL の重要性がさらに高まった。

以上のような状況下で、中大型機が中心のフランス・トゥールーズの FAL 機能がグループ内で相対的に低下したため、政治的にも、またグループ内の労組対応としても、バランスをとる必要が生まれてきた。この結果、前述のとおり、トゥールーズで 2022 年現在、プログラム中止となった A380 の FAL を改装、A321 XLR 向けの FAL として建設が進められている。

また、エアバスのオフセットによる商業戦略の一環として、中国市場を開拓するために 2008 年に開設されたのが中国・天津 FAL であり、アメリカ市場で重要な基準である「Made In USA」を実現するために、ボーイングに対抗しアメリカの航空会社の市場シェアを獲得するために 2015 年 9 月に開設されたのが米国・モビールの FAL である。¹⁶ なお、天津 FAL では、A321 の生産が間もなく開始される予定となっている。

第 2 項 A350XWB サプライチェーン

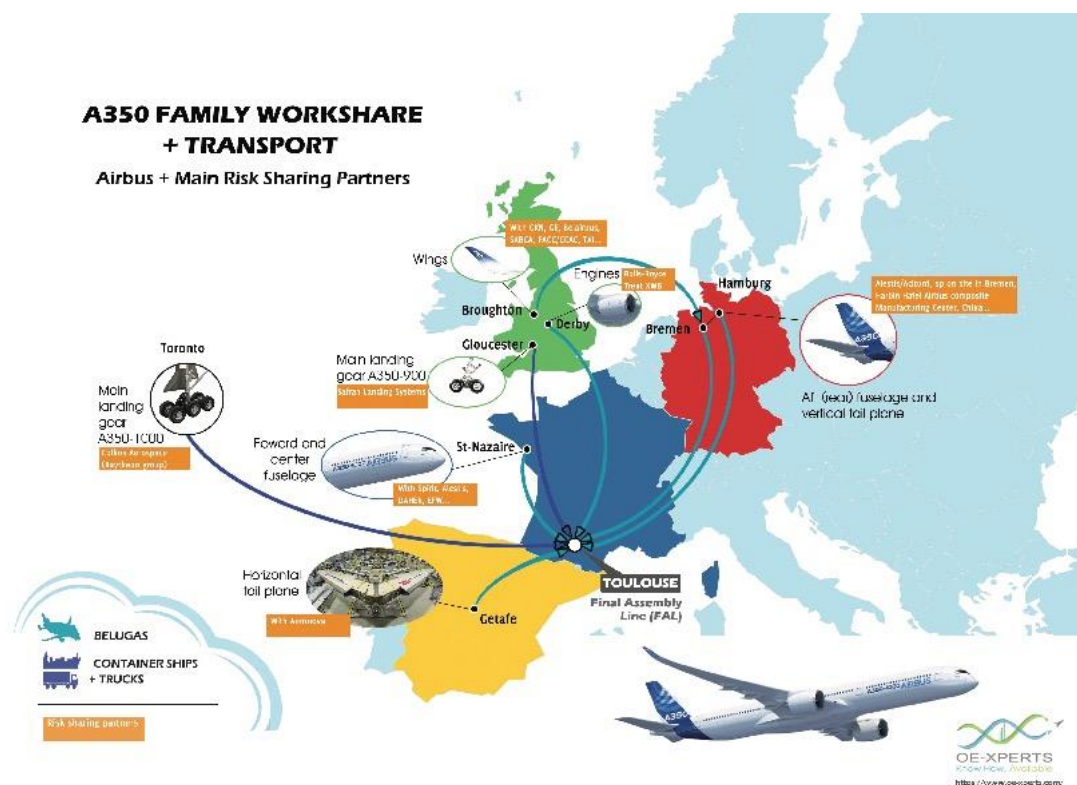
図 3 は A350XWB のサプライチェーンの産業化、物流に関する主なフローを示している。A350XWB は、すべてエアバスグループの拠点都市、トゥールーズで組み立てられており、A320 と同様、エアバスコンソーシアム参加国の生産拠点から、主要コンポーネントが空、海を通じて運送される。基本的には、エアバスコンソーシアム参加国の役割分担を踏襲しているが、当初の A320 プログラムと比較し、若干の変化が生じている。一つには、複合材などの新技術の導入促進で、それぞれ担当国枠を超えて新技術に強みを持つ企業の参加が進んだ。また一つには、A380 で積極的に導入が図られたオフセット戦略が拡大され、さらにグローバルに調達を行う体制が作られている。

¹⁴ ボンバルディア CS300 (A220) をエアバス社が引き取ったことにより生産は終了。

¹⁵ 2007-2012 エアバス会長、2012-2019 年エアバスグループ会長。

¹⁶ モバイルでは、2020 年に、米国市場向けとして A220 の FAL も開設されている。

図 3：A350XWB ファミリー ワークシェア+運輸体制



出典：エアバス公開情報に基づき OE-XPERTS 作成

主要コンポーネントの調達先としては、まず、コックピット、機首部分、前部胴体についてはフランスが基本的に担当、エアバスの子会社でフランス北部のメオルトや西部のサン・ナゼールに拠点を持つエアバス・アトランティック¹⁷をはじめ、エアバスのドイツ子会社プレミアム・アエロテックなどが担当、また、中央胴体についてもエアバス・アトランティックのほか、主にサン・ナゼールに拠点のあるフランス企業や米国企業、複合材に強みのある Alestis（アレスティス）などスペインの企業が関与している。

後部胴体についてはドイツが受け持ち、エアバス(ドイツ)をはじめ、プレミアム・アエロテックが生産に従事しているほか、同じく複合材で定評のあるスペイン、アレスティスの親会社、Accituri（アシトゥーリ）などが関与している。垂直尾翼についてもドイツが担当し、エアバス（ドイツ）が生産、これに加え、Harbin Hafei Airbus composite center China¹⁸、また、複合材関連でスペインのアシトゥーリ及び Aernnova(アエルノヴァ)がドイツ、Bremen（ブレーメン）の拠点から部品を供給している。

¹⁷ 2022 年以前は、エアバス 社+Stelia 社（フランスにおけるエアバスグループ子会社）

¹⁸ エアバス社と中国企業の合弁企業で複合材を取り扱う。

一方、主翼については、基本的に英国が担当し、エアバス（UK）が Broughton（ブラウトン）で生産を担っているが、複合材関連でエアバス（ドイツ）も関与している。英国で組み立てた主翼構造部をブレーメンに輸送、ドイツの Stade（シュターデ）で生産された複合材部品の一部などを含め、主翼関連の装備の組立が行われた上で、トゥールーズに搬送される。

一方、水平尾翼は、他のプログラム同様、スペインが担当している。

なお、航空会社に提案する新しい低燃費エンジンは、プログラム全体の開発・工業化コストを削減するため、ロールスロイスのトレント XWB1 のみとなっている。

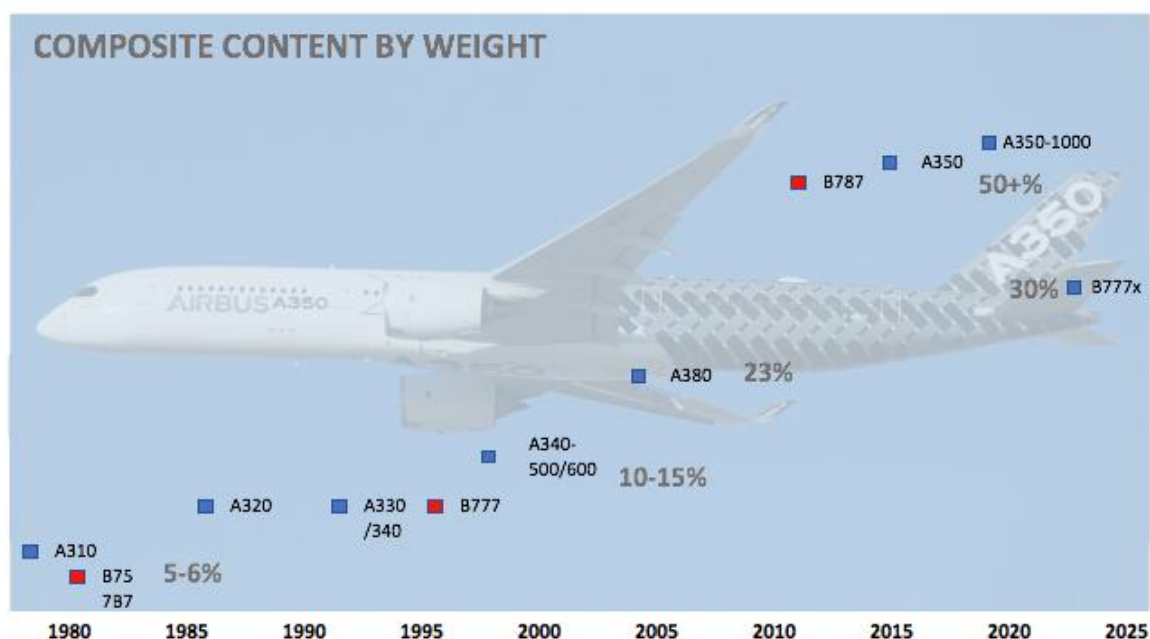
A350XWB プログラムでは複合材の割合が 50%を超過するなど大幅に増加したため、A320 などと比較し、主翼部分をはじめ、さまざまなマスターコンポーネントで複合材関係に強みを持つドイツやスペインの地位が強化された。また、中国を拠点とするエアバスと中国企業の合弁会社から炭素素材関係で供給を受けていることも注目に値する。エアバスコンソーシアム参加国の出資割合に応じたワークシェアリングの基本は変わっていないが、プログラムに採用される技術の変化に応じて、サプライチェーンの構造に緩やかな変化が生じており、また、オフセット契約のニーズに基づく変化も観察される。

一方、前述のとおり、収益性の高い A320 の生産でドイツの比重が高まる中で、A350XWB ファミリーの FAL 及び内装関係がフランス・トゥールーズで行われることになるなど、中大型機向けの拠点としての位置づけを強める一方、仏独間のバランスを取る形にもなっている。ただ、広胴機市場は、狭胴機の市場よりも不安定で産業上のリスクも比較的高いとされている。

技術フォーカス（複合材）

近年の民間航空機プログラムでは、航空会社の運航コストの削減及び CO2 排出量の削減という経済的、政治的必要性から、機体の軽量化がますます重要な課題になっている。このようななか、軽量で強度が高く、非腐食性も高い複合材の利用が高まってきた。図 4 は、複合材の使用割合が航空機の種類によってどのように変化してきたかを示している。

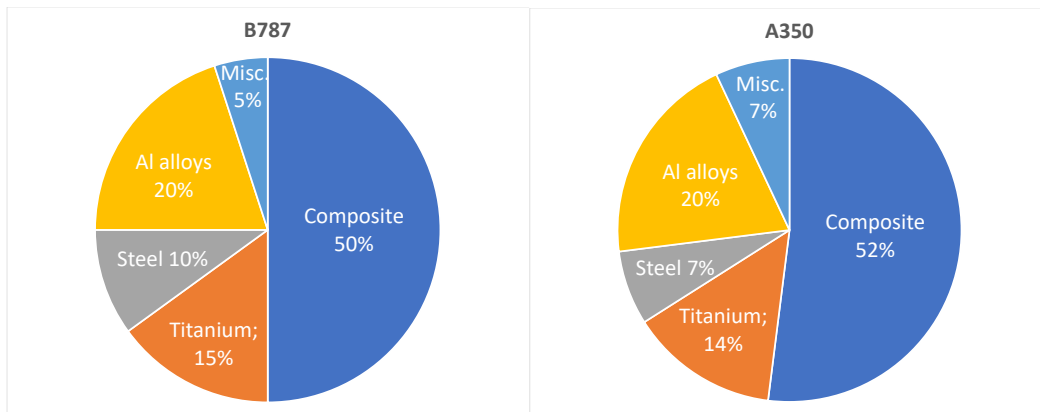
図 4- 航空機プログラム別複合材使用割合の変化



出典：エアバス及びボーイング公開情報に基づき OE-XPERTS 作成

エアバス、ボーイングとも 1970 年代から 80 年代に初期の複合材の使用を開始したが、その使用比率は 5~6%に過ぎなかった。以後、複合材の技術の進歩も相まって、プログラムを重ねるごとに複合材使用比率が高まり、B787 では 50%、A350XWB では 52%に達している。当初、軍用で利用され始めた複合材であるが、民間航空機では A380 で約 23%の複合材使用率を達成したエアバスが先行してきたといえる。グラフ 2 は、B787 及び A350XWB の金属、複合材等の構成比率を示している。

グラフ 2：B787 及び A350XWB の金属、複合材等の構成比率



出典：The Wall Street Journal, Their New Materials, 2013/6/17

複合材は、新素材であり、当初からその使用の対象や方法、インテグレーションや組立を行う際の工法などでも慎重な対応が求められてきた。B787 のプログラム遅延の理由の一つに、複合材アセンブリーの接合部分に関する問題が関連している。現在、開発中の B777x では、胴体部は前モデルと同様、アルミニウムを採用、全体の複合材の使用割合は 30%程度にとどまっているとされており、B787 と比較すると使用割合は後退した。ボーイングとしては B787 が新機種の開発であったのに対し、B777x は既存機種の更新であったため、複合材の使用割合はそう伸びなかったと説明する。しかし、B787 における複合材の導入でボーイングが直面した諸課題は、B777x への複合材の大規模な導入を見送った要因の一つとして考えられるべきであろう。

ただし、今後も航空機の構造部に複合材の利用が積極的に進められていく方向性には間違いない。コロナ危機以前から経営難に見舞われてきたフランス構造部品大手の Latecoère (ラテコエール) は 2021 年 9 月に、北米市場をにらみ複合材構造部品加工の Shimtech (メキシコ) を Avantis Aerospace (アヴァンチュス・アエロスペース) から買収した。米国企業レイセオン・グループのコリンズ・アエロスペースも 2021 年 11 月には、エアバスのサプライヤーであるオランダの DTC (Dutch Thermoplastic Components)を買収している。一方、フランスの Daher (ダエール) は、2021 年 11 月、7.5 百万ユーロを投じ、複合材による航空構造部品の研究開発センター Shap'In を Nantes(ナント/フランス) に開設。ナントでは、生産技術に関するクラスター EMC2 (European Manufacturing Technology Cluster) が存在し、国立科学技術研究所 (IRT Jules Verne) などがすでにエアバスなどと共同で複合材の航空産業での利用に関する生産技術の共同研究を進めている。

複合材関連のサプライチェーンでは、欧州地域では、エアバスコンソーシアム参加 4 カ国すべてで関連企業が存在するが、このうちスペインはエアバスグループの軍事部門のプログラム A400 M の FAL が設置されたこともあり、同機に活用された複合材による構造部品の製造のノウハウを高めた。また、スペインで複合材による構造部品において確固たる地位を築いているのが、

アエルノヴァである。スペインは、4 ヶ国の中では比較的産業規模が小さいため、政府の主導で特定分野にリソースを集中させ競争力を高めるという方針を取ってきており、風力発電用の複合材開発などでスペイン政府が従来から力をいれてきた分野でもあった。なお、英国では、**Parker group**(パーカーグループ)の**Meggitt**(メギット)は2015年に米国の複合材企業**EDAC**を3億4,000万ドルで買収するなど、民間航空機における複合材分野に力を入れている。また、フランスでは**Duqueine**(デュケイン)が国内のみならずメキシコなどにも生産拠点を置き、ボーイングとも取引を行っている。ドイツでは2018年に中国資本に移った**Cotesa**(コテザ)などが複合材関連の部品メーカーとしてエアバスのサプライヤーとなっている。このほかにもエアバスと幅広く取引をしている企業としては、オーストリア**FACC**などもある。

サプライチェーン・インタビュー（調達部門）

エアバスグループ調達部門担当経験者（匿名希望）

エアバスの調達部門で地域エリアの責任者を務めた。主要な航空構造部品を日本から調達することは、もちろん不可能ではなく、欧州で調達できない何かを提案できるのであれば検討され得るだろう。ただし、全体的には、エアバスグループが CO2 排出量の削減など環境関連で対外的にコミットしているさまざまな事項に照らし合わせ¹⁹、日本からコンポーネントや部品を調達するというのは、その環境への負荷を考えたとき、時代の趨勢に合わない部分があるように個人的には感じる。

むしろ、構造部品関連で、日本企業がエアバスのサプライチェーンに参入する場合、欧州での現地生産を前提に、フランスあるいは他の欧州企業との JV を設立するか、あるいはフランス、欧州企業を買収することで実現する方が現実的であると思われる。実際に、Spirit AeroSystems（スピリット）といった米国企業の例にあるように、欧州に拠点を築き、エアバスグループの構造部品のサプライチェーンに深く関与してきている企業もある。

参入の機会は、基本的に新規プログラムが立ち上がる段階である。一方、既存のプログラムについては、すべて、産業的に成熟状態に達したとされる MSN (Manufacturer's Serial Number) が 100 を超えており、原則として新規参入は難しい。ただし、トルコ、インド、マグレブ諸国、東欧など、いわゆる「ベストコスト」地域からの調達に切り替えることはあり得る。つまり、日本企業がベストコストを提案できるのであれば可能性がある。

一方、エアバスの航空機の購入に関連した国家レベルでのオフセットを進めるという戦略の可能性は検討できるが、私自身は、オフセット関連は自分の権限を越える領域であったため、詳細についてコメントすることはできない。オフセットを通じることなく参入するのであれば、日本企業は、相当、積極的なアプローチで営業を行う必要がある。例えば、まったく新しいデザインによるワークパッケージ一式の再設計を提案するというようなことだ。

例えばA350XWBのように、コスト最適化策が進行中のプログラムへの参入を希望する日本企業は、ワークパッケージの現状の問題解決を目指すグローバルなアプローチを行い、航空機の開発費償却の負担を低減する提案をすることが求められる（注）。これは、エアバスの調達部門が長年追求してきたリスクシェア・パートナー・アプローチでもあるが、これまでの経験でも、このアプローチを採用するには資金力が十分でないプレイヤーも多く、そう簡単ではない。

¹⁹ エアバスグループは取締役会決議により、2030年を目標年度に対2021年比でCO2排出量を26%削減するなどを目標と掲げている（2021年度エアバスグループ事業報告書）

(注) 例えば、2022 年秋現在、A321 XLR はまだ最初のテスト飛行を終えたばかりであるが、特に離陸時に搭載する燃料が増えたため、滑走路での事故の際に火災のリスクが高まるという大きな問題があり、EASA 認証の取得が遅れている。EASA は、燃料室と客室の床の間の断熱材を強化することを望んでいるが、そうすると機体が重くなり、最大のセールスポイントである航続距離が現行機の 7,400km から 8,700km (10 時間飛行) に延びるという点が、損なわれることになる。このような課題には、複合材関連の企業などが解決策を提示できる可能性があり、ここに日本企業の新規参入の道が拓け得る(編)。

2022年度現地ニーズ等活用促進事業
欧州航空機産業における現地ニーズ調査

—エアバス・サプライチェーン特徴とその動向—

「報告2」 エアバス・サプライチェーンの「進化」プロセス

「報告 2」 エアバス・サプライチェーンの「進化」プロセス

「報告 1」で示したように 1960 年代以降にボーイングが米国市場を基盤に民間航空機市場で形成してきたサプライチェーンは、同社を頂点にしつつフラットな構造であった。すなわち、開発、製造、組立およびインテグレーションを行う OEM 企業としてのボーイングの下に千を超える企業があり、原則としてそれぞれが直接、ボーイングに部品、部材を納入。ボーイングの FAL で組立作業が行われ完成機となり、顧客に引き渡されるという流れであった。

これに対し、エアバスのサプライチェーンは、同社が構造的に抱えていた 4 つの制約、すなわち、1. 複数国による分業体制（出資割合に応じた財務リスク、研究開発、設計および生産の分業）、2. 米国企業への依存（米国の競争力）、3. 域外のマーケット確保の必要性（小規模の域内マーケット）、4. 小規模の軍事関連事業（米国軍事費に支えられたボーイングへの比較劣位）、という 4 つの条件を踏まえて形成されなければならなかった。

まず、国際分業による生産拠点の地域分散と複数の FAL への複雑なロジスティックスの確保の必要性という課題に対しては、現在の A320 や A350XWB プログラムでも継続されている MCA（Major Component Assembly）生産方式が採用された。MCA においては、メジャーコンポーネントは、さまざまな部品、断熱部品、床、一部の機器がすでに組み込まれた状態で航空構造部モジュールとして FAL に納品され、他のモジュールと接合される。

当初、この複雑なロジスティックスを構築し運営するコストは、ボーイングの従来の生産モデルと比較し、エアバスにとって大きなハンディキャップとみなされていた。しかし次第に、エアバスのサプライチェーンは、財務リスクの問題を緩和し、欧州広域、そして世界で効率的に調達を行うための手法としてその信頼性を強め、成熟していくことになる。また、この財務リスクの低減を可能にするサプライチェーンは、さまざまな航空会社のニーズに応える新しい航空機の開発に必要な資金の調達を比較的容易にした。さらに、米国企業への依存や、小規模の域内マーケット、軍事部門の脆弱性という弱点を抱えながらも、あるいはむしろこのような弱点を抱えていたからこそ、オフセットを中心とするマーケティング戦略を取り、世界各国で調達する能力を高めつつ、市場シェアの拡大に成功したものと思われる。

さらに、後発であるがゆえに、エアバスは、最先端の技術や新素材を導入する利点を享受できたことも指摘すべきだろう。デザイン面では、機体開発で航空力学上の技術の向上が反映されたほか、制御、自動化技術の進歩も踏まえ、FFCC（フォワード・フェイスング・クルー・コックピット）の導入で二人操縦に可能性を開き、また、当初から将来のグラス・コックピットや、フライ・バイ・ワイヤ技術の導入を見越した設計を行い、後の A300 ファミリーでこれらの技術の実装が進められた。コックピットの標準化なども航空会社の乗員訓練ニーズのコストを引き下げ

る効果をもたらしている。さらに複合材が最初に導入されたのも A300 ファミリーである。これら当時の先進技術の実装は、A320 プログラムなどの狭胴機の市場でエアバスがリードする鍵となり、長距離向け広胴機でもボーイングを追い上げるきっかけとなっていた。

ボーイングとしても、ライバルとして成長していくエアバスに対し、マーケットでのリーダーシップを維持するために、技術面、マーケティング面、戦略面で、エアバスへの対抗措置を迫られることになる。もちろんエアバスとしても、ボーイングの動きに対しては常に敏感であった。こうして、エアバスの A300 プログラムの成功が明らかになる 1980 年代前半以降、米国および欧州のそれぞれを代表する二大民間航空機メーカーは、両者が相互に影響を与えながら、それぞれの航空機プログラムおよびそれを支えるサプライチェーンを「進化」させていくことになる。

第 1 節では、まず、世界の航空産業のサプライチェーンの構造に影響を与える主要な動きとして、B787 の開発の経過から、エアバスのサプライチェーンのあり方や産業モデルがボーイングの戦略と B787 プログラムにおけるサプライチェーンの構築に影響を与えてきた過程について解説を行う。

第 1 節 B787 プログラムとエアバスの影響

エアバスの商業的成功と ボーイングの方針

2002 年当時、ボーイングは納機数でエアバスに対し優位にあり、エアバスの 303 機に対し 381 機の納入実績を誇ったが、新規受注では、ボーイングはエアバス 300 機に対して 251 機にとどまった。80 年代および 90 年代にエアバスは、A300/310 で B767 に対抗、そして 1987 年以降 A320 により B737 と競合し、商業的成功を収め、同社の産業モデルの有効性を証明した。また、それまでボーイングの独壇場であった長距離向け航空機でも A330 で市場シェアを獲得。その後、エアバスは積極的な戦略を取り、クイーン・オブ・ザ・スカイと呼ばれたものの、陳腐化してきた B747 に対抗するため、A380 プログラムを開始する。このようなエアバスの攻勢に対し、ボーイングは長距離部門でのリードを維持するために、市場でさらに幅広い種類の航空機を提供することが必要になった。

ただし、顧客企業を対象にした市場調査や、約 150 億ドルと見積もられた大型ジェット機の高額の開発コストに関する調査を踏まえ、ボーイングは、二階建て航空機の将来性について懐疑的であった。B777 の成功後、ボーイングは、B747 に取って代わるさらに大型の 4 発エンジンを搭載した航空機を開発する余地はほとんどないと判断していた。B747 はオイルショック前の飛行機ともいべきで、1970 年代の 2 回のオイルショックの後、旅客機購入の主な決定要因は、航空機の収容能力から運用コストに比重が移りつつあった。ボーイングは、ハブ・トゥ・ハブ市場は飽和状態で、ハブとなるべき大都市を經由せずに都市から都市への直行便が結ぶポイント・

トゥ・ポイント市場が拡大すると予測。すなわち乗客定員を抑制した長距離直行便の市場が拡大するという見通しを立てた。ただしその市場をカバーするボーイングの航空機は老朽化しており、エアバスへの対抗上、A330 の成功で激しい競争に晒された B767 に取って代わる新しい航空機の開発、生産が決定された。

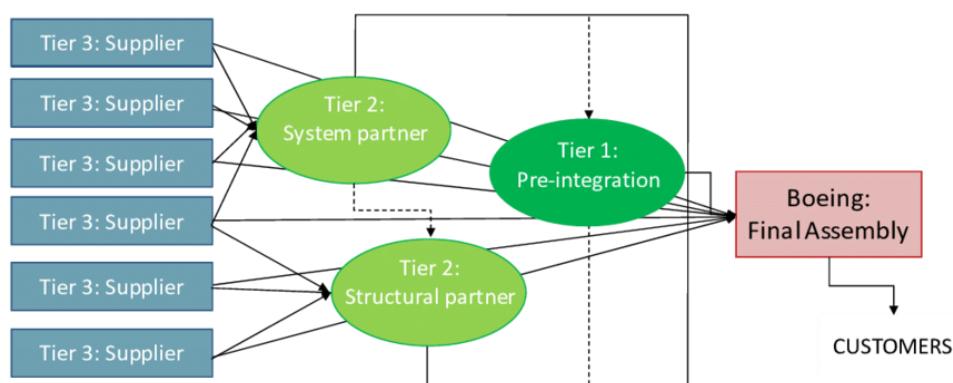
ボーイングの戦略的目標は、市場におけるリーダーシップを維持するためエアバスとの差別化を図ることにあり、新しい技術を取り入れた新しい航空機を開発することになった。そこで当初、マッハ 1 弱のスピードを誇るソニッククルーザーが検討されたが、2002 年後半、航空会社が速度よりもコストカットを重視する傾向が強まったことを踏まえ、ボーイングは B7E7 プログラムを発表。後に B787 ドリームライナーと命名される本プログラムは、B767 と比較して燃料消費量を 20%、運用コストを 10% 削減、また長距離の運用能力向上を目指し、2004 年に正式に開発が始まる。

B787 プログラムの「新しい」サプライチェーン設計思想

ボーイングは、B787 ドリームライナーの開発、生産にあたり、開発期間を 6 年から 4 年に短縮し、開発コストを 100 億ドルから 60 億ドルに縮小することを目標に掲げた。これらの目標を達成するために、ボーイングはエアバスのサプライチェーンを参考にしていることがうかがわれる。例えば、トヨタなど自動車産業でも実施されていた RSP（リスク・シェア・パートナー）のコンセプトは、エアバスが A380 プログラムで導入を進めたが、ボーイングも B787 プログラムでこれを積極的に採用した。この目的は、サプライチェーン全体で産業リスクを希釈化し、利益率を向上させることにある。すなわち、航空機開発への直接投資が可能な限定された大手サプライヤーを Tier1 の戦略的パートナーとして確保し、OEM 企業としてのボーイングの投資負担を減らすとともに、開発と生産の期間を短縮、全体のコスト削減につなげることを目指した。

これまでボーイングの中核事業はエンジニアリングとサブシステムの統合であったが、B787 プログラムの戦略では、生産の下請け比率をこれまでの平均 35~50% から 70%程度まで引き上げることが目指された。主要コンポーネントを請け負う Tier 1 サプライヤーには、設計の一部が委託され、また、組立作業の多くもこれらの企業に依存することとなる。

図 5 – B787 ドリームライナー プログラムのサプライ チェーン



出典) Christopher S.Tang and Joshua D. Zimmerman, « Managing New Product Development and Supply Chain Risks : The Boeing 787 case », Supply Chain Forum, nol.10 – No.2, 2009

図 5 が示すように、B787 で新しく採用されたサプライチェーンは階層構造で構成されており、ボーイングは約 50 社の Tier1 戦略的パートナーを選択している。そしてその下にそれぞれシステムや構造部品関係の Tier2 企業、さらにその下に Tier3 企業が存在する。まず、Tier3 企業は、システム関係、構造部品関係ともに、主に Tier2 企業に対して部品や部材を提供し、Tier2 企業は、様々な部品、サブシステムを製造、ボーイングの Tier1 戦略的パートナーにこれを供給する。Tier1 戦略的パートナーは、これらの部品やサブシステムを組み立てる「インテグレーター」としての役割を果たし、ボーイングに完成したセクションを供給する責務を負う。それぞれのセクションは Tier1 戦略的パートナーがこれを完成させボーイングの FAL に納入するため、ボーイングが、エンジニアリングやメジャー/サブコンポーネントのコストを負担するのは FAL の段階のみであり、また、航空機の最終組立も数日で行うことができるようになった。これは、過去の B737 プログラムのサプライチェーンの場合、最終組立に約 1 か月を要していたのと比較すると²⁰、FAL の工程としては大幅な効率化が図られたことになる。²¹

このボーイングのアプローチは、すでにエアバスが持っていたサプライチェーンのあり方に極めてよく似ている。エアバスコンソーシアムに参加する各国が開発コストとリスクを分担、MCA 方式により複数地域で製造し、組み立てるアプローチは、1970 年代初頭のプログラム開始以来、エアバスが抱える政治的制約を背景に、エアバスによって推進されてきたモデルである。このアプローチを B787 プログラムで採用された規模でサプライチェーン全体に広げる試みは、

²⁰ 2013 年以降、B737 の生産システムは TPS（トヨタ生産方式）の導入などにより FAL のリードタイムは大幅に縮小。

²¹ B787 の生産システムについては、Christopher S.Tang and Joshua D. Zimmerman, “ Managing New Product Development and Supply Chain Risks : The Boeing 787 case “, Supply Chain Forum, nol.10 – No.2, 2009 を参照。

ボーイングにとって生産体制とサプライチェーン・マネジメントプロセスの抜本的な見直しとなった。

ボーイングの直面した課題

この新しいサプライチェーンをほぼ「ゼロ」から構築するにあたり、ボーイングは、新プログラムの運営上、以下のとおり、新たないくつかの重要な課題に直面することとなった。

1. 航空機的设计思想の見直し
2. 開発コーディネーションとサプライチェーン管理の見直し
3. 複数の地域に分かれた生産拠点を前提とする MCA 生産システム
4. マスターコンポーネントの輸送方法

まず、第 1 の航空機的设计思想については、B787 では同社の従来機と比較し、複合材の使用を大幅に増加させるなど、新機種の開発、製造を行うことから、航空機のコセプトについて見直しを行う必要があった。

また、第 2 の開発コーディネーションとサプライチェーン管理の見直しについては、これまでの「ビルド・トゥ・プリント」の契約関係に基づく発注者、サプライヤーとの関係ではなく、主要マイルストーンの調整も含めた重要な設計の一部を担うリスク・シェア・パートナーである戦略的パートナーとの関係が深まったことから、これを適切、効率的にマネジメントする必要性が強まった。

第 3 の MCA 生産システムについては、欧州でエアバスが当初から実施している複数の地域でメジャーコンポーネントを生産し、完成したものを FAL に搬入、最終組立を行うという物流システムをボーイングとして新たに作り上げる必要があった。

この MCA 生産システムに関連して、第 4 のメジャーコンポーネントの輸送方式については、エアバスがベルーガを開発したように、ボーイングは 747 をベースにした Dreamlifter (ドリームリフター) 4 機を開発、製造し、空輸シャトルによるコンポーネントの輸送体制を組織することとなった。

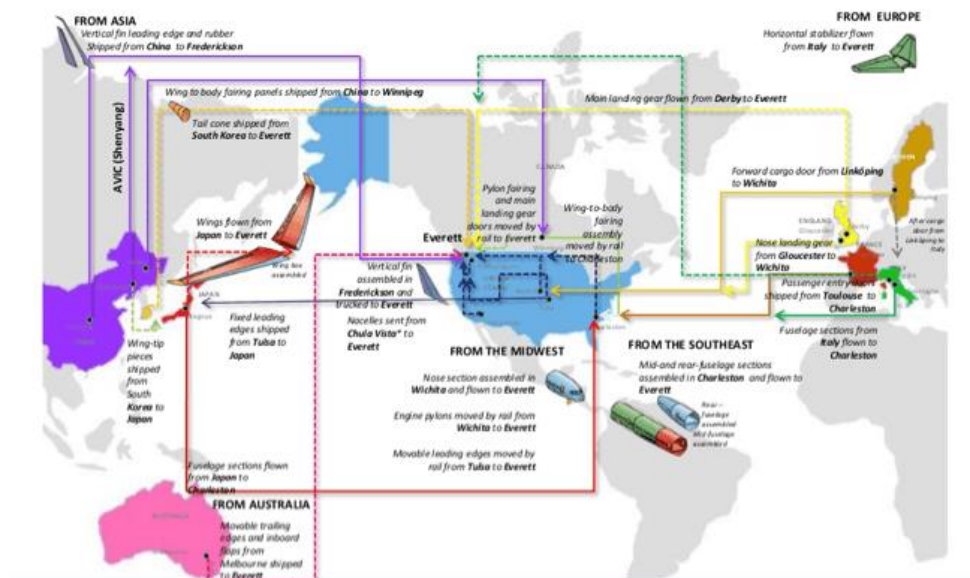
これらの課題のうち最も重要なのは、サプライチェーンのマネジメントである。サプライヤーとの関係を簡素化し、コストを削減、サプライチェーンをより適切に管理するために、ボーイングは、軍事部門でパートナーの BAe (英国)、ボーイング、Lockheed Martin (ロッキード・マーチン)、レイセオンなどと共同で開発したプラットフォームを利用。2000 年 9 月に投入されたシステム「Exostar」は、サプライヤーとの関係、契約関係、発注、部品や製品の物理的な流れ、これに関連する情報の流れについても、統括的に管理することを目的としている。これは、

エアバスが、Supply On のソリューション「AirSupply」を通じて、プログラム参加国別にサプライチェーン管理ツールが分かれていたものをグループ全体及びそれぞれのサプライヤーネットワークを通じて、これを統一させようという試みを続けてきたのと同様の対応である。なお、現在もボーイングのサプライチェーンでは、このシステムを更新し、継続して使用している。

B787 サプライチェーンの構図

図 6 は、当初の B787 サプライチェーンの戦略的パートナーである Tier1 企業の拠点が世界中に展開されている様子を示している。欧州は、エアバスコンソーシアムの参加国である英国、フランスに加え、イタリア、さらにはスウェーデンなどから供給を受け、また、東アジアでは、日米同盟で関係の深い日本をはじめ、中国、韓国にもサプライチェーンが広がっており、オセアニアのオーストラリアからも供給されている。

図-6：B787 国際ワークシェアリング及び輸送経路マップ



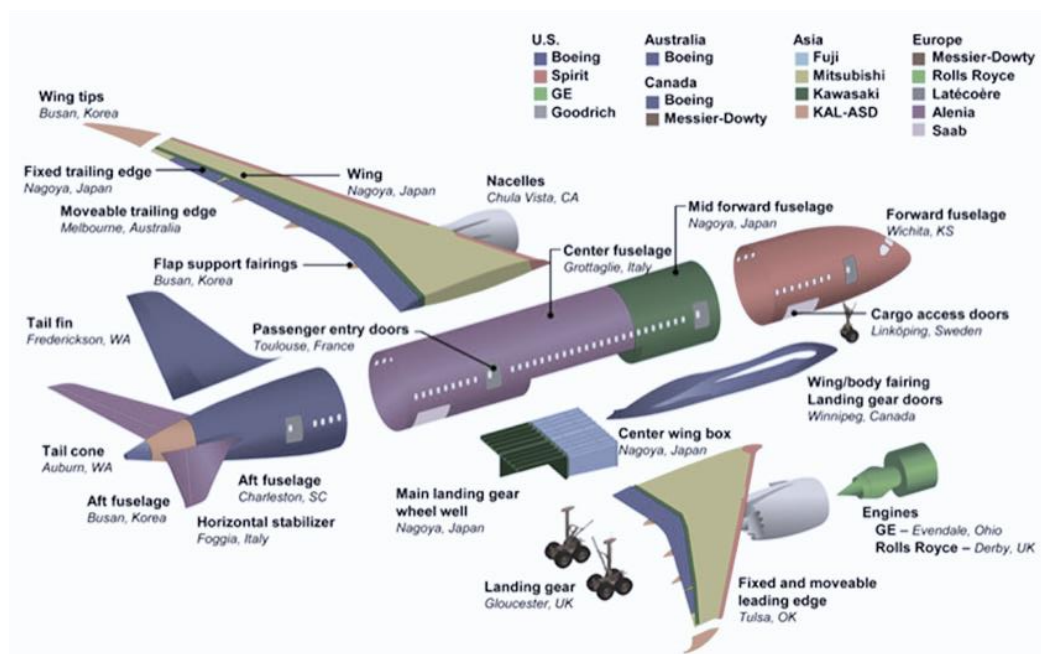
出典：ボーイング HP

それぞれのニーズに合わせ、海運や専用開発製造されたドリームリフターを利用した空輸、また、米国内での鉄道利用などで、ロジスティックスの体制が組み立てられている。これら世界に広がるボーイングのサプライチェーンは、エアバスのサプライチェーンの基本構造を想起させるものがある。²²

²² Voughts (ヴォウト) と Alenia (アレニア) の問題 (それぞれ財務破綻、製品不良) 発生を受け、当初胴体の MCA 生産に使用されていた Charleston (チャールストン) の施設は、ボーイングがこれを引き取り、B787 の FAL はワシントン州の Everett (エヴェレット) からノースカロライナの旧ヴォウトの施設に移管された。

また、図7は、B787プログラムのRSPサプライヤーについて国別の担当コンポーネントについて例示したものである。B787はその約70%を米国内企業から調達を行っており、残りの約30%を海外勢から調達している。²³ 主な米国企業としては、レイセオン・テクノロジー・グループ傘下で、通信システム、操縦制御システムなどを供給するRockwell Collins（ロックウェル・コリンズ）（現コリンズ・アエロスペース）、機首部分など構造部品を取り扱うスピリット（ボーイングから2005年にスピノフ）、ナビゲーションシステムや飛行制御電子機器を提供するハネウェルなどがある。

図-7: B787 グローバル・リスク・シェア・パートナー一覧



出典：ボーイング HP

米国以外からの調達としては、エアバスコンソーシアムの参加国であるフランスからはラテコエールが乗客用ドア、また、現在、Safran group（サフラングループ）の Safran Landing Systems（サフラン・ランディング・システムズ）（旧 Messier Dowty（メシエール・ダウティ））が英国で製造のランディングギアを供給している。その他の欧州諸国では、イタリアのアレニア（現レオナルドグループ）が中央胴体セクション、水平尾翼、スウェーデンの Saab（サーブ）が貨物用ドアを供給している。

²³ CNN Business, “Dreamliner: Where in the world its parts come from “, 2013/1/18

東アジア地域では、日本の三菱重工が主翼、川崎重工が前部胴体、スバルが中央翼などを供給しており、構造部品全体の約 35%を担っている。また、韓国もテールコーンやウイングチップを供給、中国は、方向舵や垂直尾翼前縁などを生産している。

なお、カナダやオーストラリアでは、ボーインググループ会社が主要部品の一部を生産している。さらに、これらの RSP 企業以外にも、インドや東南アジアなどからも部品の供給を受けている。

当初、ボーイングの期待が込められた B787 プログラムはクライアント企業のニーズをよく満たすものであった。2004 年のプログラムの開始から 2 年後にボーイングのこれまでの販売記録が破られ、2007 年末までには累計で 817 機のネットオーダーを獲得するなど、商業的に順調な滑り出しを迎えた。この初期の営業の成功は、マーケットのニーズに応じた機種開発を進め、各航空会社に高い訴求力を持つ航空機を提案したこともあるが、上述のとおり、世界各国の主要なマーケットの航空産業の重要なプレイヤーを、国際的なパートナーとして自らのサプライチェーンに取り込むという戦略が貢献した面もあると思われる。

ただし、2004 年に開始されたこの B787 プログラムは、新しいサプライチェーンのマネジメントが円滑に進まず、開発の遅れが生じ、初飛行の予定は 2 年、就航は 3 年以上遅延し、ローンチカスタマーの ANA が初運航を実現したのは 2011 年 10 月であった。2019 年には、主要サプライヤーの一つであったヴォウトが経営困難に陥ったことから、サプライチェーンを維持するため、ボーイングは同社の工場を買収せざるを得なくなった。また、胴体部品を製造するイタリアのアレニアのケースなど、グローバルパートナーの品質管理上の課題が頻出した。技術面では、同機で大量採用された複合材による製造に関連する諸課題を解決する必要があったことも、新しいサプライチェーンのマネジメントの困難を増幅させた。

開発から 4 年で 1 号機を完成させるという目標が野心的過ぎたという見方もできる。しかし、ボーイングにとって新たな産業モデルを構築するのは、すでに多国間協力による MCA モデルで生産することの経験値が高いエアバスと比べると、技術上、産業組織上のチャレンジは大きかったものと思われる。

第 2 節 A350XWB プログラムとエアバス・サプライチェーン戦略

以上のようなボーイングの動きに対し、2006 年、これまで A380 と A400M の立ち上げの難しさに直面してきたエアバスは、当初、ボーイングが中止した B767 の再設計プロジェクト B767ERX と同様、A330 を再設計し、新エンジンを備えた「A350」計画の提案を検討。しかし、B787 のプログラム開始直後の商業的成功を見たエアバスは、A330 ファミリーが占めるこの主

カセグメントで競争力を高めるために計画を見直し、A350XWB のプログラム名で新機種の開発を開始。胴体の規模を拡大し乗客定員数を引き上げ、複合材料を 50%以上使用し燃料効率を高めるなど、航空会社の新しいニーズをできるだけ取り入れるための工夫を行った。²⁴

2000 年代航空機産業の質的变化とエアバスの戦略

この新プロジェクトで、エアバスグループは、新たな生産プロセスおよびサプライチェーンの構築を進めることになるわけであるが、この方向性は、世界の航空機産業の発展段階、市場環境に少なからず影響されている。フランス公共政策研究の Pierre Muller (ピエール・ミュラー) によれば、欧州航空機産業は、エンジニアリングの時代 (基礎技術の確立) から政治の時代 (4 国によるエアバスコンソーシアムの開始) を経て、商業の時代 (エアバス機の商業的成功) を経験し、マネージメントの時代 (企業組織及びサプライチェーンを確立) の後に、1990 年代後半に至りファイナンスの時代 (財務的管理の重要性の高まり) を迎えたとする。²⁵なお、このプロセスは、エアバスだけでなく、ボーイングも、むしろその先駆者としてこれに近いプロセスを歩んできた。

このファイナンスの時代には、企業ガバナンスにおける株主利益の重視、短期的利益の追求を特徴とする財務的視点の強化 (Financialization) がなされたが、これに加え、航空技術の一層の進歩 (Innovation) を得て、産業構造が複雑化、必要投資規模が拡大したこと、また、冷戦後の自由主義経済圏の広がりや国境を越えた取引の拡大 (Globalization) が進むという環境が生まれている。

このような文脈で、エアバスは、A350XWB ファミリーの開発計画にあたり、自らが A380 で導入を進め、またボーイングが B787 において構築しようとしていた産業モデルをさらに発展させようと試みた。当時のエアバスの戦略は、次の 3 つのキーワードで説明することができる。²⁶

1. Refocusing (中核事業への資源の集中)
2. Outsourcing (外部委託の拡大)
3. Offshoring (海外移転の推進)

この「Refocusing」、「Outsourcing」、「Offshoring」の三つの戦略方針は、それぞれ相互に関連すると同時に、これらの方向性はエアバスグループ内部に留まるのではなく、「Extended Enterprise」(拡張された企業)としてのサプライチェーン全体に波及していく効果を持つことになる。このサプライチェーンはいわゆる「ネットワーク企業体」といわれる。す

²⁴ なお A330 に新エンジンを搭載するというアイデアは維持され、後に A330NEO で実現している。

²⁵ Pierre MULLER (2000), エアバス, l'ambition européenne, Logiques d'Etat, logiques de marché, L'Harmattan

²⁶ Frédéric MAZAUD, Marie LAGASSE (2009), "Externalisation et coordination stratégique des relations de sous-traitance : le cas d'エアバス", Analyse et Transformations de la Firme, pp.153-168.

なわち、複数の拠点都市に存在する多くのサプライヤー、生産拠点、機能を相互につなぎ、納期、コスト、品質に関する共通の最終目的に従い、モノ、ファイナンス、情報そして人のフローで機能する一つの生産システムである。²⁷ これはまさしくボーイングが B787 プログラムで徹底させようとした産業モデルとっていいだろう。

まず、「Refocusing」については、エアバスグループは、A350XWB プログラムを通じて新たなエアバスグループのサプライチェーンの方向性を打ち出し、「ビルト・トゥ・プリント」から「インテグレーター」モデルへの移行と位置付けている。エアバスは、自らは、通常部品の生産や組立はもはや行わず、ただし、限られた種類の高付加価値の部品、コンポーネントの生産のみを行い、原則として、自らは、川上のマーケティングとプログラムの概念設計、そして川下のインテグレーションと最終組立に特化する。²⁸

その一方で「Outsourcing」として、主要 Tier1 企業 10 社程度を戦略的パートナーとし、全体で 100 を超えるサプライヤーと RSP としての契約を結び、設計段階から関与させ、ファイナンス面でのコミットメントを求めつつ、さらに、大型インテグレーションもこれらの Tier1 企業に委ねるという方向性が追及された。

また、「Offshoring」としては、エアバスの 100%子会社である Stelia（ステリア：現エアバス・アトランティック）も含め、多くの Tier1、Tier2 企業が、2000 年代半ば以降、ベストコスト戦略の名の下に、欧州市場では北アフリカや東欧に、また、米国市場ではメキシコなどに工場を建設、あるいは買収により、海外での製造拠点を拡大させている。²⁹

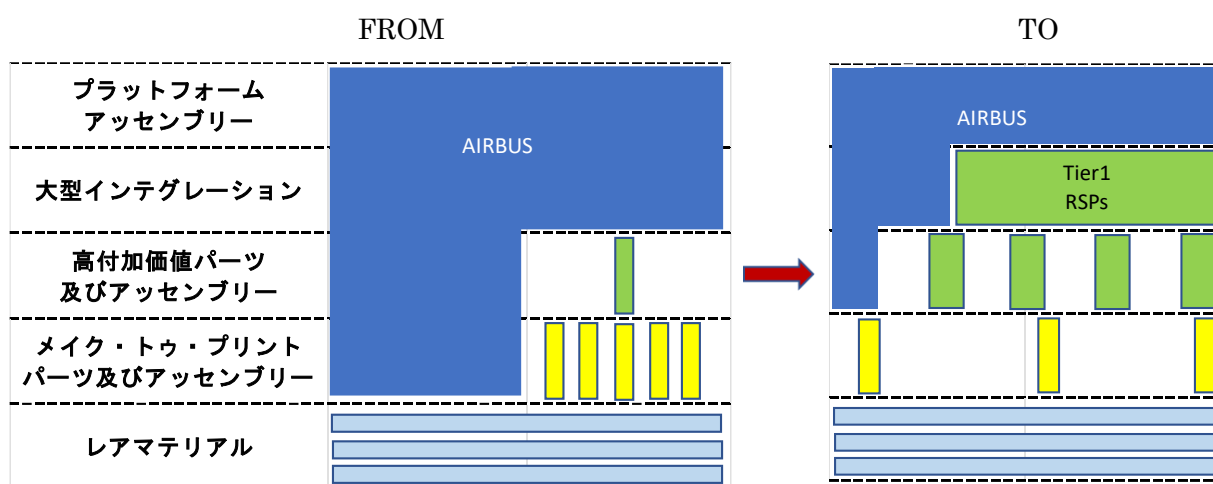
以上の戦略方針を、エアバスが公開している文書から見てみよう。2013 年に、エアバスのエンジニアリングソリューション担当副社長の Anders ROMARE（アンデル・ロマル）は、エアバスのサプライチェーンの管理システムの方向性を示す文書の中で、エアバスとして RSP 戦略をさらに強化するとともに、「ビルト・トゥ・プリント」から「インテグレーター」モデルへの転換を進める方針を説明している。

²⁷ Jean-Marc ZULIANI, Guy JALABERT (2005), “L’industrie aéronautique européenne : organisation industrielle et fonctionnement en réseaux”.

²⁸ Med KECHIDI (2013) “From ‘aircraft manufacturer’ to ‘architect-integrator’: Airbus’s industrial organisation model”, Int. J. Technology and Globalisation, Vol. 7, Nos. 1/2, pp.8–22.

²⁹ Les Echos, “La sous-traitance aéronautique forcée de se délocaliser”, 2019/03/14

図-8 “ビルト・トゥ・プリントから“インテグレーター”モデルへ (RSP 戦略の強化とともに)



出典) エアバス, Evolution of PLM and SE inside エアバス, Anders ROMARE, Vice President Engineering solutions, エアバス, 2013

図 8 に示すように、FAL におけるプラットフォームアッセンブリー（最終組立工程）は、これまでどおり、エアバスがこれを担う。しかし、大型インテグレーションに関しては、これまでエアバス及びエアバス子会社が担ってきたが、新しいスキームでは、その多くを RSP である Tier1 企業に移管し、これらのメジャーコンポーネントのインテグレーションに必要な高付加価値パーツ及びアッセンブリーについては原則として、同じく RSP の Tier 1 企業、あるいはその Tier1 企業の責任のもとにある Tier2 企業に依拠することとする。エアバスとしては、高付加価値パーツ及びアッセンブリーの自社による製造は、戦略的に重要な分野に限定する。また、メイク・トゥ・プリントパーツおよびプレ・アッセンブリーについては、完全に生産をサプライヤーに移管する。注意を要するのは、図にあるように、これら高付加価値ではないパーツおよびアッセンブリーについては、これまでと比較し、企業数を絞っていくことが志向されていることである。生産力拡大のニーズなどに対応するための投資余力を備え、企業の財務上のリスクが最小限となるよう、サプライチェーンを構成する Tier2 企業、Tier3 企業も含めて、企業規模の拡大を求め、企業数を絞り込もうという意図がある。

なお、「Outsourcing」の過程で RSP のスキームが採用されたのは「Refocusing」すなわちエアバスを「アーキテクト」および「インテグレーター」に特化させようとする戦略に密接に関連している。高度で複雑な工程を Tier1 に委託しようとする際、統一的なシステムでプロジェクト管理を効率的に行うことは重要であるが、それだけでは十分ではない。プロジェクト管理システムによる運用と合わせ、OEM と Tier1 間で、製品の品質確保、納期の厳守などの面で、インセンティブが共有される条件を十分に整えておくことが必要である。RSP 契約の下で、開発投資を回収するためにはプログラムが円滑に進むとともに、予定された期限内に一定数の販売計画が達成されなければならない。逆に達成されなければ、RSP の契約を持つ Tier1 企業は、投資回収

が遅延あるいは不可能となり、財務的損失を被ることになる。従って、RSP の Tier1 企業は OEM 企業と利害関係を共有しており、プロジェクト管理システムを通じて、合理的、効率的な開発、生産が行われるという考え方である。すなわち、サプライチェーンについて、OEM 企業がインテグレーターモデルを志向するとき、当然に RSP のような契約関係を導入することで、主要サプライヤーのプロジェクトの利害関係者としての立場を強化しておく必要がある。

以上、エアバスが A350XWB プログラムの開始にあたって、産業史的視点も含め、エアバスがサプライチェーンを構築する上での戦略について検討を加えた。

以下、エアバスが A350 プログラムを進めていくうえで、上記の戦略に基づき、いかにサプライチェーンを再編してきたのか、具体的にその状況を確認していきたい。なお、この再編の動きについては、原則として、航空機産業がコロナ禍に見舞われた 2020 年初頭以前の動きに絞って解説することとする。これは、2020 年以降、コロナ危機を踏まえて、エアバスの調達戦略の方向性に軌道修正が行われたことを踏まえており、その動向については「報告 4」にて解説することとする。

第 3 節 A350XWB プログラム下のエアバスのサプライチェーンの再編

2007 年に開始された A350XWB プログラムでは、第 2 節で示したとおり、「Refocusing」「Outsourcing」「Offshoring」という 3 つの戦略方針に基づき、同プログラムのサプライチェーンが構築されていく。この方針を具体化したものが、2007 年 2 月に発表されたパワー 8 戦略である。同戦略は、当時、A380 プログラムの遅延による財務的困難への対応策という面があり、主に管理部門のリストラと複数の生産施設の売却などにより、キャッシュフローを改善するとともに、生産性の向上、開発期間の短縮（7.5 年から 6 年へ）などを目標と掲げている。本戦略に基づき、エアバス本体とサプライヤーを合わせて 2010 年までに約 5,000 人の解雇を行うほか、エアバスは自らをアーキテクト・インテグレーターと位置付け、航空機の開発の一部と多くの生産工程をアウトソーシングする方向性を模索している。売却対象として当初指定されていたのは、サン・ナゼール/フランス、Laupheim (ラウプハイム/ドイツ)、Varel (ヴァレル/ドイツ) の 3 か所で、戦略的パートナーシップを結ぶ拠点としては、メオルト/フランス、Filton (フィルトン/英国)、Nordenham (ノルデンハム/ドイツ) が指定されていた。³⁰

以上のプランに基づき、まず 2008 年には、すべてのエアバスコンソーシアムにキャビン内装、乗客用レストルーム、空調ダクトなどを供給していたドイツのラウプハイム工場（従業員約 1,100 人、売上規模約 2 億 4,000 万ユーロ）を Diehl group (ディーグループ) と Thales group

³⁰ Challenges, “Les mesures du plan Power 8”, 2007/02/28

(タレスグループ) の JV、Diehl Aerospace (ディール・アエロスペース) に約 2 億ユーロで売却している。³¹ また同年には、英国 Bristol (ブリストル) 近くの翼関連の製造、組立拠点であるフィルトン工場 (従業員 1,500 人) を GKN に約 1 億 7,200 万ユーロで売却した。エアバスは、同拠点の開発関連の機能 (従業員約 5,000 人) は自社内に維持する一方、生産部分を GKN に移管した形で、同社を A350 プログラムの戦略的パートナーとして位置付けている。³²

一方、2008 年には エアバスグループのメオルト工場及びサン・ナゼール工場とラテコエール (フランス) との間で統合計画が検討されたが、同グループの財務上の問題で実現しなかった。ただし、売却できなかったケースでも、エアバスグループの本社から切り離し、子会社化することで外部化を図り、将来の売却に向けた準備としての企業再編がフランス及びドイツで行われた。

フランスのケースでは、政府は、政府系ファンドを通じて、エアバスの戦略を支援し、構造部品を扱う企業がグローバル市場で競争できるよう、企業規模の拡大と企業体質の強化のための支援を行っている。2009 年には、政府系ファンドからの支援を受け、産業パッケージ、ロジスティックス及び輸送事業を主に行っていたダエールが、複合材の構造部品と TBM モデルの小型プライベート・ターボプロップ機を製造するエアバスグループの子会社である SOCATA (ソカタ) (従業員約 1,115 人) を買収している。また、同年、エアバスのメオルトとサン・ナゼールの拠点、トゥールーズの設計関連オフィスを合わせて本社から分離し、構造部品製造企業として Aerolia (アエロリア) を設立、これの子会社化した。また、エアバスのフランス子会社で、胴体部分など構造部品、キャビン内装、コックピット用シート生産及び MRO 事業を担う Sogerma (ソジェルマ)³³は、2006 年には MRO 事業を Sabena Technics (サビーナ・テクニクス) に譲渡し、構造部品関連を専門とする子会社としての位置づけを固めた。その後、2015 年には、アエロリアとソジェルマが合併し、引き続きエアバスの子会社として Stelia Aerospace (ステリア・アエロスペース) を設立、事業規模約 16 億ユーロ、従業員数 6,100 人で当時、世界第 3 位の構造部品メーカーが誕生している。³⁴

³¹ LA DEPECHE, “Airbus vend son site Laupheim au tandem Franco-allemand Diehl/Thales“, 2008/08/01

³² LA DEPECHE, “Airbus parvient à vendre son usine anglaise de Filton, reprise par GKN“, 2008/09/15

³³ 1970 年に Nord aviation (ノール・アビアション) と Sud Aviation (シュッド・アビアション) が合併し、フランスにおけるエアバスグループの母体 SNIAS (1985 年に Aerospatiale (アエロスパシアル) に名称変更) が誕生したが、ソジェルマは、シュッド・アビアションに属するボルドー近郊のメリニャック工場を源流とし、当初、MRO 事業を行っていたが、1988 年の企業買収により構造部品や航空機用シートの生産を開始していた。

³⁴ L’Usine nouvelle, “Aerolia, Sogerma, Latécoère : l’aérostructure court après sa rentabilité“, 2014/10/9

一方、ドイツにおいても 2009 年に、EADS およびエアバス（ドイツ）の工場をまとめ、プレミアム・アエロテックが構造部品生産を行うエアバスグループの子会社として設立された。プレミアム・アエロテックは、約 10,000 人の従業員を擁し、事業規模は約 20 億ユーロに達した。2018 年当時、同社の売却が取りざたされたが、エアバスはプレスリリースで、中長期的にプレミアム・アエロテックを売却する方針は変わらないが、現在、交渉は行っておらず、売却を急ぐ理由はないと述べている。情報筋によれば、事業運営面で整理すべき点が多く、売却を進める段階には至っていないとの報道もなされた。³⁵

こうして、エアバス傘下の大規模の構造部品メーカーがフランスとドイツでそれぞれ 1 社に集約されたわけであるが、スペインでもアエルノヴァ やアシトゥーリなどの大手構造部品メーカーを巻き込んで吸収合併を進めるべきという声は根強い。2014 年に、複合材加工に強みを持つアレステイスが経営困難に陥った際、一時的にエアバスの資本を受け入れた。その後、2019 年にはアシトゥーリが同株式を買い取り、持ち分を 76% としアレステイスを傘下に収めている。³⁶

このような構造部品部門における企業再編とサプライチェーン変化の動きには、米国企業も関与している。スピリットは、2006 年に英国 BAe の構造部品関係の生産施設を買収、2010 年には約 2 億ユーロを投下し、フランスのエアバス拠点の一つサン・ナゼールに工場を開設している。同工場では、米国ノースカロライナ州から船で搬入したパネルを使い、A350XWB の胴体中央部を製造しており、エアバスの戦略的パートナーとしてフランスにおける生産拠点を確固として築いた。³⁷なお、同社は、メオルト工場の売却案についても、ラテコエール（フランス）、アレニア（イタリア）とともに候補となっていた経過がある。³⁸

以上が A350XWB プログラムの開始と軌を一にして、構造部品関係企業を対象に行われた再編等の主な状況であるが、この結果、エアバスのサプライチェーンにおける構造部品メーカーは、4 社が主要企業としてその地位を固めることとなった。すなわち、エアバスグループ 2 社、ステリア・アエロスペース（フランス：現エアバス・アトランティック）とプレミアム・アエロテック（ドイツ）³⁹、そして GKN（英国）とスピリット（米国）の 4 社である。⁴⁰ スピリット、あるいは GKN と比較しても、エアバス傘下の構造部品メーカー 2 社は、事業規模としてはまだ見劣りがする。このような中、エアバス子会社を売却し、独立系の中堅構造部品メーカーなどと合併

³⁵ Les Echos, “Airbus ne négocie plus la vente de Premium Aerotec-pressé”, 2018/09/06

³⁶ Capital, “Airbus cède ses parts dans le capital d’Alestis Aerospace”, 2019/04/01

³⁷ L’Usine nouvelle, “Spirit AeroSystems arrive à Saint-Nazaire”, 2009/10/08

³⁸ Challenges, “Les mesures du plan Power 8”, 2007/02/28

³⁹ 2022 年にエアバス・アエロストラクチャーズと分社化

⁴⁰ L’Usine nouvelle “La réorganisation d’エアバス, future onde de choc pour les fournisseurs”, 2021/04/28

させ、スピリットと対抗できるようなフランス、あるいは欧州の構造部品メーカーを作る必要があるとの考えは、少なくともフランスではよく議論されるところである。

一方、A350XWB プログラムのもとでエアバスグループ内あるいは外部の Tier1 戦略的パートナーの再編が進んだことで、その他の中小構造部品メーカーにも様々な影響が及んだ。エアバスあるいは、その戦略的パートナーは、サプライチェーンの安定性、強靭性を確保するため、その他の Tier1、Tier2 企業に対しても、財務体質の強化、規模の拡大を求める傾向が強まった。一例として、2012年に Mecachrome (メカクローム) (売上 2 億 2,500 万ユーロ、従業員 1,500 人) がトゥールーズ近郊にある金属・板金加工の Mecahers (メカエール)を買収、メカエールは当時、エアバスの Tier1 で、売上規模 2700 万ユーロ、従業員 280 人の中小企業であった。⁴¹ 売却を決めた同社会長 Patrick Razat (パトリック・ラザ) は専門誌のインタビューに答え、A350XWB プログラムなどで RSP の仕組みが Tier2 サプライヤーにも波及する中で、中小企業の財務負担が高まっていることに触れ、「2 億 5,000 万ユーロ以下の売上規模では、大手企業との取引を続けることは困難で、サプライチェーンに残りたければ合併の道を進まなければならない」と発言している。⁴²

当初、企業合併でなく、企業の独立性を維持したまま他の中小企業とパートナーシップを結ぶことでエアバスのサプライチェーンに残ることを追求する企業もあった。ピレネーアトランティック県にある Lauak group (ロウアクグループ)は、2011年当時、従業員 460名、売上規模 3,000 万ユーロの中小企業であったが、企業の独立は維持しつつ、フランス西部ナントにある金属圧縮加工の ACB と提携することで、組立工程や複合材部品の提供を含めたワークパッケージの提案を可能にする道を選択した。ただし、その後は企業買収を進め、2022年現在では、売上規模 1 億 2,000 万ユーロの中堅企業に成長をしている。なお、同じようなパートナーシップ関係を出発点に形成された企業グループとして、We Are Group (ウィアーグループ) や NextTeam Group (ネクストチームグループ) などの例もある。

今後、エアバスのサプライチェーンに残っていくための、いわゆる「必要規模」(critical size) とされる売上規模については議論があるところであるが、一般的に引用される数字は、年間売上高約 1 億ユーロ程度とされる。もちろん、サプライチェーンの分野や製造する部品の特性や重要性に左右されるが、総じて Tier1、Tier2 企業も含めて、規模を拡大し、これまでよりも高位のワークパッケージを提案し、また、エアバスのサプライチェーンの強靭性を担保し得るような財務力を備えることが益々求められるようになっている。

⁴¹ La Dépeche, “Toulouse. Mecahers est rachetée par Mecachrome“, 2022/12/16

⁴² L’Usine nouvelle, “ La taille critique, nouvelle obsession des PME de l’aéronautique“, 2011/11/17

次節では、具体的にA350XWBのサプライチェーンについて、機体構造部品のコンポーネント別の主要サプライヤーの状況について、ボーイングのB787との比較しながら確認しておきたい。

第4節 A350XWB 構造部品主要サプライヤー B787 との比較

本節では、エアバスのA350XWBプログラムの構造部品主要サプライヤーについて、B787のサプライヤーとの比較で見てみることにする。まず、A350XWBとB787のそれぞれプログラムの概要について基本データを確認しておく。

表1：ボーイング B787 及びエアバス A350 プログラムの基本情報

	 BOEING	AIRBUS
プログラム	B787	A350
開発開始年	2004年(2003年発表)	2007年(発表2006年)
初フライト	2009年12月15日	2013年6月14日
ローンチカスタマー	全日空 (2011年9月28日)	カタール航空 2014年12月18日
乗客定員	B787-8: 242人 B787-9: 290人 B787-10: 330人	A350-800: 276人 A350-900: 300~350人 A350-1000: 350~410人
競合機	A330NEO 及び A350-900	A350-900: B787 A350-1000: 777X
発注機数 (2022年8月現在)	1479	938 A350-900: 739 A350-1000: 168 貨物機: 31
納機数 (2022年8月現在)	1007	491
バックログ (2022年8月現在)	472	447
FAL (最終組立工場)	Boeing Everett(エヴェレット), 米国ワシントン州 (2007~2021年) Boeing North Charleston (ノース・チャールストン) 米国サウスカロライナ州 第2FAL(2011年~) 単独FAL(2021年~)	エアバス Toulouse(トゥールーズ), フランスオクシタニ州
FAL生産ペース (2022年6月)	2/月	3,5/月
FAL生産目標目標 (2023年後期)	5/月	6/月

カタログ価格	B787-8: 2億 4,800 万ドル B787-9: 2億 9,200 万ドル B787-10: 3億 3,800 万ドル	A350-900: 3億 1,700 万ドル A350-1000: 3億 6,600 万ドル
最大顧客	全日空 (発注 95 機、納機 75 機)	シンガポール航空 (発注 72 機、納機 60 機) カタール航空 (発注 72 機、納機 50 機)
エンジン	GE: Genx ロールスロイス: Trent 1000	ロールスロイス: Trent XWB engine

出典: エアバス、ボーイング公式サイト掲載のデータのほか各種報道情報より作成

B787 及び A350XWB とともに、航空会社にとって差別化要因である魅力的な機内空間を提供しつつ、燃料消費量を大幅に削減した航空機として一般的に高い評価を得ている。両機ともに、前世代の航空機と比較し、顧客満足度を高める要素が多く、多くの航空会社がフラッグシップ機として利用を進めることが期待されている。

ボーイングの新サプライチェーンの陥穽

一方、ボーイングは、リスク管理が十分に成功せず、B787 プログラムの開発期間は、当初の 4 年から 8 年に延び、開発費も当初の 60 億ドルから 5 倍以上の 500 億ドルに膨れ上がったとされる。ボーイングは、2009 年 7 月のヴォウトのチャールストン工場の買収や、ボーイングとエヴェレット工場の労働組合との間の労働争議など、サプライチェーンにおける数々の経営問題に直面した。エヴェレットの FAL B787 は 2021 年 2 月に閉鎖されたが、ボーイングはこの移管について、チャールストンで生産したセクションをエヴェレットヘッドルームリフターで輸送できないことを理由として挙げている。しかし、現実には、チャールストンの新しい FAL では組合組織率が低く、組合交渉を回避することができるという意味があったと一般的に理解されている。B787 プログラムは、販売面では成功を収めたが、品質問題についてもその頻度と問題の深刻さで記録的であったといわざるを得ない。設計、また産業化プロセスにおいてボーイングは数々の問題に対処しなければならなかった。

また、商業的な成功にもかかわらず、500 億ドルというプログラム開発費は、単位収益の 30% に上り、航空産業では通常 10% 程度という水準からすれば相当大きな負担になっている。さらに数多くの開発に起因する品質問題は、ボーイングが完全にコントロールしているようには見えない。2013 年に FAA (アメリカ連邦航空局) は、リチウムイオン電池の火災問題を受けて、当時、運航中であった 50 機すべてについて運航停止処分を下している。また、レオナルドのサプライヤーが生産した後部セクションの接合部の問題及びチタン製構造部品の品質問題のために、2020 年 11 月から 2022 年 8 月の間にほぼ 2 年間、納機が停止されることになった。その間、完成済みの B787、120 機が納機されないまま、製造の一部やり直しを待つ間、保管されるという

状況が続いた。この納機の中止措置と納期の遅れは、航空会社への損害賠償、サプライヤーへの補償金などで、ボーイングにとって約 55 億ドルの負担になったといわれている。

このような事態を迎えた理由の一つとして、リスク・シェア・パートナーの問題があるように思われる。エアバスが A380 や A400M プログラムで実施したように、プログラムの約 70% の開発・設計を国際的にアウトソーシングするという方針は、ボーイングにとってリスク・シェア・パートナーを徹底し過ぎた、あるいは早急に導入を進め過ぎた可能性がある。今回のボーイングの B787 プログラムをめぐる困難は、トランプ大統領による航空機分野における保護主義的措置という、リスク・シェア・パートナーの国際的な仕組みにそぐわない一方的なアプローチをもたらした。また、ボーイングが、B787 の前に白紙から新しい民間航空機を開発したのは 18 年も前のことである。このような開発プロジェクトの不足が、ボーイングの開発、設計のスキルを低下、あるいは喪失させるリスクをもたらしているとの見方もある。

A350 XWB、プログラム遅延にも関わらず順調



エアバスは A350XWB の開発を B787 に比べて 3 年遅れて開始しており、運航開始もこのクラスの航空機の中では後ろにずれこんだ。しかし、エアバスは「報告 1」で述べたとおり、エアバスのサプライチェーンが持つ基本構造として、国別の役割分担の仕組みがリスクシェアの仕組みを内包していたことが挙げられる。また、A380 プログラムの失敗と A400M の困難を経験したことで、リスク・シェア・パートナーのマネジメントに関するより多くの経験を生かし、A350XWB プログラムの推進にあたることができた。一例として、エアバスは、戦略的パートナーの開発を支援するため、海外に複数のデザインセンターを開設し、共同開発イニシアティブをサポートし、また、顧客の希望を十分に取り入れた機体のカスタマイズができるよう支援する仕組みを整備している。

当初は、主力機 A330 プログラムが B787 の開発開始直後の営業面の成功に脅かされていたが、この A350XWB の開発スタートがずれ込んだこと、また B787 開発が遅延したことは、エアバスにとって有利に働いた。つまり、エアバスは B787 の遅れを踏まえ、A330 の顧客を維持するために、当初計画していた A330NEO（新エンジン）を開発、発売するという判断が可能になったと同時に、B787-8、B787-9 及び B777-200 及び B777-300 に対抗し得るよう A350XWB のスペックを改善することができた。開発面では、エアバスは他のプログラムから得た教訓を生かす社内プロセスを整備しており、これは自社プログラムに関するものだけでなく、B787 からのフィードバックも対象となっている。

A350XWB プログラムで成熟するエアバスの産業組織

エアバスでは常に MCA 方式での生産が標準であり、モデルとして成熟度を深めている。エアバスのこれまでの航空機ファミリーと同様に、A350XWB は、各国に散らばった複数の拠点が特定のメジャーコンポーネントに特化して製造されている。すなわち、フランス、ドイツ、スペイン、英国にある 16 の産業拠点がそれぞれ 1 つまたは複数の完成部品の製造を担っている。これらのエアバス産業拠点から、また、世界各国にある戦略的パートナーが製造するメジャーコンポーネントの製造拠点から、エアバス A350XWB の最終組立ラインのあるトゥールーズに輸送されている。表 2 では、A350XWB の主な構造部品等サプライヤーについて、ボーイング B787 のサプライヤーと対比しながら見てみよう。

表 2：ボーイング B787 及びエアバス A350 プログラムの主な構造部品サプライヤー

OEM		
プログラム	B787	A350XWB
最終組み立て工程 (FAL)	Boeing (米：North Charleston)	Airbus (仏：Toulouse)
コックピット (Cockpit)	Spirit ⁴³ (米：Wichita)	Airbus Atlantic (仏：Méaulte)
前方胴体 (Front fuselage)	Spirit (米：Wichita)	Airbus Atlantic (仏：Saint-Nazaire)
前部胴体 (Mid forward fuselage)	川崎重工 (日)	Premium Aerotech (独：Nordenham)
中央胴体 (Center fuselage)	Leonardo ⁴⁴ (伊)	Airbus (西：Puerto real (2021 閉鎖)) Spirit (米：NC 州) (仏：Saint Nazaire)
後部胴体 (前部) (Aft fuselage (front part))	Vought (Boeing 買収) (米：Charleston) Leonardo (伊)	Airbus (独：Hamburg) Assembly Premium Aerotec (独：Augsburg) Lateral aft fuselage panels Airbus

⁴³元ボーイング工場 (スピリットは 2005 年にボーイングからスピニアウトされた企業)

⁴⁴前身は Alenia (アレニア)

		(独：Stade) Upper/lower aft fuselage panels
後部胴体 (後部) (Aft fuselage (rear part))	Korean Air Aerospace (韓)	エアバス (独：Hamburg) Assembly Airbus (西：Getafe) Rear fuselage barrel
中央翼 (Central wing box)	SUBARU (日)	Airbus (仏：Nantes)
ベリーフェアリング (Wing to Body Fairings) (Belly fairing)	Boeing (加：Winnipeg)	Alestis ⁴⁵ (西)
スラット/フラッグ (Slat and flag)	Boeing Aerostructures (豪)	Fokker (GKN) (蘭)
インボードフラグ (Inboard flag)	Boeing Aerostructures (豪)	Strata (UAE)
補助翼 (Ailerons)	Boeing Aerostructures (豪)	Turkish Aircraft Industries (土)
ウイングチップス (Wingtips)	Korean Air Aerospace (韓)	FACC (澳)
スポイラー (Spoiler)	FACC (澳)	FACC (澳) CCAC (中)
エレベーター (Elevator)	Turkish Aircraft Industries (土)	Belairbus ⁴⁶ (白)
ウイング・トレイリングエッジ (Wing trailing edge)	川崎重工 (日)	GKN (英) GE Aviation (米)
ウイング・インテグレーション (wings integration)	三菱重工 (日)	エアバス (英：Broughton) (独：Bremen/Hamburg)

⁴⁵Alestis (アレスティス) は Aciturri (アシトゥーリ) が 76%の株式を保有する子会社。

⁴⁶ SONACA, ASCO, BMT EURAIR の合弁会社

ナセル (Engine nacelles)	Collins Aerospace (Raytheon group) (米：Chula Vista)	Collins Aerospace (Raytheon Group) (仏：Colomiers/Toulouse 近郊)
エアインレット (Air Inlet)		Airbus (仏：Nantes) Daher (複合材部分) (仏)
パイロン (Pylon)	Spirit (米：Wichita)	Airbus (仏：Toulouse) Pylon Primary Structure Corse Composites Aero (仏；Corse) Pylon Fairing
ノーズランディングギア (Nose Landing Gear)	Safran, Messier Dowty Glowcester (仏：英国工場)	Liebherr (独：Lindenberg)
メインランディングギア (Main Landing Gear)	Safran, Messier Dowty Glowcester (仏：英国工場)	Safran, Messier Dowty Glowcester (仏：英国工場)
メインランディングギア・ドア (Main Landing Gear Doors)	Boeing (加)	Daher (仏)
メインランディングギア・格納ドア (Main Landing Gear Wheels well)	川崎重工 (日)	
水平尾翼 (Horizontal Stabiliser)	Leonardo (伊：Foggia) Boeing (米：West Jordan/Salt Lake City)	Aernnova (西)
垂直尾翼 (Vertical Stabiliser)		Aciturri (西) (独：Stade) Integration
方向舵 (Rudder)	CCAC (中)	Harbin Hafei Airbus Composite Manufacturing Center (中) ⁴⁷ Triumph Group (泰) composite parts
テイルセクション・インテグレーション (Tail section integration)	Boeing (米：North Charleston)	Airbus / Premium Aerotec (独：Hambourg)

⁴⁷ JV Harbin Hafei 及びエアバス中国による JV

テイルコーン (Tail Cone)	Boeing (米：North Charleston)	Alestis ⁴⁸ (西)
乗客用ドア (Passengers Doors)	Latécoère (仏：Toulouse)	Airbus Helicopters (独：Donauwörth)
非常口ドア (Over wing exit doors)	Latécoère (仏：Toulouse)	Airbus Helicopters (独：Donauwörth)
貨物室ドア (Cargo door)	Saab (瑞)	Airbus Helicopters (独：Donauwörth)

出典：エアバス、ボーイング公式サイト掲載のデータのほか各種報道情報より作成

表 2 の A350XWB の主要構造部品サプライヤーと B787 のサプライヤーの一覧を比較すると、「B787 はボーイングが製造した最初の「エアバス航空機」」であるという皮肉的な表現の意味がつかめる。すなわち、ボーイングは、B787 のプログラムにおいて、エアバスの産業スキームである MCA 生産方式を全面的に採用し、プログラムの顧客国にて生産をアウトソーシングすることでエアバス同様にオフセット契約に依存しつつ、売上の確保を進めようとしていることがうかがえる。

例えば、エアバスはインボードフラッグで UAE 企業の Strata (ストラタ) から調達を行っている。また、ボーイングは、ウイングチップスで韓国の Korean Air Aerospace (大韓航空アエロスペース) を採用している。また、トルコの Turkish Aircraft Industries (ターキッシュ・エアクラフト・インダストリ) は、A350XWB では補助翼を担当し、B787 ではエレベーターの生産を行っている。さらに中国の CCAC は、A350XWB のスポイラー、また、B787 の方向舵を担当するなど、それぞれオフセット契約であると思われる。なお、大韓航空アエロスペースは A350XWB プログラムでは実績がないが、A330NEO 向けにウイングレットを生産するなど、エアバスとボーイングの両方の重要サプライヤーとしての地位を得ている。

一方、欧州域内の調達先でも、オーストリアの FACC は、A350XWB のウイングチップスおよびスポイラー生産、B787 のスポイラーの生産と、エアバス、ボーイング双方で重要なサプライヤーとしての地位を獲得している。さらに、とりわけ重要度の高いコンポーネント、すなわち、ナセルやランディングギア関係では、それぞれ、コリンズ・アエロスペース、サフランが、A350XWB と B787 のいずれでも戦略的パートナーとしての重要な役割を担っている。

また、米国の大手構造部品メーカー、スピリットは、2005 年にボーイングからスピニアウトした経過があり、ボーイングの重要なサプライヤーであるが、A350XWB においても中央胴体を担当するなど重要な役割を担っており、エアバス、ボーイングの両企業にとって戦略的に重要なサプライヤーとなっている。Tier1 だけでなく、Tier2 サプライヤーでも、近年、顧客先の多角

⁴⁸ Aciturri (アシトゥーリ) が 76% 保有

化を進める企業は多く、今後も、エアバス、ボーイングの双方で事業を請け負う企業数はさらに増えていくことが予想される。

A350XWB と B787 の隠れた違いとして注意を引くのは、胴体部分のサプライヤーの状況である。すなわち、両プログラムとも、OEM 企業本体が、胴体各セクションの多くの生産をアウトソーシングしている形になっている。しかし、両プログラムを比較すると、B787 のサプライチェーンの方がアウトソーシングを徹底しており、なおかつ、OEM 企業からの距離感が強い地域、企業を戦略的サプライヤーとして採用している。コックピット、前方胴体は、もともとボーイングからスピニアウトしたスピリットであり比較的に近いが、三菱重工、川崎重工、スバルといった日本の重工企業や、レオナルド、大韓航空エアロスペースなどにも重要セクションの生産を委託している。ボーイングはこれらの企業とは歴史的な協力関係があるとはいえ、複合材を新しく大量採用し、地理的、文化的距離がある中で、大型セクションの開発、生産を委託するというのは大きなチャレンジであった。一方、エアバスは、原則として、胴体部の各種セクションは、エアバス本体か、あるいはエアバスの子会社であるエアバス・アトランティックや、プレミアム・アエロテックが戦略的サプライヤーとしての役割を果たしている。例外的にスピリットが中央胴体の生産に関わっているが、同社は、サブコンポーネントを米国から輸入するものの、エアバスの拠点ナントに組立工場を建設しており、物理的、文化的に近く、人の交流も容易な環境において生産を行っていることが分かる。

コロナ禍が発生するまで、エアバスは、2000 年代半ば以降、現在のエアバス・アトランティックや、プレミアム・アエロテックをスピニアウトさせる方向で準備を進めてきた経過がある。しかし、コロナ禍以後の航空機業界のパラダイムの変化、また、B787 のサプライチェーンマネジメントに関わる数々の問題を踏まえ、エアバスが、今後、この独仏両子会社の将来をどのように形作っていくか注目される。

なお、ラテコエールは、B787 プログラムでは主力の乗客用ドアなどの受注に成功しているが、A350XWB では市場の獲得に失敗している。これは、ラテコエールとエアバスの間で開発に関して意見の相違が顕在化したことが一つの要因とされているが、エアバスグループの事情として、2008 年の金融危機とこれに派生する海洋石油セクター向けの受注減⁴⁹（民間ヘリコプター需要の 50%を占めるといわれる）を受けて、エアバス・ヘリコプターズ にドイツ工場の事業を確保させる狙いがあったとされている。ラテコエールは、エアバスの戦略的パートナーであるが、A350 プログラムのドアの市場に関する経過を踏まえると、リスク・シェア・パートナーという枠組みの一つの限界を示す例でもあるといえる。

⁴⁹ 海洋石油セクターは、民間ヘリコプター需要の約 50%を占める。

以上、A350XWB プログラムのサプライチェーンは、エアバスの構造的な条件、すなわち国別の財務リスク、研究開発、設計および生産に関する役割分担を基本的に踏襲したものであるが、これまでと変化した主な要素の一つとして、複合材関係の取扱いが挙げられる。A350XWB は、50%を超える複合材を採用したことから、従来为国別の役割分担を超えて、複合材分野に強みをもつスペイン、また、ドイツ企業のサプライチェーン上の役割が拡大していることが指摘できる。また、複合材関係で、中国との合弁企業など、欧州域外での調達もなされるようになってきている。ただし、全体としては、エアバス設立の際に定められた国別の役割分担の枠組みは守られており、これは、国別の政治の論理、雇用確保の社会的必要性などを要因に、産業的要請との妥協の産物として、許容可能な範囲で、変化を遂げてきているものと理解される。

技術フォーカス（積層造形）

積層造形については、1980年代の日本やフランスで研究が進められていたが、アメリカの Charles HULL (チャールズ・ハル) がステレオリソグラフィック・システムとして1984年に特許を申請し、1986年に特許の取得と共に世界初の3Dプリンター会社を設立、その後、3Dプリンターという通称で、何十種類もの技術が生み出されている。多くの新技術と同様、宇宙産業、そして航空産業は、非常に早い段階から3Dプリンティング／積層造形への関心を高めた。そしてわずか数年前まで主にプロトタイプ生産に限られていたこの技術は、GE、ボーイング、エアバス、レイセオンなどのメーカーにとって、ますます戦略的に重要になってきている。積層造形技術は、今後、軽量で効率的な新しい航空機の設計に必要なリエンジニアリングを促進し、技術革新サイクルの短縮を可能にするものと考えられている。

市場動向

航空宇宙・防衛市場は、世界の積層造形市場の先駆けの一つである。2018年には市場の18%を占めているといわれており、自動車業界の20%に次いで、二番目に大規模の市場になるとされる。⁵⁰また、さまざまな材料を利用した積層造形の航空宇宙市場は、2022年の70億ドルに対し、2030年には318億ドルと4倍以上に拡大し、年率20%以上の成長が期待されるとの予測がある。⁵¹さらに航空宇宙産業のうち、航空機産業が積層造形市場の53%、無人宇宙ビークルが18%、宇宙飛行船が18%との見通しなどもある。もちろん、これらは民間のコンサル会社の見通し数値であり、その根拠はそれほど確かなものではない。しかし航空機産業において関心が急速に高まり、また、幅広い実用化に向けた機運が高まっていることは、多くの企業が積層造形部門を設置する、あるいは積層造形技術を持つ会社の買収の動きなどを加速化させているほか、まだ数は少ないものの、実際に機体やエンジンへの使用例が拡大しつつあることから見て取れる。

積層造形の高い将来性

積層造形技術は、プロトタイプ作成から量産プロセスまで、エンジニアリングを加速させるとともに、部品、コンポーネントの質量を削減することができる。例えば一般的に、重量1kgの鍛造部品のために約10kgの原材料が必要で、鋳造金型で500gの部品を作るためには、2kgの原材料が必要である。一方、積層造形では400gの部品に必要な材料は600gである。積層造形技術の主な利点は次のようにまとめることができる。

- 複雑形状部品の実現で部品点数を削減
- 部品の軽量化（これに伴う燃料効率の向上及びCO₂排出量の削減）

⁵⁰ ARC Advisory Group (ARC アドヴァイザリー・グループ)

⁵¹ Market Research Future (マーケット・リサーチ・フューチャー社)

- 製造工程における CO₂ 排出量の削減
- リードタイムの短縮
- 材料費の削減

積層造形技術は、その製造プロセスに内在する特徴として、少品種で複雑な造形の部品を製造することに適している。従って当初、実用化が進んだのは宇宙産業であった。フランスでも、Thalès Alenia Space（タレス・アレニア・スペース）などは、2010年代には自社工場内で積層造形の部品を製造し、積極的な利用を進めており、フランス宇宙機関 CNES でも積層造形技術の活用に積極的であった。

一方、航空機分野では数年前まではまだ積層造形技術の本格的な導入の機運は高まっていなかった。2017年にトゥールーズで開催された積層造形に関するカンファレンスでは、サフランの積層造形技術責任者は、積層造形技術はスイスナイフの一つの刃のようなもので過剰な期待は禁物と発言。また、エアバスの担当者も、技術の推移をみるために装置を購入し試作などを行っているが、まだ様子を見る段階との発言があった。⁵²

しかし、近年は、製造技術の進歩やマーケットの変化もあり、航空機産業における積層造形技術の位置づけは大きく変わろうとしている。2022年、エアバスの子会社であるプレミアム・アエロテックは、Lufthansa Technik（ルフトハンザ・テクニク）と協力し、積層造形技術を使用し、エアバス A320 ファミリーのターボジェットエンジンである IAE-V2500 エンジンの着氷防止システムに使用される部品「A-Link」の交換部品を製造し、欧州航空安全機関（EASA）の認証を獲得している。担当技術者によれば、品質、再現可能性のいずれも鍛造で製造したオリジナルの部品の性能を上回るとのことで、今後は実際にルフトハンザ航空の A320 機で使用されることになる。また、安全性の観点から、積層造形技術による製造部品については認証が一つの大きな課題であったが、今回の認証プロセスを含め、その方法論や技術論に一定の方向性が定められてきたことも今回の認証の大きな成果だとしている。⁵³

一方、航空機業界の中で、積層造形技術の導入に最も積極的な企業の一つは、エンジンメーカーのサフランである。同社は、脱カーボン対策の中心として積層造形技術を掲げており、2022年10月には、ボルドー近郊に、Safran Additive Manufacturing Campus（サフラン積層造形技術キャンパス）を開設、レーザー積層造形装置 8 台など、グループの積層造形関連の設備やエン

⁵² Restitution de l'étude, "Fabrication additive : enjeux et impacts en Occitanie / Pyrénées-Méditerranée", Amphithéâtre du Belvédère, 11 boulevard des Récollets, Toulouse, 2017/1/10

⁵³ Le Journal de l'Aviation, "Lufthansa Technik et Premium AEROTEC font certifier une pièce porteuse de charge produite en impression 3D", 2022/6/8

ジニアを集約し、同技術を活用した部品の製造を行っている。同社の目標は、2050年を目標年度とし脱カーボン対策の1/3を積層造形技術の活用によって実現することとしている。⁵⁴

同社では、A320NEO向けのLEAPエンジンでは、すでに積層造形技術による製造で認証を獲得した部品を十数種類、供給している。ダッソーの戦闘機ラファールに搭載するM88エンジン向けの部品5点もDGA（フランス防衛装備局）の認証を得られた。2022年には、サフラン積層造形技術キャンパスで製造した部品を約4,000個納品する予定であるが、2023年にはこれを倍増させたい考えである。また、現在、A350XWB向けに鍛造で製造している離着陸装置油圧ブロックは重量18kgであるが、これを積層造形で製造した場合、重量を10kgに削減が可能で、2024年の認証を目指している。例えばヘリコプター向けのあるエンジン部品では、従来の製造方法では152の部品で構成されているものが、積層造形技術で1ブロックの部品として製造されることになる。さらに、2025年までに、同社の次世代エンジンプログラム、CFM Rise等向けの約100点の部品の認証取得を予定しているほか、欧州の次世代戦闘機プログラムFCAS（Future Combat Air System）での積層造形技術の導入も視野に入れている。サフランの戦略、R&Tおよびイノベーション担当ディレクターのEric d'Albiès（エリック・ダルビエス）は「現在、エンジン部品で積層造形技術を使用しているものは1%未満に過ぎないが、将来的には約25%の部品を積層造形技術を以てして製造することが可能になるだろう」と語っている。⁵⁵

積層造形技術は、航空機産業の課題であった生産システムの効率化を促進する一つのきっかけになる可能性も持っている。積層造形技術により一般的に工程全体を組織する時間が縮減されるため、いわゆるLEAN生産方式のジャストインタイムの導入が容易であり、リードタイムが短くなり、生産効率の上昇につながる可能性を持っている。また、自動化の推進も進めやすく、品質の向上につながる契機となり得る。サフラン関係者も今後の課題は、大型部品に対応できる製造装置の導入と、製造過程へのAIの導入による生産及び品質管理の自動化および生産効率の向上としている。⁵⁶

また、組み立ての必要がない複雑な部品の製造を可能にする点はとりわけ航空機産業にとっては重要な要素である。これまでの物理的な制約から一定程度解放され、新しいエンジニアリングに可能性を開く。多様な金属の加工が可能であり、高価な鍛造、鋳造工程などを代替できるコスト効果も無視できない。一方、高価な希少材料の節約にもつながることから、コスト面のメリットも大きいし、機械加工の必要が減るため、高価な切削工具の消耗を抑制するという効果も得ら

⁵⁴ Info Durable, “ Pour Safran, la décarbonation de l'aviation passe (aussi) par les imprimantes 3D“, 2022/10/7

⁵⁵ L'Usine nouvelle, “ Rafale, Airbus A320, Scaf... Comment Safran compte massifier l'usage de l'impression 3D dans les avions“, 2022/10/10

⁵⁶ L'Usine nouvelle, “ Chez Safran, l'impression 3D entre dans une nouvelle ère “, 2022/12/17

れる。また、プレミアム・アエロテックとルフトハンザ・テクニクの例にもあるように、交換部品の需要で MRO 分野は潜在性の高い市場と考えられる。以上のような利点を考慮すれば、積層造形技術の導入に必要な多額の投資投下に見合うだけの利益が得られる可能性も高いと言えよう。

しかし、今後、さらに広範に導入を実現するためには次のような本質的な課題が挙げられる。すなわち、部分最適の総和は全体最適とならないのであって、積層造形工程を全体の工程の中でいかに調和的に全体の効率性を達成するために導入を図るかということが重要である。

プラスチック素材では FDM や SLS、金属素材では SLM や EBM、HDR など、さまざまな積層造形技術が存在するが、積層造形工程およびその工程後の処理を円滑に行うためには、社内の購買、設計、生産管理、品質管理などすべての部門が緊密に連携し、情報を共有しながらノウハウを蓄積し、効率的な全体の生産プロセスを構築する必要がある。また、金属加工、表面処理、NDT、サプライチェーンなど、各製造段階における精度と効率性を確保することは、プロジェクトの成功に不可欠な条件となる。近年の M&A による企業規模の拡大によっても、これらのスキルをすべて自社で持ち、積層造形という新しい技術を適切に導入するための総合的な調整が可能という企業数は限られている。現在、積層造形技術で部品を製造すること自体は原則として、可能となったが、最適な品質、コスト、リードタイムでの大量生産を実現するためには、まだ課題は少なくない。

航空機産業における積層造形技術は、当初、プロトタイプング、治具、工具の製造などで、すでに認証済み部品の工業化プロセスで利用することで使用されてきた。また、認証が取りやすい飛行に関与しないプラスチックなどのキャビン内装部品で、たとえば、サフランのシート部品などにも使われてきた。しかし上述のとおり、近年急速に、よりクリティカルな部品においても積極的に使用を進める方向で、航空機産業は動いている。技術的な障壁以上に、産業組織や認証などの規制の障壁がその展開を遅らせているが、生産コストの低下と大手企業の大規模投資により、今後 10 年でその使用が大きく増える可能性は高い。CO2 排出量問題が政治化したことで環境負荷の少ない航空機開発が重要課題になっていることも、積層造形技術の積極利用を後押ししている。またこの技術は、プラスチックや金属部品に限らず、プリント回路の製造においても、一つの製造過程で多層基板を作ることができるなど、多くの可能性を持っている。

もちろん、A350XWB など最新の航空機では、積層造形による部品は 1,000 点程度といわれており、今後も着実にその数は増加していくと予想されるものの、全体の部品総数は数十万点で、その割合は当面、限られたものにとどまる。しかし、それでも多くの企業が積層造形を近未来に広範に実用化される技術とみなし、多くの企業が積層造形技術関連部門を設置し、技術を持つ企業を買収している。また、近年、航空機業界が進めている自動化、デジタル化という流れにも合致したものであり、全体最適を実現する形で、積層造形技術を生産システムの重要な一部として

統合していくことに成功すれば、今後のサプライチェーンの在り様を占う上で、重要なゲームチェンジャーの役割を果たす可能性がある。

2022年度現地ニーズ等活用促進事業 欧州航空機産業における現地ニーズ調査

—エアバス・サプライチェーン特徴とその動向—

「報告3」 主要国別サプライチェーンの特徴（構造部品）

「報告 3」 主要国別サプライチェーンの特徴（構造部品）

「報告 2」では、エアバスのサプライチェーンが変化していくプロセスとして、ボーイングとエアバスが相互に影響を与えながら、航空機分野の技術革新、市場および経営環境の変化などを受け、「Refocusing」（中核事業への経営資源の集中）、「Outsourcing」（外部委託の拡大）、「Offshoring」（海外移転の推進）を特徴とするサプライチェーンの再構築が A350XWB プログラムの下で推進されてきた過程を示した。これら相互に関連する新しいサプライチェーンの特徴は、「Extended Enterprise」（拡張された企業）であり、人、情報及び物のネットワークとして機能し、サプライチェーン全体を規定するものとなっている。

ボーイングとエアバスが相互に影響を与えサプライチェーンを進化させてきたその動きとして、まず、ボーイングは、B787 プログラムで、技術面、サプライチェーン・マネジメント面での困難に直面しながらも、これまでのボーイングの伝統的なサプライチェーンと根本的に異なるサプライチェーン、すなわちエアバスのサプライチェーンに近いモデルの導入を図ったことを取り上げた。また、エアバスも、外部委託の割合を拡大し、自らが A380 プログラムで導入を始め、ボーイングが積極的に活用した RSP（リスク及び収益共有パートナー）契約について、A350XWB プログラムでさらに広範に適用するなど、中核事業への経営資源の集中、外部委託の拡大、海外移転を強く推進してきたことを解説した。また、エアバスグループが、2000 年代半ばから 2010 年代にかけて、サプライチェーン再編のために、中核事業への経営資源の集中および外部委託の拡大という面で、具体的にどのような企業再編を進めてきたのか、エアバス主要国にあるグループ内の製造拠点の売却や、戦略的パートナー企業の選定、これに関連する業界再編の動きなどについて紹介した。

「報告 3」では、フランス、ドイツ、英国、スペインのエアバスコンソーシアム参加国における構造部品部門のそれぞれの特徴について、具体的に Tier1、Tier2 企業の例を挙げながら考えてみたい。各企業の状況の描写を通じ、欧州全体の構造部品メーカーをめぐる方向性を見極めるとともに、各国特有の構造部品サプライチェーンの事情や動向について焦点を当てることとする。

第 1 節 主要 4 カ国の構造部品サプライチェーンの特徴

本節では、エアバスコンソーシアム参加国、すなわちフランス、ドイツ、英国およびスペインの 4 カ国の航空機産業、とりわけ構造部品関係について、エアバス・サプライチェーンで果たす役割、また、各国のサプライチェーンの特徴について分析をしてみたい。最初に 4 カ国の中で最も規模の大きいフランスを取り上げることとする。

第1項 フランス構造部品サプライチェーン

まず、欧州随一の航空機産業を擁するフランスの構造部品サプライチェーンの状況について検討する。2021年の統計によれば、フランス航空宇宙産業の総売上高は552億ユーロ。フランス全土で18万8,000人の従業員がいる。売り上げの37%はフランス南西部のオクシタニ州とヌーベルアキテーヌ州のあるフランス南西部に集中。30%は、パリおよびイル・ドゥ・フランス地域となっている。また、米国企業の立地も多く、コリンズアエロスペースやRatier Figeac (ラチエール・フィジャック)などのレイセオンテクノロジーグループや、ハネウエルグループのほか、構造部品関係ではスピリットが拠点を置いている。

エアバスのサプライチェーンにおいてフランス企業は最も重要な位置を占めている。2021年のエアバス公式サプライヤーリストの中で、レフェランスを3件以上持つ中堅企業は88社、全体の27%を占めている。そのうち主に構造部品を取り扱う企業は35社である。⁵⁷数多くの企業のプロフィール、状況をそれぞれ詳細に紹介することは作業の関係上、困難であるが、フランス構造部品サプライチェーンの特徴と傾向の理解に資すると思われる主要企業を選択して紹介することとする。

Airbus Atlantic (エアバス・アトランティック)

フランスにおける構造部品サプライチェーンの核となるのは、トゥールーズにFALを持つエアバスおよびエアバスグループの子会社、エアバス・アトランティックである。エアバス・アトランティックは、報告2で紹介したとおり、エアバスに属する工場(ナント)および(Montoir-de-Bretagne(モントワール・ブルターニュ))とグループ子会社であるステリアが合併し2022年1月に誕生したグループの100%子会社である。世界5か国に合計13,000人の従業員を擁し、売上は2021年で13.4億ユーロ。現在、世界第2位の構造部品メーカーとなっている。小規模部品から大型コンポーネントまで製造し、コックピット、胴体部分の組立を行っており、また、長年、パイロット用シート、プレミアムシート分野でも事業を行っている。同社成立の経過については、報告1を参照されたい。エアバスが今後、フランスでさらに構造部品サプライチェーンの再編を進めるとすれば、エアバス・アトランティックを中心に、垂直あるいは水平統合の形でM&Aを進めるか、あるいは、同社をエアバスグループの外に置くか否かという点などが焦点となる。なお、同社は、モロッコ、チュニジアなどに生産拠点を持っており、いわゆるベストコストの実現に必要な低付加価値の部品の生産もこれらの国で行っている。

⁵⁷ 本報告では、便宜上、エアバスからのレフェランス付与件数が3件以上ある企業を中堅企業とみなすこととした。

Safran group (サフラングループ)

エアバス公式サプライヤーリストの中でフランスの中堅企業以上とみなせる企業数 88 社のうち最もレフェランス数が多く、企業規模が大きいのは、エンジンから機体の構造部品、離着陸装置、ナセル、燃料系システム、その他各種装備品、キャビン内装、シートまで幅広い分野を取り扱うサフラングループである。ただし構造部品としてはナセルなどに限定され、全体の事業からすれば限定的である。

同社は、航空機エンジンの OEM であること、また、2021 年度で 153 億ユーロの売上規模、従業員数 76,800 人を誇る巨大企業であることから、航空機産業における役割と規模において、他のサプライヤーとは別格の立場にある。同社は、国営のエンジンメーカー SNECMA（スネクマ）と、装備品メーカー SAGEM（サジェム）が 2005 年に合併し設立された。なお、現在、株式の国の持ち分は 11,23%にとどまり、その他ファンドや社員持ち株会のほか、約 70%は市場で取引されている。2018 年には経営困難となっていた Zodiac Aerospace（ゾディアック・アエロスペース）の 100 億ユーロに上る株式公開買い付けを行い、同年に合併を実現している。この合併により、サフラングループは、キャビン内装、乗客シート、セキュリティシステムなどで業界トップクラスの地位を手に入れることになった。このように主要な Tier1 企業が産業領域を広げ、規模の拡大を続けることは、両者の力関係のバランスの変化などが予想されるほか、利益率の高いキャビン内装分野で競争力を高めることは、エアバスに不快感と警戒心を惹起させるものでもあった。⁵⁸

サフラングループの次に幅広い分野でエアバス・サプライチェーンに参画している構造部品・コンポーネントの大手企業は、ダエール、ラテコエール、LISI Aerospace (LISI アエロスペース)、メカクロームなどがある。

DAHER (ダエール)

ダエールは、1898 年創業のシリア系移民ダエール家による家族経営の非上場企業で、海運業から出発した。2021 年の売り上げ 11 億ユーロ、従業員数約 9,500 人の中堅企業である。現在、売上の約 80%は航空機産業で、残りはエネルギー産業などが含まれる。祖業であるロジスティックスと製造業の割合は 50%対 50%となっており、ロジスティックス部門ではエアバスをはじめ主要 OEM 企業の産業ロジスティックスを担う一方、製造業部門では、構造部品・コンポーネント、エンジン関連部品・コンポーネントのほか、キャビン内装なども行っている。

1990 年代まではロジスティックス部門が主流であったが、2000 年代に構造部品、装備品関連の中小企業を買収し、製造部門を強化した。2008 年には、エアバスグループから単発ターボプ

⁵⁸ L'Usine nouvelle, "Pourquoi entre Safran et Zodiac l'alliance peut fonctionner ", 2017/01/19

ロップビジネス機や構造部品を製造するソカタを買収、また 2009 年には、公的投資ファンドの戦略投資基金（FIS）およびエアバスグループ、サフラングループが参加する民間ファンドを対象に 8,000 万ユーロの第三者割当増資が行われ、それぞれダエールの株式の 17%、3%を保有することになった。現在は、FIS の継承組織である BPI フランス（BPI：フランス公的投資銀行）が 12.5%保有し、残り 87.5%は創業者の子孫約 350 人が保有している。同社は、家族経営で 100 年を超える歴史を持ち、売上 10 億ユーロを超える規模の企業に成長したことから、家族経営の中堅、大企業が多いドイツモデルの企業といわれることもあり、フランスの航空機産業では、例外的な存在となっている。

同社の成長は、航空機産業のロジスティックスを主体としたビジネスから、構造部品の製造分野に徐々に参入していった戦略が功を奏したものである。とりわけ、2009 年のソカタの買収で航空機メーカー、部品メーカーとしての地位を固めた。ダエールが航空機産業における事業を拡大する過程で、フランス政府が重要な役割を果たしており、これはフランス航空機産業の特徴といえる。前述の公的ファンドへの第三者割当増資で得た 8,000 万ユーロの資金は、主に同社がエアバスの主要製造拠点の一つであるナントへの複合材部品・コンポーネント製造工場の建設に投じられており、エアバスの戦略と国の方針に沿った成長戦略となっている。

Latécoère（ラテコエール）

ラテコエールは、創業者 Pierre Georges Latécoère（ピエール＝ジョージ・ラテコエール）が第 1 次世界大戦中にトゥールーズで航空機の生産を始めた歴史のある会社で、第 2 次世界大戦前は水上機や、戦後もエアバスの前身の一つである Sud Aviation（シュッド・アビエーション）が製造したカラベルなどに構造部品を供給しており、世界の航空機産業のパイオニア的な地位を占めていた。なお、同社は 1920 年代に大西洋横断航空郵便を行う Aerospatiale（アエロスパシアル）で、エールフランス航空の前身となる企業の設定にも関与している。創業家は 1980 年代までには代表権も株式もすべて手放し、その後、エアバスのサプライヤーとして事業を継続、1990 年代から 2000 年代にかけて成長を遂げた。装備品分野では、アビオニクス・ベイやハーネス、また、構造部品分野では、胴体部分、乗客ドアと貨物ドアなどの生産を行っており、エアバス、ボーイング、ダッソー、ボンバルディア、Embraer（エンブラエル）とも取引がある。

このような中、2015 年には、アメリカの二つの投資ファンドから融資を受け、その後、債務の資本化（DES）により投資ファンドが経営を担った。その後、2019 年には、別の投資ファンド、Searchlight Capital partners（サーチライト・キャピタルパートナーズ）が資本参加し、最終的に 65%以上の株式を得て経営権を取得し、今日に至っている。同ファンドのもとで、2018 年には、デジタル化、ロボット化を推進した新工場をトゥールーズに建設している。

コロナ禍前の 2019 年度決算では、7 億 1,300 万ユーロの売上であったが、2021 年度では 3 億 7,800 万ユーロとほぼ半減し、従業員数は 4,764 人となった。これはコロナ禍での需要の急減に

加え、B787 プログラムの生産が滞ったことの影響を強く受けている。⁵⁹ ただし、同社の経営は 2010 年頃から困難な状況が続いており、これには、A380 プログラムで導入された RSP 契約により損失を膨らませたことが大きい。また、コスト優先でサプライヤーの変更を頻繁に行い過ぎ、戦略的に自らのサプライチェーンを構築できなかったという問題も指摘されている。さらに構造的な問題としては、構造部品分野は競争が激しく、他の装備品市場などより利益率が低いという背景もある。

ただし、同社は、フランスの航空機産業の歴史あるサプライヤーとして、数多くの知的財産権を所有していること、さまざまな部品、コンポーネントの開発設計技術を保有していることなどの強みを持っている。現在、エアバスなど特定の OEM への依存、また、特定の事業への依存を軽減するために事業の多角化を図っている。企業規模は近年、縮小をみたが、エアバス、ボーイング、アンブラエル、ボンバルディア、ATR、ロッキードなど、数多くの OEM 企業との取引関係があり、また、フランス、ベルギー、ブラジル、米国、メキシコなど、主要な航空機市場で生産拠点を持つことを活かし、構造部品メーカーとしての存在感を高めようとしている。

ラテコエールは、現在、企業規模の拡大を達成するため、M&A を続けており、2021 年には、ボンバルディアからメキシコにある EWIS 製造工場（売上 6,000 万ドル）を買収、エアバスなどにコネクティングロッドを供給しているベルギーの Technical Airborne Components（テクニカル・エアボーン・コンポーネント）（売上 2,500 万ユーロ、従業員 150 人）、また、複合材を生産するメキシコの Shimtech（シムテック）も同年に傘下に収めた。さらに、2022 年には、カナダの構造部品メーカーで、BAe、ボーイング、ボンバルディア、ロッキード・マーチンに部品、コンポーネントを供給する AVCORP（アヴコープ）（売上 9,900 万ユーロ、従業員 490 人）を買収している。

これらの M&A 戦略に通底する方針は、事業規模の拡大、事業内容の多角化、販路の多角化である。これは同社が 2000 年代後半以降、エアバスを中心とする欧州市場、また、構造部品への依存度が高かったことへの反省を反映している。

また、A380 プログラムの RSP 契約が経営不振の大きな原因の一つとなったことから、たとえば、A350 プログラムでは、エアバスとの RSP 契約において、一定条件で返済義務が免除される前払金制度を取り入れている。これは、プログラムの開始時点で、ラテコエールがエアバスから一定金額の前払いを受け、これは一定の売上を達成した場合は返済義務が生じるが、売上が未達の場合は返済義務が免除されるというもので、A380 プログラムの失敗の反省のもとに、エアバスの戦略的パートナーの財務的リスクを軽減するために導入されたものである。

⁵⁹ L'Usine nouvelle, "Latécoère freiné dans sa reprise par les déboires du Boeing 787 ", 2022/1/28

同社は 2021 年度決算でもまだ損失を多く計上しており、困難な経営環境が続く。また、同投資ファンドの投資パターンから、さまざまな条件を整えた上で企業売却を検討しているとの憶測もある。同社は構造部品メーカーとしてフランス航空機産業の主要企業の一つとして、今後のフランス航空機産業再編の動きの一つの柱になることもあり得る。とりわけ、フランス政府としても、米国資本に渡った企業とはいえ、5,000 人近くの雇用を抱える大企業であり、資本面も含めて今後関与をしてくる可能性はある。

LISI Aerospace (LISI アエロスペース)

LISI アエロスペースは 18 世紀、時計用部品の製造を祖業とし、以後、産業用ビスの生産などを行ってきた。現在、航空宇宙産業のほか、自動車産業、医療産業でも事業を行っており、2021 年の売上は 11 億 6,000 万ユーロ、従業員総数 9,480 人で、1977 年から参入した航空宇宙部門では、2020 年の売上は 6 億 6,340 万ユーロ、従業員数 5,504 人となった。ファスナー関係が主力製品であるが、2011 年に Creuzet Aéronautique (クルーゼ・アエロノティック)、2014 年に Manoir Aerospace (マノワール・アエロスペース) を買収し、構造部品、エンジン向けの各種部品、コンポーネント分野を強化した。また、2015 年には、Poly-Shape (ポリシェイプ) とともに積層造形製造の合弁会社、LISI Aerospace Additive Manufacturing (LISI アエロスペース・アディティブ・マニュファクチャリング) を設立、2018 年に完全子会社化している。

同社もコロナ禍の影響は受けたものの、同業他社に比べると損失は少なく、比較的健全な財務状態を維持している。これは、同社の主力製品が比較的利益率の高いマーケットにあり、近年、好業績を上げてきたことを反映しているものと思われる。同社も企業規模拡大、事業の多角化、販路の多角化を進めており、最近では、2021 年に米国の B&E Manufacturing (B&E マニュファクチャリング) を買収、航空宇宙、民間航空、軍事市場で使用される精密油圧継手分野での事業に進出した。同社は、ポーランド、トルコ、モロッコ、米国、カナダ、メキシコ、インドなどに生産拠点を持つ。

Mecachrome (メカクローム)

メカクロームは、1937 年設立で自動車産業を中心に精密部品加工を行ってきた。フォーミュラ 1、2、3 などのモータースポーツ用エンジン部品も 1960 年代から手掛けている。現在、航空、宇宙、軍事、自動車産業で事業を行っているが、その中でも航空機産業は中心事業であり、構造部品とエンジン関係を合わせて売上の約 60%を占めている。商業航空機、リージョナルジェット、ビジネスジェット、ヘリコプターなど各セグメントに対応しており、主に、胴体、尾翼、ナセルなどの骨格部品を扱っている。2020 年度の売上は 2 億 2,000 万ユーロ、従業員数は 2,400 人の中堅企業である。

同社は、2000年代後半に経営危機に陥り、フランスの公的投資銀行である BPI フランスや政府系ファンド ACE Capital (ACE キャピタル) からの出資を受け入れた。その後、2020年のコロナ禍においても経営の基盤が揺らぎ、国から 6,000 万ユーロの緊急融資を受けたほか、主要株主である ACE キャピタルの主導で BPI から 5,000 万ユーロの出資を受けている。現在の株式構成は、ACE キャピタルが 64%、BPI が 36%である。

同社は、これら公的な株主の支援の下で拡大戦略を取り、2021年7月には、精密機械加工の HITIM Group (イティムグループ) (売上 1,000 万ユーロ、従業員数 113 人) を買収している。また、2022年4月にはチュニジアで表面加工を行う Techni Protec Metal (TPM) を買収、現地のアルミニウム、チタニウムの板金加工を行うグループ会社との協力関係を強めることとなった。さらに 2022年8月には、精密機械加工の中堅企業、ウィアー・グループとの合併を決めており、合併後のメカクロームは、2022年ベースで 4億 5,000 万ユーロ、従業員 3,700 人、欧州で第 5 番目の構造部品メーカーになると発表している。この M&A 案件においても ACE キャピタルおよび BPI フランスが関与しており、エアバスグループおよび国の意向を反映、フランス航空機産業再編の大きな動きの一つとして位置付けられる。同社は、今回の合併にあたり、2025年に 7億 5,000 万ユーロ、従業員 6,000 人規模に達するという目標を公表している。

同社は、さらに 2022年10月には、スピードショップ、小型部品の少量生産に定評がありトゥールーズ周辺に 3 か所の工場を持つ Rossi Aéro (ロシ・アエロ) の株式の 78.2%を取得、自社のスピードショップ部門としての位置づけを行う予定。ロシ・アエロ の残りの株式を保有するのはロシ家であり、前ロシ・アエロ CEO の Mathieu ROSSI (マチュー・ロシ) が子会社の社長兼スピードショップ部門責任者としてグループに残る。今回譲渡された株式は、ACE キャピタルが、2021年に Rossi Aéro のオーナーから一旦取得していたものを 2022年にメカクロームに売却したものである。なお、同社は、モロッコ、チュニジア、ポルトガル、カナダなどに生産拠点を持つ。

その他大手・中堅企業 (FIGEAC Aero、Lauak、Mecadaq、Nexteam group、We are group、BT2i Group)

主に、金属加工を行う家族経営の中小企業から出発し、中堅企業の規模に達したその他の企業として、FIGEAC Aero (フィジャック・アエロ)、ロウアク、Mecadaq (メカダック)、Nexteam group (ネクスチーム・グループ)、ウィアー・グループ、BT2i Group (BT2i グループ) などがある。これらの企業は、主に 70 年代から 80 年代のエアバスの創成期、成長期に設立された金属加工を中心とする家族経営の企業が出発点となっている。

フィジャック・アエロは 1989 年に、ラチエール・フィジャックの元営業ディレクターであった Jean-Claude MAILLARD (ジャン＝クロウド・マイヤール) が設立した会社で、小型構造部品、エンジン関連部品の金属加工を行い、また、一部、A350 向けなどに構造部品の組み立てを

行っている。いわゆるベストコストカントリーといわれる北アフリカのマロココ、チュニジア、また、東欧のルーマニアに生産拠点を持つほか、米国やメキシコなど北米市場向けの工場も保有している。2021年実績では売上は約2億8,190万ユーロ、従業員2,595人であるが、コロナ禍前の2019年では、売上が約4億4,667万ユーロ、従業員数3,348人。株式は創業家が約75%を保持し、残りは市場で取引されていた。

同社はフランスの構造部品メーカーとして比較的規模が大きいことから、コロナ禍以前から構造部品分野での航空機産業の再編の一つの柱になることが予想されていた。業界筋では、CEOマイヤールの家族が経営を引き継ぐ計画がなく、本人の年齢からも企業売却を決意する可能性があるとの憶測もあった。ただ、コロナ禍前から業績が低迷気味であったが、コロナ禍でさらに状況が厳しくなっていた折、マイヤールは国主導の再編にかかわることに否定的な発言をしていた。しかし2022年6月には、ACEキャピタル向けの第三者割当増資を行い、創業家の持ち分を56%まで引き下げ、ACEキャピタルは25%の持ち分を取得し、ACEキャピタルから取締役2名の派遣も受け入れている。

なお、同社は、ACEキャピタルの資本を受け入れる前年の2021年にサウジアラビアの公営企業Saudi Arabian Military Industries (Sami)と現地で合弁会社（フィジャック・アエロ40%）を設立している。これは、サウジアラビアへのフランスの軍事輸出の増加に対応したものである。マイヤールは「グループは長い間、民間需要に依存しすぎた。我々は軍事部門に進出することが必要だ。この合弁会社の設立により販路の多様化を図ることができる」と述べている。⁶⁰

ロウアクは、報告2で紹介したとおり売上規模1億2,000万ユーロ、従業員1,100人の中堅企業で、1975年設立の家族経営企業である。本業としては板金加工、金属加工を主に行ってきた。2010年代より、より高いレベルのワークパッケージを受注するために、まず、企業提携を進め、またその後、企業買収を進める中で、企業規模の拡大、業態の多角化を進めてきた典型的な企業である。エアバスやダッソーの生産拠点があるフランス南西部を拠点とし、企業買収や生産拠点の拡大を続けてきたが、同社の戦略の基本は、OEM企業の周辺で生産を行うことにある。2018年には、ボンバルディア向けにカナダのミラベルで工場を買収しているほか、トゥールーズ近郊でも、鍛造関係の企業Prodem（プロデム）を買収している。また、2003年にポルトガルに工場を設立、2019年にはさらにポルトガルの別都市に工場を建設しているが、これは魅力的な労働コストに加え、ブラジルのアンブラエル向けの事業で、同じポルトガル語圏にあることが進出の主な理由といわれている。なお同年、北米市場をにらみ、メキシコにも工場を設立している。

メカダックは、現在のCEO Julien DUBECQ（ジュリアン・デュベック）の祖父が1971年に設立。航空機産業向けの精密機械加工を行う、従業員300人の家族経営の企業である。生産拠点

⁶⁰ L'Usine Nouvelle, "Pourquoi Figeac Aéro s'implante en Arabie saoudite", 2021/12/7

はフランスに 4 か所、米国に 1 か所持っている。2010 年代後半の企業買収などで、売上規模は 2015 年の 1,880 万ユーロから 2021 年の 5,900 万ユーロへと増加した。

同社は、2015 年にフランスの中小企業向け投資ファンド **Activa Capital** (アクティヴァ・キャピタル) 向けの増資を実施し、同ファンドは 48%を確保、同ファンドの支援を受けてフランス内外の企業買収を進めた。とりわけ 2018 年には、米国ワシントン州シアトルのボーイング **FAL** 近くに位置する **B737** プログラム向けの部品を直接ボーイングに供給する **Hirschler Manufacturing** (イルシュレー・マニュファクチャリング) を買収している。同社は、リーンマネジメントに基づく効率的な生産体制で知られ、そのノウハウを獲得するという意味もあった。また、近年では中小企業との取引を極力避けるエアバスと異なり、**B737** プログラムなどでは、イルシュレー・マニュファクチャリングのように小規模企業でも直接、ボーイングと取引できるという点も魅力であったと CEO デュベック氏は述懐している。⁶¹ ボーイングが **B787** プログラムで調達システムを大きく変更する中で、**B737** プログラムなどに供給する部品メーカーの買収がしやすくなったこと、また、メカダックにとっても、エアバスに偏りがちな収益構造のバランスをとるためにも、北米進出は重要であったという背景がある。

同社は、2022 年に、**Boeing French Team** (ボーイング・フレンチ・チーム) という、フランスにおける主なボーイングサプライヤーから構成されるビジネスクラブへの 18 社目の加盟が決まっている。メカダックは小規模の中小企業であるが、ラテコエールの乗客用等ドアのノブという重要部品の金属加工を担っていた実績もあり、そのノウハウと潜在性がボーイングにも認められた形である。なお同社は、米国の子会社を通じて三菱重工や新明和工業など日本企業との取引実績もある。⁶²

ネクスチーム・グループは、航空宇宙、防衛産業分野で、機械加工、鋳造加工、機械溶接、表面加工などを行う企業である。1960 年代、1970 年代にかけて設立された家族経営の機械加工企業 3 社が、まず 2009 年にマーケティング、営業面の協力協定を結んだ後、2015 年に会社統合を行い、ネクスチームグループが成立した。その後、2018 年には、1 億 1,400 万ユーロの第三者割当増資により **ACE** キャピタルをネクスチーム・グループの株主として受け入れている。フランスに複数の生産拠点を持つほか、モロッコ、チュニジア、ルーマニア、ポーランド、ポルトガルなどに拠点を持つ。

ネクスチーム・グループもコロナ禍の影響を強く受けた。2019 年には 2 億 3800 万ユーロの売上であったものが、2020 年には 1 億 1700 万ユーロまで減少している。このような中、2022 年

⁶¹ Les Echos (Les echos Entrepreneurs), “Mecadaq achète un sous-traitant américain et entre chez Boeing”, 2018/5/23

⁶² Le Figaro, “Boeing intègre la PME Mecadaq au sein de sa “french team””, 2022/9/27

に、ネクスチーム・グループは、2003年設立で複数の会社買収を経て規模の拡大を進め、鑄造に強みを持つ Ventana (ヴェンタナ)を吸収合併。合併後の売上規模は、2019年ベースで約3億1,500万ユーロ、従業員数は2,400人とされる。フランス、ポルトガル、オーストリア、スウェーデン、ポーランド、ルーマニア、モロッコ、チュニジアに合計22か所の生産拠点を置いており、北アフリカ、東欧拠点などベストコスト戦略を積極的に進めてきた企業グループの一つである。

ウィアー・グループは、軍事、輸送、エネルギー、医療関係部品などの製造も手掛けるなど、多角経営を進めているが、中心となるのは航空部品の製造加工である。海外ではモロッコやチュニジアに拠点を持つ。コロナ禍前の2019年の売上は約2億ドルで、従業員数は1,600人。同グループは、家族経営の機械加工メーカー3社 Chantal (シャンタール)、Espace (エスパス)、Farella (ファレラ)が、2015年に形成したグループ会社であり、その後、2016年に積層造形による部品製造を手掛ける Prismadd (プリスマッド)、2017年には精密機械加工の Bouy-Ausare (ブイ・オサル)がグループに参加している。この企業もコロナ禍以前から ACE キャピタルの資本を受け入れている。エアバスグループとの関係性も深く、表面加工の工程など、エアバスグループから事業移管を受け、技術指導を受けた経過などもある。⁶³

他の企業と同様、ウィアーグループもコロナ禍で売上の急激な減少、人員削減などを経験しているが、このような中、前述のとおりメカクロームとの大型合併が実現している。なお同グループは、三菱航空機のスペースジェットプロジェクト関連で日本へ進出し、2016年には名古屋市の一山ハガネと提携を行い、積層造形分野の子会社、Prismadd Japan 社を設立、また2018年には WeAre Pacific (ウィアール・パシフィック)を共同設立した。ただし、コロナ禍やスペースジェットプロジェクトが中止されたことなどから日本市場へ向けた動きは後退している。

BT2i グループは、金属加工、組立加工を行う中小企業グループである。フランス南西部のジロンド県に拠点を置き、Mécannique Aéronautique Pyrénéenne (MAP)、Cauquil (コキユ)、Simair (シメール)など複数の金属加工企業を傘下においている。同社は、2010年代の初めに、二人のフランス人実業家がこれらの中小企業を買収し、航空機産業に参入したものである。コロナ禍以前には8,000万ユーロの売上を実現するなど拡大路線を歩んでいたが、業績としては低調気味であった。これが、コロナ禍後さらに悪化し、売上は5,000万ユーロまで落ち込み、2021年には4,100万ユーロの損失を出している。このような中、政府系投資ファンド ACE キャピタルが資本参加、経済紙 Les Echos によれば約55%の株式を取得したとされる。同社は、コロナ禍に行われた政府保証融資も1,800万ユーロ受けており、財務状況が極めて厳しい中、同社の航空機産業、防衛産業における重要性にかんがみ、政府系投資ファンドの介入が行われた形である。

⁶³会社訪問時説明 (2018年12月)

詳細は不明であるが、同社は、社会保険などの公的債務についても一定の軽減を受けたといわれている。ACE キャピタル筋によれば、同グループのチュニジア工場の有効活用を図り、低コストの部品、コンポーネントの提案力を強めていく方針である。

Aubert & Duval (オーベル&デュバル)

オーベル&デュバルは、フランスの航空宇宙、防衛、エネルギーなどの分野で重要な役割を果たす、高性能鋼、超合金、チタン、アルミニウムの鍛造品、積層造形用粉末、棒材などを供給する企業である。航空機分野では、構造部品、着陸装置、エンジン、ファスニングなどの企業に製品を供給、エアバス、ボーイング、ダッソー、アンブラエルなど主要な OEM 企業に対して部材を供給している。同社は 65,000 トンのヨーロッパ最大、世界 3 位の鍛造プレスを有している。売上規模は約 6 億 8,000 万ユーロ、従業員数は約 4,100 人となっている。主要株主は金属大手の Eramet (エラメット) で、創業家のデュバル家とフランス政府も株式を保有している。しかし、同社は多額の負債を抱えており、経営状況は厳しい時代が続いた。またコロナ禍もあり、何らかの資本政策が求められる状況にあった。このような中、2 年間の交渉を経て、エラメットは 2022 年 6 月に、オーベル&デュバルの企業価値 9,500 万ユーロをベースに、エアバス、サフラン、ACE キャピタルへの売却契約に合意、2023 年 1 月に EU の競争委員会の承認が得られた。この売却交渉に際して、サフランの社長、Olivier Andries (オリビエ・アンドリエス) は、「今回の売却案はフランスおよび欧州の国家主権に関わることであり、たとえば、エンジン部品の基幹部分の部品を供給できるのは西欧では米国企業を除いて、オーベル&デュバルしかないのであって、FCAS (次世代戦闘機プログラム) を推進するにあたり、欠く事のできない企業である」と語っている。⁶⁴ なお、この売却計画は、2023 年 1 月現在、中国の競争政策当局の認可を待っていると報道されている。

フランス総括

以上、フランスの主要な構造部品関連企業の状況について、企業プロフィール、企業買収などの動向、資本関係などを中心に詳述してきた。フランスのサプライチェーンの特徴として、戦前から製造業の伝統を持つ企業とともに、1960 年代から 80 年代にかけて設立され、2010 年頃まで、家族経営で事業を行ってきた企業が少なくない。このような企業の中で比較的規模の大きい企業が中核となり、企業買収を進める一方、代替わりの時期などを迎え、吸収合併されていく企業が数多く生まれている。

このフランスでの企業再編のプロセスには、フランス政府や、投資ファンドを通じたエアバスなどの OEM 企業が深く関与していることが特徴になっている。もちろん、ラテコエールのように

⁶⁴ L'Usine Nouvelle, "Il faut un plan de modernisation de 300 millions d'euros pour Aubert et Duval", annonce Olivier Andriès, directeur général de Safran", 2022/2/22

に米国の投資ファンドに買収されるというケース、また、メカダックのようにフランスの民間投資ファンドの支援を受けるケースもあるが、それはむしろ少数派である。

コロナ禍において、財務的危機を経験した多くの構造部品関連企業は、PGE といわれる政府保証銀行融資を受けると同時に、民間投資家を探すものの、それは総じて困難であった。⁶⁵ しかしそれ以前においても、フランス航空機産業における投資資金は不足がちであった。このような中、公的銀行である BPI フランスや、政府及び主要 OEM 企業が関与する ACE キャピタルなどが企業の経営支援、また、企業再編のサポートを行ってきた。このような流れは、コロナ禍以後、さらに急速に強まっている。元エアバス幹部、現 ACE キャピタル代表 Marwan Lahoud (マルワン・ラウド) は、2021 年「(フランスの主要構造部品メーカーは)、いずれ 2 社から 3 社に集約されるというような方向性に向かっている」と発言している。⁶⁶

コロナ禍以前からのフランス構造部品メーカーの戦略として、生産力の増強が比較的容易となるよう、必要な規模と財務力を持つ企業をサプライヤーに選ぶというエアバスの調達方針に従い、企業規模の拡大を進めるとともに、利益率の低い構造部品部門にあつて、エアバスからのコスト引き下げ圧力に応えるため、いわゆるベストコストカントリー、すなわち、北アフリカや東欧への販売拠点の拡大を進めてきた。とりわけフランスの場合は、地理的理由、また、言語面の融通性から北アフリカに進出している企業が多い。これは、エアバス・アトランティックやサフランなど、顧客企業がこれらの地域に進出しており、顧客の近くで生産をするという必要をも満たしている。また表面加工などでは、欧州の厳しい環境規制 REACH を避けるために北アフリカに進出するケースもあるといわれている。⁶⁷

コロナ禍以後の状況としては、企業規模を拡大させる必要がさらに強くなっていることは明白である。以前は、拡大するバックログを背景にいかにか生産を高めるか、そのための投資を確保するかという課題に直面し、企業規模を拡大する必要性が生まれた。コロナ禍以後においては、この従来からの必要とともに、市場環境の変化でも企業が財務危機に陥ることのない、強靱なサプライチェーンを担保できるサプライヤーとなるよう、企業規模を拡大しなければならないという要素がさらに大きくなった。

また、多角経営も、コロナ禍以後にその必要性が強まった戦略的方向性の一つである。強靱なサプライチェーンを構成する企業として、顧客の OEM 企業や、同一の OEM 企業の持つプログラムについて、これらの多様化が求められている。この流れの中で、北米への進出を積極的に進

⁶⁵ L'Usine Nouvelle, "Daher, Figeac Aéro... Dans l'aéro, une difficile chasse aux investisseurs ", 2020/9/8

⁶⁶ L'Usine Nouvelle, "Figeac Aéro remis à flot par ACE, les alliances avec Mecachrome, Nexteam et WeAre peuvent commencer ", 2021/9/9

⁶⁷ 例えば六価クロムの環境規制について北アフリカ諸国では REACH 規制に参加するものの、その適用の期限に猶予が設けられている。

める企業が増えているのであり、また、たとえばアンブラエルとのビジネスを視野にポルトガルに工場を建設するというのも同じ論理が背景にある。また、フィジャック・アエロのケースのように民間事業に頼りすぎないように、軍事部門のビジネスを模索する企業も増えている。さらには、航空機産業以外の産業でのビジネス基盤を確立することを目指す企業も少なくない。

すべて、強靱なサプライチェーンの一端を構成する企業として必要な戦略である。そしてフランスのケースでは、この戦略を支えるために、政府系ファンドがエアバスなど OEM 企業と協力をし、資本政策によりサポートを強力に進めている。

第2項 ドイツ構造部品サプライチェーン

まず、ドイツの航空機産業は、欧州でフランス、英国に次いで3番目の規模で、コロナ禍前の2018年実績で約400億ユーロの売上規模があり、そのうち民間航空機部門の売上は292億ユーロに達する。民間航空機部門で事業を行う企業は、中堅、中小企業を中心に約240社が存在するといわれる。また、エアバス関連の事業を請け負う企業が多いが、ボーイング向けの売上も8億ユーロにのぼる。⁶⁸ただし、フランスのボーイング向け輸出65億ユーロ相当に上るとされており、欧州トップの航空宇宙産業大国フランスには及ばない。⁶⁹

航空宇宙産業が盛んな主要な地域として、ハンブルク、Friedrichshafen（フリードリヒスハーフェン）、Bavière（バビエール）、Berlin-Brandenburg（ベルリン-ブランデンブルク）などが挙げられる。また、主な大企業としては、エアバスグループの存在感が多く、エアバス、グループ子会社のエアバス・アエロストラクチャーズ、プレミアム・アエロテックのほか、ディール・アエロスペース、ルフトハンザ・テックニク、Liebherr Aerospace（リベール・アエロスペース）、ロールスロイス、MTU Aero Engines（MTU アエロエンジン）、ThyssenKrupp（ティッセンクルップ）などがある。ベストセラーのA320のFALおよびコンプリーションセンターがドイツに立地していることもあり、キャビン内装関連の企業が多く、また、装備品、MRO 関係の事業を行う企業の存在感も強い。エアバス公式サプライヤーリストの中で、レフェランスを3件以上持つ中堅企業は41社で全体の13%を占め、フランスの27%に次ぐ。そのうち構造部品関係を扱う企業としては、13社となっている。構造部品関係の主要企業は、エアバスグループの子会社であるプレミアム・アエロテックであり、また、最近、プレミアム・アエロテックから分社して設立されたエアバス・アエロストラクチャーズである。

Airbus Aerostructures (エアバス・アエロストラクチャーズ)

エアバスグループの100%子会社エアバス・アエロストラクチャーズは、2022年7月に設立された。これはコロナ禍を経て、フランス側でエアバス・アトランティックが、エアバスの一部

⁶⁸ 在独フランス商工会議所

⁶⁹ トゥールーズアエロマート 2022 ボーイング・カンファレンス

の工場とエアバス子会社ステリアの工場を集約する形で、新たに設立された動きと合わせたものであり、ドイツで進められたプレミアム・アエロテックの再編プロセスの一段階である。

エアバス側のシュターデおよびハンブルクの2拠点、そして、プレミアム・アエロテックのノルデンハイムとブレーメンの2拠点、合計4拠点を中心としている。シュターデでは、A320、A330、A350、A400Mなど主要プログラム全てについて複合材による垂直尾翼の生産を行い、ハンブルクでは、ロボット化、自動化を推し進めた最新工場でA320、A330、A350の胴体部の構造部品組み立てを担うと同時に、胴体部組み立て関連のエンジニアリングを統括する機能と新会社の本社機能が置かれる。一方、プレミアム・アエロテックから移管されるノルデンハイムでは、胴体部シェルの生産および表面加工などを行っており、ブレーメンでは、高付加価値のシートメタル加工などに特化し、スピードショップ機能を持っている。従業員規模は、8,400人程度になる見込みである。⁷⁰

一方、構造部品の生産および組立を担うAugsbourg(アウクスブルク)及び機械加工のほか積層造形工程なども担うヴァレル、また、ルーマニアのBraşov(ブラソヴ)は、すでに新会社への移管が決まっているエンジニアリング、IT部門を除き、当面、プレミアム・アエロテックに残される。ただし、2025年6月30日を期限とし、労使交渉なども含め、企業再編の方向性を定める中で、同社をエアバス・アエロストラクチャーズに組み入れるかどうかの判断が行われると発表されている。⁷¹

Premium Aerotech (プレミアム・アエロテック)

プレミアム・アエロテックは、報告2の「A350XWBプログラム下のエアバス・サプライチェーンの再編」で示したとおり、2009年に、EADS社およびエアバス(ドイツ)の工場をまとめ、構造部品生産を行うエアバスグループの子会社として設立。同社は、パワー8戦略の中で、利益率の低い構造部品分野の生産部門を外部化するという方針の中、ドイツ衛星製造のOHBへの売却交渉が不調に終わったことなどから、再編に向けた一つの段階として、グループ内子会社として再編されたものである。また、コロナ禍前の2018年の段階では、この時点で売却交渉は行われていないが、将来の売却に含みを残した発表が行われるなどの経過があり、外部化は、パワー8戦略以来の既定路線であった。

2022年の再編前の売上規模は約20億ユーロで、従業員約10,000人、ドイツにおけるエアバスサプライチェーンの構造部品メーカーとして中核的な役割を果たしてきた。同社は、大型の複雑な構造部品パーツから小型部品まで幅広く担当しており、エアバスの民間航空機A320、A330、

⁷⁰ Airbus, Press Release “Airbus to transform its European set-up in aerostructures”, 2021/4/21

⁷¹ Journal Aviation, “Airbus aerostructures lance ses activites en Allemagne”, 2022/7/1

A350XWBのほか、A400MやEurofighter Typhoon(ユーロファイター タイフーン)向けなどの軍用機向け、また、ボーイングドリームライナー向けの部品なども生産してきた。

前述のとおり、2022年7月のエアバス・アエロストラクチャーズの設立に伴い、構造大型部品の製造および組み立て、また、構造部品のエンジニアリング機能が、プレミアム・アエロテックからエアバス・アエロストラクチャーズに移管され、小規模機械加工機能がプレミアム・アエロテックに集約される形となった。製造拠点としては、ドイツのアウクスブルク、ヴァレル、また、ルーマニアのブラソフが主な生産拠点となっている。ただし、プレミアム・アエロテックに残された生産機能は、小型の機械部品加工が多く、収益率が低いことが課題になっており、パワー8戦略以降のエアバスの方針に従えば、エアバスグループ外での再編を目指すことが論理的帰結であると思われる。ただし、労使交渉は、過去の経過からも必ずしも容易には進まず不確定要素が強い。また、プレミアム・アエロテックを外部化するためには、再編の契機をもたらす適当な企業グループ候補が現れることが前提となり、今後の動向が注目される。

Liebherr Aerospace (リベール・アエロスペース)

リベール・アエロスペースは、航空機装備品、構造部品のメーカーであり、航空宇宙産業向けの航空機の飛行制御および作動システム、着陸装置、エアマネジメントシステム、オンボード電子機器、ギアおよびギアボックスの開発、製造を行っている。税務上の理由でスイスに本社を置くが、株主や事業拠点の視点からはドイツ企業とみなせる。グループとしては建設、土木関連を中心に116億ユーロの売上規模で、そのうち10.9億ユーロが航空宇宙および交通システム関連部門の売上となっている。航空宇宙部門の本社はフランスのトゥールーズで、生産拠点としては、ドイツのLindenberg(リンデンベルグ)で飛行制御および作動システム、着陸装置を開発、製造、従業員数は約2,770人。また、トゥールーズでは、空調システムを製造しており、従業員数は1,505人となっている。このトゥールーズの空調システム工場は、1990年代初頭に、現在のタレスの前身、Thomson CSFの子会社であったAGB SEMCAをリベールグループが買収したことに由来する。

PFW Aerospace (PFW アエロスペース)

PFW アエロスペースは、チューブやダクト、また、ベリーフェアリングや圧力隔壁、燃料タンク、APUコンパートメントなどの構造部品も製造するドイツの航空部品メーカーであり、エアバスの歴史的サプライヤーの一つである。売上規模は、約4億~4億5,000万ユーロ。ドイツのほか英国やトルコにも拠点をもち、従業員総数は約1,800人である。PFWの前身、Pfalz-Flugzeugwerke(ファルツ・フルグツウクベルク)は、1906年に設立されており、第1次世界大戦中は、Fokker(フォッカー)、Albatros(アルバトロス)について三番目の戦闘機メーカーであり、ドイツ航空機産業の歴史の中で重要な位置を占める企業である。

1960年代には複数の合併を経験し、1968年にはオランダのフォッカーとも合併。しかし、主力の Sikorsky（シコルスキー）のヘリコプターライセンス生産が低迷したこともあり、経営状況が悪化、1980年にはフォッカーと再び分離している。その後、1983年に Messerschmitt-Bölkow-Blohm（MBB）による買収後、1991年に MBB が当時、エアバスコンソーシアムの一員であった Deutsche Aerospace（DASA）に買収される。しかし、エアバスの経営不振のあおりを受け、経営は悪化。MBO が実施され、エアバスグループから離脱することになる。新会社は、過去の企業名ファルツ・フルグツウクベルク（PFW）を復活させる一方、2001年には投資ファンドからの支援を受けて業績を回復、2000年代にパイプ部品関連で A380、A400M、A350 プログラムの部品を納入するなどの実績を挙げている。また、2005年には、B787 向けの受注にも成功。しかし、2010年に再び経営危機に陥った同社を救済するために2011年には、エアバスが株式の74.9%を取得し、子会社化を行った。その後、経営の安定化をみて、2010年代末にエアバスは同社の売却を進め、2019年には Total（トータル）グループに属するフランスの材料メーカー Hutchinson（ハチンソン）が買収を決め、2020年には買収の手続きが完了した。

ASCO DEUTSCHLAND（アスコ）

アスコは、1954年に設立、ベルギーを本社とし、金属加工および組立を行う航空部品メーカーで複合材も扱う。同社は、民間・軍用機の航空構造用部品とサブコンポーネントをエアバス、ボーイングなど OEM 企業、Tier1 サプライヤーに供給している。構造部品の中でも、リーディングエッジスラットとトレーリングエッジフラップに強みを持つほか、ランディングギアや胴体部の部品も扱う。A350XWB では、同じくベルギー本社の Sonaca（ソナカ）との合弁会社 Belairbus（ビレービュス）を通じてエレベーターの製造を担っている。同社は、約1,450人の従業員を擁し、年間売上高は2017年実績で約3億7,800万ユーロに達する。ベルギー、ドイツ、カナダに拠点を持つが、2003年の買収でその傘下に入ったドイツ工場はとりわけ重要な役割を果たしている。

2018年に米国のスピリットがアスコの買収を発表、2019年には欧州委員会が、スラット関連部門の寡占化の懸念から条件付きで合併を承認した。しかし、2020年10月に設定された期限までに当該条件が満たされず、スピリットはアスコの買収を断念。欧州委員会の競争政策に基づく条件を満たせなかったとともに、コロナ禍およびボーイング 737 Max の生産問題などが影響したものと報道されている。⁷²その後、2021年には、スイスに拠点を置く Montana Aerospace（モンタナ・アエロスペース）がアスコを買収。同社は、航空機産業、E-モビリティ、エネルギー

⁷² Farnborough international (wearefinn.com), “Spirit aerosystems unlikely to complete 420m asco purchase and casts doubt on 500m bombardier deal”

の 3 つのセグメントを持ち、金属成形、金属加工、組立を垂直統合的に行う企業で 2021 年の売り上げは、7 億 9100 万ユーロ、そのうち 36%が航空機産業となっている。

MT AEROSPACE (MT アエロスペース)

MTアエロスペースは、ドイツ、オーグスブルグに拠点を置き、衛星製造で知られるドイツ OHB の子会社である。欧州宇宙開発ロケットアリアン 5、アリアン 6 などの構造部品や航空機向けのタンクを製造する企業で、エアバス A320、A330/340、A350XWB ファミリーのメインサプライヤーとして、飲料水・排水タンクを生産している。さらに、ダッソー、アンブラエル、ボーイング、ルフトハンザ・テックニックなどにも部品、コンポーネントを供給している。OHB は、前述のとおり、プレミアム・アエロテックの売却先として候補に挙がった経過があり、今後、航空機産業においても、その重要性を高める可能性はある。

AMAG Component (AMAG コンポーネント) *旧 Aircraft Philipp (エアクラフト・フィリップ)

AMAG コンポーネントは、オーストリアのアルミニウム大手 AMAG Austria Metal (AMAG) 傘下のドイツ企業である。前身のエアクラフト・フィリップは、ドイツの約半世紀の歴史を持つファミリー企業で、2019 年実績では約 5,000 万ユーロの売上規模、従業員 200 人、機械加工、特殊部品の製造を行ってきた。コロナ禍の 2020 年 9 月に AMAG が株式の 70%をオーナーCEO から買収。2022 年には残りの 30%も買収し、完全に AMAG の傘下となり、企業名を AMAG Component に変更している。ドイツに製造拠点を 3 か所持っているほか、イスラエルやインド企業ともパートナーシップを結んでいる。同社は、1970 年に A30 プログラムにおいてチタン鍛造部品加工を担った実績を持っており、現在、エアバスの A220、A320、A330、A350 プログラムに部品を供給しているほか、ボーイングやボンバルディア向けにも事業を行っている。今回の企業再編は、コロナ禍において、航空機部品メーカー全体の経営状況が厳しくなった時期にあり、同じドイツ経済圏に属するオーストリアの大手アルミニウムメーカーが航空機部品加工の分野に事業領域を広げるという垂直的統合モデルによる企業の買収合併が行われた形である。

Deharde (ドゥハルデ)

ドゥハルデは、構造部品の機械加工を行うエアバスサプライヤー。2020 年実績で約 3,650 万ユーロの売り上げ規模、従業員 300 人、ベルーガ XL の胴体上部パネルの供給を航空機向け設計サービスを行う P3 Voith Aerospace (P3 ヴォイス・アエロスペース) と共同で請け負った実績などを持つ。

Cotesa (コテザ)

コテサは、エアバスやボーイングに複合材の部品、コンポーネントを供給。売上規模は、約 6,500 万ユーロ、従業員数は約 750 人とされる。同社は、2017 年に中国企業、Advanced Technology and Materials (AT&M) への買収契約が署名され、翌年 2018 年にドイツの外国法人

によるドイツ企業買収に関する法律に従い審査の対象となり、最終的にドイツ政府の許可が出されて、中国傘下企業となっている。⁷³ 中国にも複合材の生産拠点を設けている。

Novelis（ノベリス）

ノベリスは、機体や翼の構造部品にアルミニウムの板材を供給。カナダにルーツを持つ同社は、現在、ジョージア州アトランタに本社を置き、9カ国に33拠点、約12,690人の従業員を擁している。ドイツを主要生産拠点にエアバスに供給、2013年には中国上海にも生産拠点を設立している。なお、ノベリスは、インドのアルミニウムおよび銅関連の大手 **Hindalco Industries**（ヒンダルコ・インダストリー）の子会社で、ムンバイに拠点を置く多国籍コングロマリット **Aditya Birla Group**（アディティヤ・ビルラ・グループ）の金属関連のフラッグシップ企業である。

ドイツ総括

ドイツにおいては、フランスと比較し航空機産業としては、構造部品メーカーよりも装備品メーカーやキャビン内装、MROを主とする企業が多い。ドイツ企業は、いわゆる中堅企業の層が厚く、家族経営企業であったとしても、比較的大企業に近い規模に達する企業が少なくない。リベール・アエロスペースや **MT** アエロスペースのグループ会社 **OHB** などのように株式を保有するだけでなく、経営に家族が関与し続けつつ、企業規模の拡大に成功する例が多い。

一方、構造部品メーカーは、フランスと同様、小規模の家族経営をベースとした企業がこれまでから少なくなかった。しかし、フランスと同様、企業規模を拡大するインセンティブが高まっており、上にみたとおり、アスコや **AMG** コンポーネントのように、垂直的統合により企業合併が推進されるケースがコロナ禍以後、散見されるようになっている。

エアバス傘下の主要構造部品メーカーであるプレミアム・アエロテックは、フランスにおけるエアバス傘下の主要構造部品メーカーであるエアバス・アトランティックと比較し、より小規模の付加価値の低い部品の製造も行っていることが特徴である。前述のとおり、プレミアム・アエロテックは、より付加価値の高い工程部分を、エアバス・アエロストラクチャーズとして分離させたこともあり、現在、残存しているプレミアム・アエロテックの事業は、フランスであれば、エアバスグループ以外の構造部品メーカーが主に担っている工程となる。今後、同社の事業内容の再編を進めることが予定されており、これを核として、構造部品メーカーの再編が進められる可能性が高い。

⁷³ China daily “German government gives Chinese AT&M's takeover of Cotesa green light: Report”, 2018/4/27

また、ドイツのベストコスト戦略としては、プレミアム・アエロテックがルーマニアに拠点をもち、PFW がトルコに拠点をもちなど、ドイツの経済的、人的結びつきが比較的強い地域を対象に展開されていることが分かる。一方で、フランス企業が積極的に進出している北アフリカ諸国への投資例は限定的である。

第3項 英国構造部品サプライチェーン

英国は、世界第3位の航空宇宙市場であり、売上規模は約330億ポンド。⁷⁴ 英国は、エアバスコンソーシアムに企業単位で参加を進めた経緯があり、エアバスUKが立地、主翼部分の設計および組み立てを担っている。一方、2018年には、ボーイングが4,000万リーブルを投じ、英国のSheffield（シェフィールド）に初めて直営工場を建設、ボーイング737および767の主翼後縁に搭載される100以上のアクチュエータ部品を製造し、英国企業のAeromet International（アエロメット・インターナショナル）が、ボーイングに高強度の多層アルミニウム鋳造品を供給している。⁷⁵

その他の主要な企業としては、エンジンメーカーのロールス・ロイス、軍事部門では欧州トップのBAE Systems（BAEシステムズ）、国防省の軍事研究開発機関から民営化されたQinetiQ（カインエティック）、装備品メーカーのMeggitt（メギット）⁷⁶やCobham（コブハム）、構造部品メーカーのGKNなどがある。また、フランス大手、サフラン、タレスなどの拠点も置いている。そのほか、イタリアのレオナルド、米国企業としてはゼネラルエレクトリック（GE）、ロッキード・マーチン、スピリットなどが立地、また、エアバス、BAEシステムズ、レオナルドの合弁企業でミサイル関連のMBDAも主要拠点を英国においている。

エアバス公式サプライヤーリストの中で、レフェランスを3件以上持つ中堅企業は、23社で全体の7%、フランス、ドイツの後塵を拝する。そのうち構造部品関係を扱う企業としては、10社がリストアップされている。英国航空宇宙産業の特徴として、若干古いデータであるが、2014年現在で、英国における航空機関連主要企業および主たるTier1企業の調達状況に関し、全体に占めるエンジン関連の調達割合は金額ベースで58%に達し、次いで構造部品関係が28%、それにプロセスや材料関係8%、システム装備品関係が7%と続く。すなわち、サプライチェーン構造として、エンジン部門の重要性が極めて高いことが分かる。なお、構造部品部門における主要OEMs、主要Tier1企業の英国内企業からの調達割合は38%で、残り55%から60%は大陸欧州からの調達になっており、大陸欧州への依存度の高さがうかがえる。⁷⁷

⁷⁴ ADS Group, facts & figures

⁷⁵ Boeing PR “Boeing inaugure une nouvelle usine de fabrication de pièces d’avion à Sheffield (Angleterre)”, 2018/10/25

⁷⁶ 2022年8月に米国Parker-Hannifin（パーカー・ハネフィン）が63億ポンドで買収。

⁷⁷ UK Aerospace Supply Chain Study

AIRBUS UK (エアバス UK)

エアバス UK は、エアバスグループの子会社で、エアバスの航空機の主翼を製造。2001 年にエアバスが株式会社化された際に、当時、主翼の開発生産を担っていた BAE システムズは、新会社の 20%の株式と引き換えに、エアバスに同社の生産拠点を譲渡し、エアバス UK となった。同社は、エアバスの全機種の主翼の設計・製造と、燃料系全般の設計・供給を担当。エアバスの多くの機種向けに着陸装置全体の設計と供給も担う。フィルトン拠点ではエンジニアリングと設計、および一部の製造を行っており、Broughton (ブロートン) 拠点ではその他の主翼部品とすべての主翼組立品を製造している。従業員総数は約 13,000 人。

BAE Systems (BAE)

BAE Systems (BAE) は、英国のロンドンに本拠を置く軍事、セキュリティ、航空宇宙企業、ヨーロッパ最大の防衛関連企業であり、米国国防省への主要サプライヤーの一つとなっている。2021 年の売上総額は、213.1 億ポンド。同社は、エアバスコンソーシアムの英国側参加企業である Hawker Siddeley (ホーカー・シドレー) をその源流の一つとしている。1977 年には、ホーカー・シドレーとダイナミクスが国有化され、ブリティッシュ・エアクラフト・コーポレーション (BAC) 、スコティッシュ・アビエーションと合併し、British Aerospace (BAe:ブリティッシュ・アエロスペース) が設立された。さらに 1999 年には、軍事大手の Marconi Electronic Systems (マルコニ・エレクトロニク・システム) を買収合併し、BAE Systems (BAE システムズ) と改称した。エアバス A320 などに装備品を一部供給している。同社は、前述のとおり、過去のエアバスコンソーシアムの一員として主翼の生産を担っていたこと、また、エアバスグループとの合併計画が何度か浮上した経過があることなどから、今後も欧州航空機産業の再編の一つの軸となる可能性はないとはいえない。

GKN Aerospace (GKN)

GKN は、自動車及び航空宇宙産業を主たる事業とする英国企業であり、英国における構造部品分野の主要企業の一つである。航空宇宙分野では、アリアンプログラム向けの宇宙関連、民間航空機、また、防衛関連で存在感がある。航空部門の売上規模は 2020 年実績で 25 億ユーロで、従業員数は約 1 万 5,000 人、世界 12 カ国に 38 か所の拠点を持つ。民間部門では、エアバス向けに A350XWB を含むすべてのプログラム、また、ボーイング 787、777 などにも部品を供給している。2008 年にエアバスのフィルトン工場を買収、これにより航空宇宙部門の強化を図った。また、2015 年には、オランダで 1919 年に設立され、構造部品、電気インターフェイスおよび配線、着陸装置、組み込みシステム、キャビネット装備品を開発、製造するフォッカーを買収、傘下に置いている。2018 年に同社は、産業系投資ファンド Melrose Industries (メルローズ・インダストリーズ) に買収され、その傘下に入っている。エアバスサプライチェーンでは、GKN は一般的に、フランスのエアバス・アトランティック、ドイツのプレミアム・アエロテック (及

び現エアバス・アエロストラクチャー) と並んで、構造部品分野では英国企業として中心的な役割を果たすものとみなされている。

Senior Aerospace (シニア・アエロスペース)

シニア・アエロスペースは、流体搬送、熱管理システムのほか、構造部品やコンポーネントを供給。2021年の売り上げが6億5,870万ポンドとなっており、その66%が航空宇宙産業向けで、その半分強が民間航空機向け事業となっている。エアバス、ボーイングともにそれぞれ主要プログラムに部品を供給。英国、フランス、米国などで生産する高付加価値部品に加え、アジアでは中国のみならず、タイやマレーシアにも拠点をもち、いわゆるベストコスト戦略も併用している。エアバス、ボーイング以外の主要顧客としては、ロールスロイス、MTU、P&W、レイセオン・テクノロジー、ロッキード・マーチン、GKN、スピリット、川崎重工、スバル、サフランなどがある。

Gardner Aerospace (ガードネール・アエロスペース)

ガードネール・アエロスペースは、英国を拠点とする板金加工、機械加工、特殊加工、組立、エンジニアリングを行う構造部品メーカーで、2019年実績で2億1770万ポンド、従業員数約1,450人となっている。本社のある英国のほか、フランス、ポーランド、インド、中国に生産拠点を置いている。トゥールーズ近郊のMazère (マゼール) などフランスの拠点は、経営環境が悪化し、2012年に裁判所の救済措置の対象となっていたフランス企業 Airia (アイリア) をガードネール・アエロスペースが買収したものであり、当時、フランスにおけるエアバスの拠点であるトゥールーズに近いところでビジネスをするメリットから買収の決定がなされたものである。なお、2019年にフランス法人は、5,356万ユーロの売上を達成している。なお、ガードネール・アエロスペースは、2017年に中国法人、Ligeance Aerospace (リジアンス・アエロスペース・テクノロジー) に買収され、中国傘下に入った。その後、中国にも生産拠点をつくり、成長する中国市場を取り込むとの戦略方針が示されていた。しかし、コロナ禍以降、その環境は大きく変化してきた。2022年には、ガードネール・アエロスペースの親会社、リジアンス・アエロスペース・テクノロジーが、別の中国法人 Sichuan Development Holding (シチュアン・デヴェロップメント・ホールディング) に買収される計画が持ち上がり、英国当局の許可を求めたが、英国政府は、2021年国家安全保障・投資法 (The National Security and Investment Act 2021) に基づき、ガードネール・アエロスペースおよび親会社側から新親会社への情報提供の禁止や取締役派遣の禁止措置などを売却の条件とする決定を2022年10月に下している。⁷⁸ 2017年当時と比較し、現在では、英国政府の外国投資に対する方針が大きく変わったことを示す一例であり、

⁷⁸ Department for business, energy, and industrial strategy “National security and investment act 2021” Publication of Notice of Final Order” Monday 10 October 2022

とりわけ、国家主権に関わる要素が強い航空宇宙産業分野では、現下の地政学的環境の変化を踏まえ、国家の介入が今後も続けられることを示唆している。

Darchem Engineering (ダルシエム・エンジニアリング)

ダルシエムは、航空宇宙、モータースポーツ、海洋防衛、原子力、石油・ガスなど、さまざまな産業分野向けにステンレス鋼やチタン製部品の設計、製造、また、断熱システムを供給している。売上規模は、8,500万ポンドで従業員数約500人とされる。エアバスおよびボーイングのほとんどのプログラム向けの事業を行うほか、ロールスロイスのエンジン向け事業も広く手掛けている。

その他の中小企業のサプライヤーとしては、構造部品の機械加工メーカーで、Aero fabrications (アエロ・ファブリケーションズ)、North west precision (ノース・ウエスト・プレジジョン)、AVPE Precision machining (AVEP プレジジョン・マシニング)、MEP Moulding & machining (MEP モルディング&マシニング)などがある。

また、鋳造メーカーとして、アエロメット・インターナショナルは、英国に拠点を置き、航空宇宙、防衛、モータースポーツ産業で使用される重要部品のアルミニウムとマグネシウムの鋳造における主要企業の一つであり、また、中小企業としては、Forged Solutions group (フォージョド・ソリューション・グループ) などがある。

英国 総括

英国は、エンジン部門に強みを持つサプライチェーン構造で、また、構造部品もそれに続いて一定の重要性を持つ。構造部品分野では GKN が主たる大手構造品メーカーとしてエアバスのサプライチェーンを支えている一方、準大手として、シニア・アエロスペースやガードネール・アエロスペースなどいくつかの企業があり、その他多くの中小企業がエアバス・サプライチェーンを支えている。

フランス、ドイツのように、構造部品部門の抱える課題は、欧州のいずれの国も同様であり、競争が激しく、装備品や MRO 関連部品などと比べて製品サイクルが長いことなどから、利益率が低いことが根底にある。このような中、シニア・アエロスペースなどが、ベストコスト戦略として、同国がより経済的結びつきが近いマレーシアやタイに拠点をもち、事業を展開しているのは、フランスが北アフリカ諸国にベストコストを求めて生産拠点を設け、ドイツが東欧に生産拠点を設けている動きと軌を一にしている。英国の場合は、ドイツと同様、東欧に進出するケースも少なくない。

一方、エアバスなどのサプライチェーンの一員として、生産増強能力を持ち、あるいはビジネス機会の減少時に企業としての安定性を確保できるような企業規模を拡大するというインセンティブは英国でも同様に機能しているように思われる。大手 GKN は、2015年にオランダのフォッカ

一を買収するなど、企業規模を拡大する動きを続けていることがその一例である。一方、さらに中小構造部品メーカーの再編などの動向については、具体的な例を見出すことはできなかったが、2016年の英国政府による航空宇宙産業サプライチェーンに関するレポートでは、英国メーカーのサプライヤー規模が小さく、発注者側からの生産体制の拡張、技術革新の推進などのニーズに十分にこたえられないリスクが議論されている。⁷⁹

また、低炭素関連で次世代航空機の開発に関連して、これらは英国航空機産業にとっても重要なビジネス機会となり得るが、それは限られたプライムサプライヤー、Tier1 サプライヤーにとってであり、多くの中小企業にとっては、マネージメント上（リーン生産システム）、財務上（投資余力）、技術上（人的体制）で必要なリソースが不足しているという認識が共有されている。とりわけ新技術の利用拡大については、英国航空機産業の構造部品部門としても、複合材部品などについてドイツあるいはスペインと比べ決して優位な状況にあるわけではないこともあり、同国の構造部品メーカーの競争力に影響を与えていくリスクはある。このような環境の中で、「報告1」の技術フォーカスで記したとおり、英国では、メギットが2015年に米国の複合材企業 EDAC を買収しており、不足する技術を海外企業買収で補う企業戦略が現れているものと思われる。

第4項 スペイン構造部品サプライチェーン

スペインの航空宇宙産業は、フランス、英国、ドイツなど、他のエアバスコンソーシアム参加国と比較すると規模が若干小さく、2020年実績で約114億ユーロ。日本の航空宇宙産業の二分の一の水準にとどまる。しかし、スペインは、エアバスコンソーシアム参加4カ国の一つとして、エアバス・スペインを中心に充実したサプライチェーンが存在する。また、民間航空機部門のみならず、軍事・宇宙開発部門でのエアバスの存在感もある。エアバスはスペインに軍事、宇宙関係で約7,700人の従業員を擁し、開発、設計、製造工程で重要な役割を果たしており、Getafe（ヘタフェ）にユーロファイターのFAL、San Pablo（サン・パブロ）に、A400M及びC295のFALが設置されている。また、既述のとおり、スペインは、風力発電設備への投資の関係で、風力発電設備にとって重要な複合材の研究、開発を積極的に進めてきた経過がある。A400Mプログラムではスペインが開発、生産した複合材が多用されているし、A350XWBでも同様である。エアバス公式サプライヤーリストの中で、レフェランスを3件以上持つ中堅企業は、22社で全体の7%、英国と同数規模である。

Airbus Spain（エアバス・スペイン）

エアバス・スペインは、約3,000人の従業員を擁し、ヘタフェ、Illescas（イエスカス）、Puerto Real（プエルト・リアル）にある拠点で、エアバス民間航空機全機種の水尾翼を生産

⁷⁹ Department for business, Innovation & Skill “UK Aerospace Supplychain Study”, July 2016

している。マドリード近郊のヘタフェでは、エアバスの全航空機用のコンポーネントの設計、エンジニアリング、製造を担当し、A350XWBとA330、A320ファミリーの水平尾翼の組立とテストを行っている。また、A350のテールコーンの生産もこの拠点で行われている。

イエスカス（トレド地方）は、エアバスの航空用複合材の拠点であり、尾翼と後部胴体の複合材部品の製造を担っている。A350の主翼下部カバーも、この工場生産されている。また、プエルト・レアル（カディス地方）は、A350 XWBおよびA330の水平安定板のラテラルボックスや、A320のエレベーターなどの製造を担っている。

Aernnova（アエルノヴァ）

アエルノヴァは、売上約6億ユーロ、従業員数約4,300人を抱える構造部品メーカーで、スペインにおける構造部品部門におけるエアバス・サプライチェーンの中核をなす企業の一つである。フランスの航空機業界では、同社はスペインのラテコエールとも呼ばれ、構造部品メーカーの中心的存在となっている。同社が航空機産業に参入したのは1986年であり、当初、エアバスコンソーシアムに参加していたスペインのCASAにA310向けの複合材部品を供給、A320向けのランディングギアドアなども担当した。1990年代後半以降、アンブラエルやボンバルディアとの事業にも参画、2000年代にはボーイングのプログラムへの進出しているほか、北米市場をにらんで2008年にはメキシコにも拠点を設けている。A350XWBでは、水平尾翼とエレベーターの開発、製造を担っており、この事業の開始に合わせ、スペインのトレドに複合材による製造工場を建設している。また、2020年には、A350 XWB向け複合材によるトレイリング・エッジの生産を担っていた英国のHamble Aerostructures（ハンプル・アエロストラクチャーズ）を買収し、英国における構造部品市場にも進出した。欧州ではルーマニア、ポルトガルに拠点を持っているが、大半はスペイン国内に生産拠点を持つ。一方、北米では米国、メキシコ、また、南米ブラジルにも進出し、生産拠点を持っている。

Aciturri（アシトゥーリ）

アシトゥーリは、2021年実績で2億1,100万ユーロを売り上げ、従業員1,175人を擁する。コロナ禍前の2018年実績では3億ユーロを超えている。スペイン国内6か所に拠点を持つ。1977年設立の家族経営による金属加工を行っていた同社は、1984年に航空機産業に参入、1986年からは複合材の取り扱いを始めた。1990年代半ば以降、アンブラエルのプログラムに部品の供給を開始したほか、衛星関連の事業にも参加している。2000年代には、ロールスロイスやボーイングとの取引も始めている。現在、エアバス、ボーイング、アンブラエル向けに胴体、尾翼関連の部品を供給し、主要プログラムとしては、エアバス向けにA320NEO、A350 XWB、A400Mプログラム、ボーイング向けにB737、B787プログラムに対応している。アエルノヴァと並んで、スペインにおける主たる構造部品メーカーとしての地位にあり、2019年には、同じ

スペインの構造部品メーカーで複合材関連に強いアレスティスの株式をエアバスから買収し、株式保有割合を76%として、自社の傘下に置いた。

Alestis Aerospace (アレスティス・アエロスペース)

2014年に経営破綻したアレスティスは、エアバスの資本参加(62%)を受け入れ企業存続を図った。エアバス傘下で経営再建を行った同社は、前述のとおり、アシトゥーリがエアバスから株式の譲渡を受け、保有割合76%で自社の傘下に置いている。2016年の同社の売上は、約1億8,000万ユーロ程度であったが、その85%はエアバスで、そのうちの半数は、複合材を多用しているA350XWBの売り上げに依存しているという不安定な経営構造にあった。一時期は、アエルノヴァ、アシトゥーリ、アレスティスの3社の合併が議論の対象になることもあった。⁸⁰

Mecanizaciones Aeronauticas (メカニザチオネズ・アエロノティカス)

スペイン北部のLa Rioja(ラ・リオハ)を拠点とする1940年設立の機械加工の中小企業で、1981年にエアバスコンソーシアムへのスペイン側参加母体、CASAから譲り受けた工作機械を使用し、航空部品をCASA向けに生産を始めたことが航空機産業参入のきっかけとなっている。大型部品の生産を中心に行い、胴体パネルなどの生産とともに特殊加工なども行っている。

GAZC

GAZCは、売上規模は約6,000万ユーロ、従業員450人。マドリード近郊とSevilla(セヴィーヤ)に拠点を持つ。エアバスやアンブラエルなどOEMに直接供給する一方、スペインの主要構造部品メーカー、アエルノヴァ、アシトゥーリ、アレスティス、また、ドイツのプレミアム・アエロテックやPFWなど主要なTier1企業にも製品を納めている。A320、A330、A350XWB、A400、C295プログラムなどのほか、ボーイング、あるいはATRや本田ジェットなどにも部品を供給している。

Inespasa (イネスパサ)

1983年設立のエンジニアリング、機械加工を行う企業。CASAからの受注をベースにエアバスグループともに成長してきた企業で、従業員数は現在、約150人。2000年代後半には多角化の動きの中で、アンブラエルやボンバルディアなどとの取引も開始、2000年代には、北米市場向けにスピリットへの部品の供給も行っている。

AirGrup (エアグループ)

1942年に自動車部品メーカーとして設立。セヴィーヤに4か所の生産拠点を持つ。1970年代に軍事部門に進出し、1980年以降、CASAの事業を請け負うこととなり、航空機産業に参入して

⁸⁰ Defensa.com, "Alestis Aerospace ne fusionnera pas avec Aernnova et Aciturri", 2016/5/11

いる。1990年代からチューブやダクト関連の事業も開始し、2000年代にはA400M関連の事業で成長した。コロナ禍後の2021年には多角化を進め、電気ハーネスの事業を新たに取得している。

スペイン 総括

スペインの構造部品部門は、エアバスコンソーシアム参加母体のCASAの事業とともに拡大を続けてきた。その中でも中心的な役割を果たすのは、アエルノヴァとアシトゥーリの二社であり、いずれも複合材加工を得意としている。複合材が強みのアレスティスも、2019年にアシトゥーリの傘下に入った。スペインの構造部品部門の特徴は、伝統的に複合材関連に強みを持つ企業が多いことにあるが、これは前述のとおり、スペイン政府が産業政策として複合材分野の強化を図ってきた歴史的背景があること、また、スペインにFALのあるA400Mのプログラムで複合材が積極的に活用されたことなどが影響している。

その他の中小企業も、フランスやドイツ、英国の企業と比べると比較的短い歴史を持つ企業が多く、規模も小さい。とりわけ、その他のエアバスコンソーシアム参加国と比べて異なるのは、スペイン以外のいわゆるベストコスト国において生産拠点を持っているという企業はアエルノヴァがルーマニアに小さい拠点を持つ以外ほとんどない。その他の企業は、ほぼスペイン国内に拠点を持つのみであり、あるいは、アンブラエルとの取引の関係でポルトガルに拠点を持つという企業が散見されるのみである。なぜ、ドイツやフランス、あるいは英国の企業のように、オフショアリング戦略を取らなかったか。それは極めて簡単な理由であり、すなわち、スペイン自体が他の3カ国と比較すると「ベストコスト」を実現することのできる国と考えることができるからである。月額最低賃金は、ドイツとフランスが約1,600ユーロで同水準であるのと比較すると、スペインでは約1,126ユーロで、独仏の7割程度の賃金水準となっている。国内賃金水準が欧州平均から比較するとかなり競争力のある条件を満たしているということがある。むしろ、例は多くないが、フランス南西部の年商3,600万ユーロ、従業員数380人程度のフランスの機械加工を行う中小企業Potez（ポテズ）が、競争力を維持するために、2016年にスペインに生産拠点を設けるケースなどがあった。⁸¹

フランスの議論では以前から、構造部品部門の再編のために、スペインやベルギーあるいはドイツの企業も巻き込んで、競争力のある構造部品メーカーを作り上げる必要性がうたわれてきたが、コロナ禍以後には、その方向性を実現していくためであろうか、2021年6月に、フランスの政府系ファンドACEキャピタルが、スペインの政府系ファンドSEPI (Sociedad Estatal de Participaciones Industriales)、エアバス、スペインのエンジニアリング会社Indra（インドラ）などと、航空機産業をターゲットとした投資ファンドを立ち上げている。持ち分割合は、ACE

⁸¹ L'Usine nouvelle "La pépète familiale Potez déploie ses ailes à l'international ", 2016/5/16

キャピタルと SEPI は 33.33%、エアバスが 28.3%で、インドラが 5%。資金総額は 1 億ユーロとなっている。その最初の投資案件は、2022 年 8 月に実現、⁸²スペインの Tier2 機械加工メーカーでエアバスのサプライチェーンを構成する Acatec (アカテック)を買収している。

第 2 節 欧州構造部品部門サプライチェーン総括

以上、フランス、ドイツ、英国、スペインの構造部品部門のサプライチェーンについて、各国別の主要企業のプロフィールを紹介し、その特徴および動向について検討してきた。

エアバスのサプライチェーンの基礎条件、開発、生産の分担体制に基づき、エアバスコンソーシアム参加国の 4 カ国、すなわち、フランス、ドイツ、英国およびスペインのそれぞれにエアバスが拠点をもち、FAL における最終組立、その他の大規模コンポーネント、関連部品の製造および組立などの役割分担を行っている。これに加え、フランス、ドイツでは規模の大きいエアバス子会社、すなわちフランスにおけるエアバス・アトランティック、ドイツにおけるエアバス・ストラクチャーズおよびプレミアム・アエロテックがあり、主要 Tier1 の地位を占めている。これらの企業が、それぞれの国の構造部品部門の主要プレイヤーとして各国のマーケットを構成する核となっている。

まず、確認できるのは、構造部品市場は、装備品市場と比較し、国別に市場が分かれている傾向が強いことである。構造部品市場は、エアバスコンソーシアム成立の経緯で見たように高度に政治的な決定で各国に役割分担がなされたわけであるが、現在においてもその境界性は比較的強く残っている。もちろん、英国企業がフランス企業を買収し、フランス企業がスペイン企業を買収するという例など国境を越えた M&A はいくつか確認された。しかし、それは全体としては限られた事例であり、多くの構造部品メーカーは、自国に基本的な生産拠点を置き、自国内のエアバスあるいはエアバス子会社を主な顧客としている。一方、それぞれ 4 カ国から、ボーイング、ボンバルディア向けの北米市場、アンブラエル向けのブラジル市場で生産拠点を築くという例は近年増えているが、他のエアバスコンソーシアム参加国の市場に積極的に参加するというケースは少ない。また、コスト削減の観点から海外に拠点を設けるという場合は、それぞれの国にとって親和性の高いベストコストを提案できる国、すなわち、フランスにとっての北アフリカ、東欧、ドイツにとっての東欧とトルコ、英国にとっての東欧とアジアなどが対象になるケースが一般的である。ただし、スペインなどはその雇用コストの相対的な低さとそれに由来する高い競争力から、自国生産の割合が高く、海外ソーシングの戦略では、他の 3 カ国と大きく異なる状況にある。

⁸² Funds Magazine “Tikehau Ace Capital rachète la société espagnole, Acatec“, 2022/8/4

4 カ国の構造部品部門におけるサプライチェーンを構成する企業の状況に共通するのは、「サプライチェーンの強靱化」という要請であろう。コロナ禍前は、生産力を増強するための財務基盤の強化、企業規模の拡大というニーズが高まっていた。一方コロナ禍後は、市場ニーズの急速な落ち込みなどに耐えうる企業体質の強化のための財務基盤の強化、企業規模の拡大、さらには、リスクヘッジのためのあらゆる多角化、すなわち、多様な販路の確保、事業内容の拡充、軍事部門への進出、航空機事業以外の事業への進出などがこれまで以上に求められるようになってきた。

フランスは、4 カ国の中でも最も構造部品メーカーの層が厚く、戦前から続く大手の企業も少なくない。しかし、全体としては、従来、家族経営の中小企業が多く、2000 年代以降、企業のグループ化や合併再編が進められてきたが、コロナ禍を経て、政府系ファンドの積極的な介入のもと、OEM とも協力し、Tier1、Tier2 企業の合併や再編が急速に進んでいる。フランスにおける政府の介入は、コルベティズムといわれるフランスの伝統的な介入主義的国家の在り方に加え、NATO など軍事同盟から若干、距離を置き、軍事的な独立性を重視する伝統的な政策の影響もある。

ドイツの構造部品メーカーはフランスほどの厚みはないが、戦前に由来を持つ企業も含め、多くの中小企業を有している。近年の動きとしては、大手企業の主導で、家族経営などの金属加工を行う中小企業を垂直統合する形で合併再編されるケースが散見される。これがドイツの構造部品関連市場全体の傾向と断言できるまで十分な事例は把握できていないが、現在の一つの重要な動きであるとは理解できる。いずれにせよ、構造部品部門で企業体質を強化する必要性を踏まえた動きであることは確かである。

英国の場合は、エンジン関連が構造部品部門の過半数を占めるなどエンジン部門の役割が重要である。企業の合併再編については、大手企業を中心に、民間企業のイニシアティブによる動きはあり、米国資本が入るケースなども確認された。ただし、収益体制の脆弱な構造部品メーカーの合併再編の必要性は意識されているものの、フランスのようにそのような動きが活発化しているという情報は今回の調査では得られなかった。英国モデルとしては、原則、企業主導であり、また、米国資本との親和性、市場経済主義的なアプローチで特徴づけられるように感じられる。ただし検証事例は少なく、今後、その他のケースを観察する中でこの仮説を確認する必要がある。

最後にスペインの場合は、構造部品関連企業は、エアバスコンソーシアムともに成長してきた。また、政府の支援による複合材関連への投資効果が得られており、市場規模としては4 カ国の中で最小ながら、エアバス・サプライチェーンの中での存在感も近年では拡大している。さらに低い労働コストを活かしているのもスペインの構造部品部門の特徴である。ただし、その他の国と同様、構造部品メーカーの低い収益性の問題はあり、近年でもエアバスが直接、間接に救済策を取らざるを得ないケースがいくつか出ている。このような中、コロナ禍の影響もあって、企業体質を強化するため、フランスの政府系ファンドとスペインの政府系ファンドが協力しつつ、再編

を促す動きが 2021 年頃から出始めている。フランスとスペインの両国の政府系ファンドが協力するなど、両国が協力体制に乗り出したことについては、今後の再編の動きをみる上で注目すべき点のように思われる。

技術フォーカス（電動化）

民間航空機の電動化については、ボーイングおよびエアバスは、漸進的なアプローチで開発を行ってきた。エアバスは、2010年代に E-FAN や E-FAN X などの電気推進実証機開発プロジェクトを進めてきたが、これらのプロジェクトは 2017 年、2020 年にそれぞれ延期を決定。今後、優れた電池技術の利用可能性が拓けるまで事業化には時期尚早という判断が背景にあった。現在、脱炭素化を推進するという流れでは、中・長距離用グリーン航空機の推進に関する研究開発については、現在、SAF（持続可能な航空燃料）や、コロナ禍以後の公的助成と広報効果が期待できる水素航空機を中心に各種のプロジェクトが進行しているのが実情である。

全電動化航空機開発プロジェクト

一方、軽量飛行機の電動化では、航空黎明期を思わせる活発な研究開発が行われている。電動化航空機の開発計画の地域別割合であるが、調査会社の Roland Belger（ローランド・ベルジェ）によれば、2006 年から 2030 年に初飛行を実施または予定しているプロジェクトの 47%が西欧、46%が北米を拠点としており、欧米が圧倒的なシェアを持つ。また、プロジェクトの主体別では、大手航空機メーカーのプロジェクトは 18%、エンジンメーカーが 5%、その他の航空機部品メーカーが 31%である一方、スタートアップなど新規参入企業は 46%にも上り、独立系あるいは航空機産業以外からの新規参入によるプロジェクトが活発であることがうかがわれる。⁸³

現在、200 社のスタートアップ企業が主導する 300 以上の電動飛行機や VTOLs（タクシー・ドローン）プロジェクトが世界中で展開されている。ICAO の環境リポート 2022 年版によれば、これまでに 70 以上のプロジェクトが、規制当局（FAA、EASA）の認証申請中となっている。これらのプロジェクトは、グリーンファンドや公的研究助成金、あるいは企業イメージを改善しようとする航空会社などの支援を受けているケースが多い。たとえば、電動航空機の第一号機、ピピストレル・ヴェリス・エレクトロ（Pipistrel Velis Electro）は、EASA により 2020 年に昼間飛行が認証されている。総航続時間は 90 分で、45 分程度の飛行を想定したレジャー航空市場のニーズに応える機体モデルとなっており、機体価格は 193,000 ユーロに設定されている。米国の航空、防衛、産業機器メーカーの Textron（テキストロン）が、2022 年 4 月に 2 億 1,800 万ユーロで同社を買収している。このように電動航空機をめぐるのは、多様なプロジェクトが推進され、実用化に向けて大きく前進しているようにみえる。

ただし AeroDynamic Advisory の Richard Aboulafia（リチャード・アブーラフィア）が指摘するように、20 席未満の航空機の市場は、この分野の二酸化炭素排出量の 1%に過ぎない。また、電動化航空機のプロジェクトの多くを占める VTOLs が競合とする交通手段は、その距離の制限

⁸³ Roland Belger “Aircraft Electrical Propulsion – The Net Chapter of Aviation”, 2017 年 9 月

から地上交通が主となるのであり、鉄道や従来型の自動車あるいは電気自動車という、重力に抗するエネルギーを必要としない交通手段であるというのも皮肉にして重要な指摘である。⁸⁴

また、電動化に関連する最近注目を集めているプロジェクトとしては、Flying Whales（フライング・ホエールズ）プロジェクトがある。これは、フランスで2012年に設立されたスタートアップ企業で、全長200メートル、直径50メートル、60トンの荷重を運搬することが可能な飛行船を開発している。当初、アクセスが困難な地域に限られたインフラのみで、重量の大きい物資を運搬できるということで、木材の運搬などが想定されたが、現在は、風力発電設備用の部材の運搬、災害時の資材や医療施設の運搬など、さまざまな用途が検討されている。当初からフランス大手企業Air Liquide（エアリキッド）やADP（パリ空港公社）などが資金や技術支援を行っており、また、カナダのケベック州からの公的投資も受けていた。2022年6月に同社は、第三回の資金調達で1億2,200万ユーロを調達しており、BPIフランスを通じてフランス政府、また、モナコ投資庁からの投資も受け入れている。なお技術面では、操縦システムについてタレス、また電気システムについては、サフラングループが開発に関与することになっており、2025年に初飛行の実現を目指している。現在、フランス、ボルドー北部に工場施設の建設計画が進行中で、将来的には、北米、欧州、アジアに生産拠点を設ける考えである。⁸⁵

同プロジェクトの競合としては、英国のHybrid Air Vehicles (HAV)によるAirlander10（エアランダー10）プロジェクトがある。同プロジェクトでは、米国のレイセオングループのコリンズ・アエロスペースが、積載量14トンの飛行船であるエアランダー向けの電気推進システムを開発しており、2025年にハイブリッド、2030年に全電動化の飛行船の実現を目指している。このほか、米国のロッキード・マーチン、英国のVarialift（ヴァリアリフト）などが同様のプロジェクトを推進している。これらのプロジェクトは、「ネット・ゼロ」の航空輸送のための未来のソリューションとして飛行船を復活させようとしており、その手掛かりとして貨物輸送プロジェクトに重点を置いている。飛行船の場合は、航空機が大きなエネルギーを消費するタキシング、上昇、着陸時の移動は、航空機気体の物理的な力を利用できるため、航続に必要なエネルギーとして電気モーターをより効率的に活用できるようになるという利点がある。

将来的には、乗客用への利用も見込むが、航行スピードが時速150km前後であること、また、既存の航空機と比較し、気象条件の影響を大きく受け、年間の航行可能日数に制限が生じるとの見通しもある。滑走路などを有した空港インフラが必要なく、大都市や、あるいは中小都市

⁸⁴ 2022年7月ファーンボロ航空ショー・ニュースレター

⁸⁵ La Tribune, “Flying Whales lève 122 millions d'euros pour faire voler son dirigeable en 2025”, 2022/7/1

に直接、アクセスできることなどのメリット、また、上述のとおり、電化を進めやすい特徴などとの比較で、今後、商業化の可能性が検討されていくものと思われる。

「オール電化」航空機開発の課題

「電気推進」導入に向けた主要な課題は、ケロシンの非常に優れたエネルギー密度をバッテリーや燃料電池といった他の貯蔵技術で置き換えることの困難にある。現在、最も優れた電池は、同じエネルギー質量を貯蔵するためには、ケロシンの 50 倍の重さが必要となる。ただし、電気モーターの高い効率性により、現在のバッテリー技術ではこの比率は 25 倍まで下がる。また、現在、自動車各社などが開発を進める全固体電池の実用化が進めば、現在のリチウムイオン電池の性能と安全性を上回り、この新技術のエネルギー密度は従来比で最大 4 倍の効率化が見込まれており、1kg あたり 500~1000Wh/kg が達成される。すなわち、ケロシンとの比較では、貯蔵装置の重量は 6 倍程度まで下がることになる。このレベルが達成されると、電気モーターはジェットエンジンに比べて軽いことなどから、軽飛行機や小型リージョナル機向けにおいては、実用化の可能性が出てくる。ただし、中長距離機に応用するには大きな技術的ブレークスルーが必要であり、そのイノベーションのプロセスは現時点で開発者の視野には入っていない。

航空機電化の漸進的プロセス

以上、小型航空機市場における電動化への試み、また、フライング・ホエールズ計画などの次世代飛行船プロジェクトについても、脱炭素化という政治課題への対応としては、あくまで限界的な取り組みである。ただし、これらは、電動化関連技術を進化させ、産業化へと結び付けていく一つの契機と考えることはできる。これらのプロジェクトを通じた研究、開発の成果などを踏まえ、現在の航空機の設計に革命的な要素をもたらすことなく、漸進的、段階的に、既存の商業用航空機の電化を進めていくのが、現在、大手航空機メーカーとその Tier1 企業の取組方針である。この動きを「More Electric Aircraft」(さらなる航空機の電動化)と称することができる。

航空機開発の歴史において、航空エンジニアは、常に、より信頼性が高く、メンテナンスが容易な航空機を設計すると同時に、機体の重量とエネルギー消費量を削減することを目指してきた。漸進的な電動化プロセスは、まず、軍用機で採用され、1960 年代後半のコンコルド開発以降、民間機、特に 1987 年に初飛行した A320 ファミリーの全機種で採用されたフライ・バイ・ワイヤ制御から始まっている。民間航空機は歴史的に、エンジンからの高温の空気の流れの一部を、多くの油圧・空圧システム(与圧制御、翼面制御、翼の除氷など)の駆動エネルギーとして利用してきた。民間航空機に適用されたフライ・バイ・ワイヤは、操縦性の改善にとどまらず、何よりも質量の大きい油圧式や電気機械式のアシストシステムの置き換えを有効な形で実現し、例えばアンチストールなどの飛行アシストシステムの開発も可能にしている。ボーイングは、このフライ・バイ・ワイヤ制御を、B777 シリーズに採用し、1994 年に初飛行させている。

エアバス社の A380 と A350XWB の設計では、フライ・バイ・ワイヤのコンセプトを押し進め、飛行制御マネージメントの置き換えにとどまらず、一部の軍用戦闘機と同様に、油圧アクチュエータの大部分を電動アクチュエータに置き換えている。一方、B787 の設計では、ボーイングはコリンズ・アエロスペースと共同で、ブリードエアの使用を減らすために電動コンプレッサーを備えた客室空気加圧システムを民間航空機として初めて採用している。この選択により、加圧に使用するエンジン出力を削減し、航空機の燃費を向上させ、関連する CO2 排出量を削減しており、B787 の場合、このシステムの導入はおよそ 3%削減に貢献しているとされる。また、電子システムの採用により、油圧・空圧システムの複雑な機構に関連したメンテナンスの問題を回避できるほか、流体が不要となり重量削減も可能となった。この技術進歩により、機内の気圧や空気の質が向上し、乗客のジェットラグの軽減にもつながっている。また、漏洩エンジン液で空気が汚染され、乗客やパイロットの生命や健康が危険にさらされるリスクも低減された。

表 3 は、航空機ファミリー別の電気システムの導入状況である。エアバスはA380 で各システムに順次、電化を導入し、A350 では航行制御システム、逆推進装置に導入、A350 ではさらに車輪&ブレーキ関連でも電化を図っている。ボーイングも B737 では従来型の油圧、空圧により各種システムの駆動を担ってきたが、B787 で環境制御システム、車輪&ブレーキ、防氷装置など、積極的な電化を図った。それぞれシステムに応じて、完全電化あるいは、油圧システムとの併用で対応しているケースが多い。

表 3：航空機別電気システム導入状況

	B737	A380	B787	A350XWB	F35-JSF
環境制御システム	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF
航行制御システム	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF
ランディングギア	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF
車輪&ブレーキ	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF
防氷装置	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF
逆推進装置	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF	EHPF

E: 電気 H: 油圧 P: 空圧 F: 燃料

出典：Roland Berger, “Aircraft Electrical Propulsion – The Next Chapter of Aviation?”, 2017年9月

全体の傾向としては、航空機の油圧・空圧システムを段階的に削減し、より信頼性が高く、メンテナンスが容易とされる電気システムに置き換えるという方向性にはある。電化により、軽量化を実現する余地もあり、電気系統の構造をより効率的な形で設計し直していく必要がある。航

空機メーカーとしては、新技術の採用、また、これに伴う認証に関連するリスクを軽減するために、段階的なアプローチを選好している。もちろん漸進的であっても、B787のリチウムイオン電池に関連する認証問題などにみられるように、電化プロセスは、産業化の上で一定のリスクと困難を伴う。ただし少なくともこの段階的なアプローチは、電気推進や新世代飛行船への回帰のような大きな技術的ブレークスルーの場合のように、認証のためのノウハウを革新する必要がなく、実証済みの方法の改善により、認証対象について認証機関（FAA、EASA など）のプロセスに比較的容易に組み込むことができる。

しかし、2050年の「ネットゼロ」目標に照らして、航空機の漸進的電化プロセスがエネルギー消費の削減に与えるメリットは極めて限られている。コリンズ・アエロスペースのシニア技術責任者である Todd Spierling（トッド・スパイエリング）によれば、エンジンの推力を除いて航空機の諸機能の駆動のために、エンジンから取得されるエネルギーは燃料の約6%に相当する。すなわち、推進力以外の諸機能の電化により省エネルギー化できるメリットは、最大でジェット燃料の消費量の約6%、現実的にはその半数程度で約3%に過ぎない。⁸⁶ただし、空気圧や油圧技術との比較で機体質量削減が可能であれば、省エネルギー効果はこれよりも若干高まるだろう。

ノッティンガム大学の研究によれば、表4に示すように、A330タイプの航空機におけるエンジン動力アウトプットの内訳としては、全体の動力41.74MWのうち、潜在的に航空機の電化を進めることのできる範囲は、1.54MWにすぎず、現行、ケロシンを由来とする発電分200kWを含めても、1.74MWで、全体の4%強である。

表4：A330タイプの航空機におけるエンジン動力アウトプットの内訳

機能	発電機	高圧ブリードエア	油圧ポンプ	燃料&オイルポンプ	エンジン	合計
種別	電気	空圧	油圧	メカニカル	推進力	
動力	200kW	1.2MW	240kW	100kW	40MW	41.74MW
イノベーション	電化 200kW	潜在的「More Electric Aircraft」 1.54MW				

University of Nottingham, “Electrical Machines for Aerospace Applications”, 03/2015

一方、電動化のメリットはコスト面にもある。すなわち、取得コストだけでなく、長期的な運用における信頼性やメンテナンス性の向上に伴うコストの削減効果である。空気圧や油圧技術に基づく部品のメンテナンスと比較した場合、電動化は、航空機のライフサイクル全体における運用コストの削減に貢献し、航空会社に対する訴求要素として重要である。

⁸⁶ SimpleFlying, “The More Electric Aircraft – Cleaner, Greener And More Reliable”, 2021/12/9

エンジンおよびハイブリッド技術

電気自動車と同じように、航空分野でもハイブリッド技術などエンジン開発の過渡期を迎えている。脱炭素化で重要な役割を果たすエンジン関連では、2021年6月に、サフランおよびGEが共同で、次世代エンジンデモンストレーター開発プログラム、RISEプログラム（Revolutionary Innovation for Sustainable Engines）を開始する旨が発表されたが、本プログラムでは、オープンローターエンジン技術を採用し、ローター素材には新世代の炭素繊維が使用されることになっている。このエンジンには、ハイブリッド電気機構も組み込まれる予定になっており、現在、両者が合弁で製造している最新のLEAPエンジンと比較して、約20%の燃料効率の改善を目指している。実現は、2030年代半ばを目標としている。また、ロールスロイスも次世代エンジンデモンストレーター開発プロジェクトUltra Fan（ウルトラファン）ではSAFの利用や将来的なハイブリッドエンジンの開発も視野に入れるとしている。一方、レイセオングループは、P&Wを中心に、地域航空向けのハイブリッドエンジンの開発に取り組んでおり、30%の燃料消費削減を目指している。ネットゼロには遠いが、既存の機体向けの新エンジンとして搭載することを想定した現実的な開発計画であり、段階的に実現へ向かっていく可能性は高い。

規制、認可プロセスおよびその他の課題

航空産業特有の事情として、安全上の理由から高度な規制が行われている。機能の一部を電動化した航空機は、当然、FAAやEASAなどの認証機関による認証が新たに必要となる。現在、300を超える電動化航空機プロジェクトがあり、そのうちの一部は認証取得の過程にあるが、規制当局は、これらの新技術に対応できる人材不足の問題に直面している。とりわけ、過去から蓄積された航空技術に基づく既存の基準との関連で、新しい基準を定義するために必要なフィードバックを行うことの困難は大きい。2022年、電気航空機の認証の第一段階を行っているFAAのCenter for Emerging Concepts and Innovation（CECI）には、8人の担当者しかおらず、すでに現在、70件に及ぶ申請があり、迅速な対応が難しい状況にあるといわれる。また、その他の重要な課題として、電気駆動の研究、開発では、これまで電気自動車の開発において自動車メーカー主導で行われており、人材およびノウハウともに、開発に必要なリソースを航空機産業として十分に保有していないという面がある。さらには電化における根源的な課題として、電気自動車をはじめ、さまざまな分野で需要が爆発的に増えることが予測されるなか、レアメタルの供給を確保するなどの問題も避けて通ることはできない。

まとめ

民間航空機の油圧・空圧システムの電動化を進める、いわゆる「More Electric Aircraft」（さらなる航空機の電動化）への動きは、段階的な開発を進め、航空機のライフサイクル全体におけるコスト削減を実現し、今後、規制当局による電動化技術関連対応の成熟を次第に促していくことになる。ただし、この電化への動きは、推力ベースで4%、最大燃料消費量で6%に相当する

に過ぎないことから、ネットゼロ航空機の目標に対する効果は否定できないものの、非常に限定的なものにとどまる。

電気推進については、現在、構想されているのはまだ小型航空機やタクシー用ドローンなどの用途に限られている。環境問題への取り組みや、グリーン技術向けの資金の流れを受けて、近年、航空技術の始まりを想起するようなイノベーションの契機が現れている。20 席以下の小型全電動化飛行機プロジェクトについては、現在、200 社以上のスタートアップが存在し、約 300 のプロジェクトが推進されている。この種の航空機の開発は、一般に電池の蓄電密度が 500Wh/kg を超えると実現可能となる。ただし、現在入手可能な最も優れた電池は、250Wh/kg 程度である。なおかつ、20 席以下の航空機部門は、航空機産業のカーボンフットプリントの 1%に過ぎないミクロの市場である。

一方、自動車分野と同様に、新エンジンの開発による漸進的な炭素ガスの削減への試みも進められており、また、ハイブリッドエンジンの開発もすべての主要メーカーは視野に入れている。ハイブリッドエンジンが実現すれば、現行のエンジンと比較し、20～30%の二酸化炭素排出量の削減が可能となると見込まれている。ただし、これらの新しいエンジンは、リージョナルジェットへの応用の可能性はあるものの、技術的な制約も多く、また、その対象機種が限定されるため、航空機を脱炭素化させるという意味では、ゲーム・チェンジャーとしての技術としては不十分である。飛行船構想についても、その幅広い産業化の可能性については未知数である。小型航空機の電化に関しては、アナウンスメント効果を狙ったマーケティングによる情報発信や、手厚い公的補助金に支えられているものの、産業化への道筋が十分に明確化されていない数多くのプロジェクトがあり、それらの内容と可能性を個別に十分に見極めることが重要であろう。

サプライチェーン・インタビュー（小型電化飛行機の開発）

ダヴィッド・ドラル（DAVID DORAL）

Dovetail Electric Aviation 共同設立者

オーストラリアに拠点を置く Dovetail Electric Aviation（ドヴゥテイル・エレクトリック・アヴィエーション）の共同設立者で、19 席以下の航空機の電化改造を提案する新興企業。多くの投資家を集め、2023 年 1 月にはオーストラリア政府から 300 万豪ドルの研究開発資金を獲得している。同氏は、2012 年から 2016 年まで、スペインにある AERTEC Industrial Engineering（アエールテック・インダストリアル・エンジニアリング）に勤務、商業、軍事部門で、エアバスに対し直接、エンジニアリングサポートを提供する 100 人以上のチームのトップを務めた。A400M、A350、C295 MRTT の開発プロジェクトに携わっている。

Q：御社の事業概要は？

A：航空設計事務所の経営を経て、スペインの格安航空会社 Volotea（ヴォロテア）およびイベリア航空の地域子会社 Air Nostrum（エア・ノーストラム）という 2 つの航空会社の支援を受け、スペインで DANTE Aeronautical（ダンテ・アエロノーティカル）を設立し、電動飛行機の開発に乗り出した。その後、経済的に存立可能な電動化航空機をニッチ市場に投入し、「ゼロ・エミッション」航空機の開発に貢献するため、既存小型機のエンジン組み換えに基づくビジネスモデルに切り替え、水上飛行機会社 Sidney Seaplanes（シドニー・シープレーン）の共同設立者である Aaron Shaw（アーロン・シャウ）と提携、Dovetail（ドブテイル）を設立した。現在、技術認証の獲得に向けて作業を進めている。

弊社のビジネスモデルは、小型航空機セスナ・キャラバンに搭載されている P&W ターボプロップエンジンをバッテリー式電気モーターあるいはバッテリーおよび燃料電池によるハイブリッド電気モーターに置きかえることである。今後、3 年以内に認証取得を目指している。まったく新しい航空機を開発する場合、資本がかかりすぎるし、認証作業もかなりのコストになる。認証基準がまだ構築されていない新技術の認証取得は、新しい航空機の機種や推進力の開発のボトルネックになっており、このような市場環境を考慮に入れた結果、決定された事業方針である。

Q：バッテリーに蓄えられるエネルギー密度は、ジェット燃料 1 リットルに比べて 50 倍も少ないが、全電動化飛行機のマーケットはあるのか。

A：まずはセスナ・キャラバンを航続距離 100km のバッテリー電気技術に、ビーチクラフト・キング・エアクラフトを航続距離 400km のバッテリーおよび燃料電池ハイブリッド技術に転換

することを狙っている。エンジン交換という戦略で、リソースをこの技術を組み入れるための認証に集中する。まずはオーストラリアの航空局から3年以内に認証を取得したいと考えている。弊社のプロジェクトはオーストラリア政府からも投資を受けている。オーストラリアには、このような軽飛行機のニッチな市場がある。ヨーロッパ規模の国土でありながら、鉄道網が存在せず、道路網も限定されており、さまざまな航空サービスの需要がある。ただし、最初の商業用途としては、シドニー周辺のツアーや100km未満の移動のための観光用航空機を考えている。その後、ビーチクラフトを改造して、400km程度の航続距離を確保し、例えば離島の住民支援や、高速貨物輸送を行う考えである。

Q：「ネットゼロ」の議論以外に、これらの航空機を転用するメリットはあるのか？

A：もちろん、グリーンテクノロジーへの関心は高まっているが、現実に受注に至るには、主にオペレーションコストが問題となる。認証を獲得すれば、弊社の航空機は目標とするニッチな用途で競争力を持つと考えている。ターボプロップエンジン2基を搭載したビーチクラフト・キング・エアクラフト100は1時間あたり315リットルのジェット燃料を消費するが、弊社のエンジンに積み替えることで、この化石燃料の消費を防げることに加えて、メンテナンス面でも競争力が得られる。ターボプロップは3,600飛行時間ごとにオーバーホールが必要だが、弊社のエンジンを搭載した場合、10,000飛行時間ごとのオーバーホールとなる。

すなわち、弊社は、ゼロ・エミッション機を提案するというだけでなく、対象となる路線や市場において、現在のジェット燃料機よりも経済的メリットが大きいモデルの市場投入を目指している。ビジネスモデルは、環境に優しいだけでなく、航空機のライフサイクルを通じてコスト削減をもたらすことを目指している。電気モーターは消耗や劣化が少なく、メンテナンスも比較的容易である。また、この電気モーターの開発をさらに進めるため、米国ワシントン州エバレットに移転したばかりのオーストラリア企業 MagniX（マグニックス）とのパートナーシップも結んだ。マグニックスの前 CEO、Roei Ganzarski（ローイ・ガンザルスキー）が当社の取締役兼顧問に就任し、エア・ノーストラムの MRO ディレクターで航空機の改造を専門とする Firmin Tirado（フィルマン・チラド）氏も顧問に就任している。

Q：御社のハイブリッド技術の原理はどのようなものか？

A：先ほど触れたとおり、現在の技術では、電池の1kgあたりのエネルギー密度は、ジェット燃料と比べると相当低い。当社の二水素燃料電池の技術では、1kgあたりのエネルギー密度が現行の電池の3~5倍と、期待が持てるレベルまで向上しているが、質量は依然として大きい。ハイブリッドの利点は、水素と燃料電池を使うことで航続距離を確保すると同時に、離陸段階で必

要なエネルギーのためにバッテリー容積を必要以上に大きくする必要がないことにある。すなわち、使用可能なエネルギー、質量に関する最適化を行い、我々として妥協点を見出したということである。

Q：ここでは、2～11 席の低容量機 2 機種を挙げているが、電気推進やハイブリッド推進による中型、大型機の市場はあり得ると考えるか？

A：グリーン航空機の長期リースを行う英国のリース会社 Monte (モント)とパートナーシップを締結。セスナ・キャラバンやビーチクラフト・キングエアーの改造機を最大 50 機まで購入する意向を示している。19 席以下の航空機の市場には大きな可能性がある。現在運航されている機体の多くは老朽化しており、乗客一人当たりの運航コストが高いことが負担になっている。このシリーズの航空機を電動化することで、新たな利用価値が生まれることになる。世界にはこのクラスの機体約 15,000 機が稼働しているといわれている。そのうち 56%が 200km 以下、83%が 350km 以下の飛行に利用されている。ビーチクラフトをハイブリッドエンジンに改造した場合、400km まで到達することができる。特にオーストラリア市場などでは、このタイプの航空機に対する需要が高い。ただし 19 席以上の航空機では、相当の技術進歩と開発能力が必要であり、我々のスコープにはない。72 人乗りのリージョナル機への応用は、特にエネルギー貯蔵技術の向上により、将来的な可能性が検討されているが、長距離路線では技術的な制約があまりにも大きく、我々は、CO2 排出量削減には現状、SAF の開発しか選択肢がないと判断している。

Q：水素は将来、中距離や長距離路線でも有効なソリューションになると考えるか？

A：現在の航空機と同等の航続距離を持つ大型航空機に水素を利用する場合、特に長距離路線では、水素の貯蔵に必要な容積が乗客に必要な容積に取って代わるようになってしまう。克服すべき技術的制約があまりに大きい。最近のエアバスの発表では、CEO の Guillaume Faury (ギヨーム・フォーリー)が「水素航空機は、水素燃料セクター全体が同時に発展して初めて準備が整うものであり、我々（航空機業界）だけで前進することはない」と述べているが、いずれにしても脱炭素化の目標年度とされる 2050 年に、水素技術の中・長距離機に適用するには、複雑で困難な課題が残っていることを認めている発言であると我々は考えている。

Q：リチャード・アブーラフィアによると、19 人乗りの航空機市場は、航空機のカーボンフットプリントの 1%未満に過ぎない。新しい技術の登場により、水素やハイブリッド電気によるリージョナルジェットが実現できる可能性はあるのかもしれない。ただし、kg あたりのエネルギー密度という面での航空用ジェット燃料の圧倒的な優位性は、他のエネルギー源では敵わず、その

不利を補うことも困難である。体積やエネルギー密度の点で不利な電池や水素の技術に関連する資源は、まず、実用化が比較的容易な陸上輸送で利用し、航空機産業には、化石燃料の使用を継続することが全体としては合理的、という考えについてどう思うか。

A：グローバルなアプローチとして興味深い考え方であるが、それには国際レベルでの輸送規制当局の調整が必要となる。現実的には、各産業部門においてそれぞれの制約があり、脱炭素目標達成のために分担すべき役割が求められる。

この文脈で、航空機業界において重要なのは SAF であろうと考える。ただし、ケロシンなどのジェット燃料が SAF に置き換わることで、安価な航空輸送に終止符が打たれ、過去そうであったように、航空機はより限られた層のための輸送手段への流れができる可能性がある。現在、SAF は、ジェット燃料の需要の約 0.1% を占めるのみで、価格は高い。ケロシンなどと比べて約 2 倍のコストがかかるが、「手の届く」価格帯であるともいえる。しかし、これらの燃料は陸上輸送でも需要が高まっていることを念頭に置く必要がある。今のところ、現在使用しているジェット燃料のすべてを、他の産業分野での利用を制限することなく、SAF で代替することは不可能であり、また、現在の市場価格水準ですべての人を満足させることは困難である。一方、導入が進む複合材関連の技術は、燃費の良い航空機的设计につながり、よりエネルギー効率の良い飛行を可能にしていく面があるだろう。

2022 年度現地ニーズ等活用促進事業 欧州航空機産業における現地ニーズ調査

—エアバス・サプライチェーン特徴とその動向—

「報告 4」 エアバス・サプライチェーン調達戦略の今後の見通し

「報告 4」

エアバス・サプライチェーン調達戦略の今後の見通し

「報告 1」ではまず、エアバス・サプライチェーンの基本構造の理解に努めた。エアバスには、1970 年のコンソーシアム設立以降、サプライチェーンを構築する上でいくつかの考慮に入れるべき制約条件があった。すなわち、コンソーシアム参加国であるフランス、ドイツ、英国、スペインによる分業体制に関する条件、競争力の高い米国企業との協力が必要であるという条件、また、欧州域外の市場を開拓する必要性に関する条件、そして、コンソーシアムにおける軍事部門の脆弱性という 4 つの条件のもとに、エアバスはサプライチェーンを構築していった。そのサプライチェーン構造の中核をなすのは、エアバスコンソーシアム参加国間における財務リスク、開発・生産体制、マーケティングなどの役割分担の原則を基礎にした、MCA（メジャーコンポーネントアッセンブリー）方式である。この方式に基づく生産体制及びサプライチェーンは、ベストセラーの A320 やエアバスの最新ファミリーである A350XWB でも引き継がれている。

次に「報告 2」では、エアバスのサプライチェーンがその主要な競争相手であるボーイングとの競合関係の中で変化、成長していく過程を確認した。すなわち、当初、複数国による開発、生産の役割分担という仕組みは、エアバスにとって克服すべき不利な条件であった。しかし、航空技術におけるイノベーションとこれに伴う開発費の高騰という流れの中で、航空機市場の政治性に起因するマーケティング戦略上のオフセット契約の重要性などが高まるにつれ、状況に変化が生まれた。すなわち、エアバスが持つ多拠点における分散型の生産方式がむしろ有利な仕組みとして働き、そこに蓄積されたエアバスのノウハウが競争力を持つことが次第に明らかになったのである。そして、ボーイングも B787 プログラムの開発に際し、サプライチェーンの再構築において、このモデルの基本構造を取り入れている。一方、エアバスもまず A380、そして何よりも A350 ファミリーのサプライチェーン構築において、ビルド・トゥ・プリントモデルからインテグレーターモデルへの移行という名のもとに、中核事業への資源の集中「**Refocusing**」、外部委託の拡大「**Outsourcing**」及び海外生産「**Offshoring**」をさらに推し進め、エアバスの伝統的な開発、生産の役割分担、財務リスクの分散化というモデルを深化させている。

そして「報告 3」では、エアバスコンソーシアム参加国が分担する事業の主要な対象となっている構造部品部門について、すなわち、フランス、ドイツ、英国、スペインにおけるサプライチェーンの状況に関し、主要企業の具体的な状況を検討し、各国マーケットの特徴とその動向に関する理解に努めた。

エアバスコンソーシアム参加国では、エアバスあるいはエアバス子会社が構造部品サプライチェーンの中核を占めている構図は同様であるが、エアバス及びエアバス子会社の役割、また、それに連なるサプライヤーの状況は各国ごとにやや異なる。

エアバス及びその子会社に関して、エアバスは 2008 年に作成された合理化計画「パワー8 戦略」に従い、インテグレーターとして中核事業にリソースを集中させる考え方にに基づき、開発及び生産プロセスの外部への移管を始めた。その動きの一つは、英国におけるエンジニアリング大手 GKN への事業譲渡である。一方、フランス及びドイツでは、所期の事業外部化は部分的にしかな実現せず、FALに至る前段階の事業が、現在、フランスではエアバス・アトランティック、ドイツではエアバス・アエロストラクチャーズ及びプレミアム・エアロテックとして残存している。とりわけ、ドイツでは比較的付加価値な工程が少なからずエアバスグループの中に残されており、これら事業の取り扱いについて今後の動向が注目される。スペインのエアバスについては、当初のエアバス・スペインの在り方から大きな変更はなく、フランスやドイツにみられるような、子会社を通じた業界の再編という大きな動きは、これまでのところ出ていない。

エアバスやエアバス子会社以外の構造部品メーカーの状況であるが、まず、フランスでは、第1次大戦の頃からの伝統を引き継ぐ大手企業もある一方、多くはエアバスの誕生とともに1970年代以降、成長してきた家族経営の企業が多く、2000年、2010年代以降、代替わりを迎えつつある企業が少なくなかった。このような中、サプライチェーン強靱化、生産力の強化と構造部品部門の生産性向上のため、企業イニシアティブあるいは国主導のファンドの支援を受けて、企業の合併再編やグループ化が進んだ。フランスの場合は軍事産業の重要性が高いこともあり、国の介入主義的姿勢が強く、政府系投資銀行、ファンドが航空機産業の再編に重要な役割を果たしている。また、海外生産の面では、歴史的に親和性の高い北アフリカ、また、他のエアバスコンソーシアム参加国同様、東欧での生産でベストコストを実現しているケースが多い。

ドイツについては、フランス同様、戦前に由来する伝統的な企業、また、1970年代以降に成長した家族経営企業が存在するが、構造部品部門としては、フランスよりもその層は厚いとはいえず、むしろキャビン内装関連の企業に競争力の高い企業が多い。構造部品関連企業としては、フランス同様、企業規模の拡大を迫られているが、政府の介入は目立たず、近年は、材料関係の大手企業が構造部品メーカーを買収するなど、垂直的な統合により、企業規模の拡大、財務体質の改善などが進められているケースが散見される。海外生産の面では、主要な生産委託先は、地理的、歴史的親和性のある東欧や、また、移民などで経済関係も強いトルコも選ばれている。

英国については、ロールスロイスの存在によりエンジン部門の部品メーカーに圧倒的な強みがある。構造部品ではエアバスの主翼の生産で重要な役割を担う GKN があるが、構造部品部門全体では、企業のポテンシャルとしてはフランスと比較してやや弱含みである。英国内の Tier1 企業は調達額の 50%以上をフランス、ドイツ、スペインあるいは東欧といった大陸欧州に依存して

いる。また、同国内で実施された企業向け調査でも、複合材の使用の拡大など、構造部品関連のイノベーションについて、同国の中小メーカーが他国と比較して技術的に不利な状況に置かれている傾向が指摘されている。なお、英国企業の海外生産拠点としては、東欧に加え、歴史的親和性の高いマレーシアや近隣のタイなどにも拠点を置く企業がある。

最後に、スペインについては、同国の航空宇宙産業の規模は日本よりも小さいが、エアバスコンソーシアム参加国として、エアバス・サプライチェーンを中心に質の高い企業群がある。また、政府の政策により、当初ニッチであった複合材関係に注力したことの成果が生まれ、エアバス・サプライチェーンでも、A400M、A350XWB と複合材の使用が増加するにつれ、スペイン企業の存在感が高まっている。アエルノヴァなど一部、北米や東欧に拠点を持つ企業もあるが、同社も含め、多くの構造部品関連の企業は、スペイン国内に主要な生産拠点を持っている。フランス、ドイツ、英国などが、ベストコストの名のもとに 2000 年代以降、海外生産を拡大したのと異なり、スペインでは国内生産を継続しており、また、他のエアバスコンソーシアム参加国と比較し、企業の合併再編といった動きも低調である。これは、スペインの労働コストが低く、あえて海外生産を進めなくとも競争力を維持できるという市場環境が背景にある。ただ、スペイン企業の中にも、一部、経営状況が悪化し、エアバスが一時的に資本介入を迫られたケースもあり、全体的に利益率の低い構造部品メーカーの状況はスペインでも課題となっているものと思われる。このような中、コロナ禍におけるサプライチェーンの脆弱性が明らかになったこともあり、経済的、政治的結びつきが強いフランス政府系資本が入り、スペインの航空機産業の再編を支援する動きも出ている。

以上、エアバス・サプライチェーンの歴史的背景を踏まえ、その特徴と進歩の過程、また、各国の構造部品関連マーケットの状況を確認した。以上を踏まえて「報告 4」では、今後、エアバスは、そのサプライチェーンについて、どのような改革を進めていく方針なのか、その見通しについて考察することとする。まず、エアバスの成長の軌跡を改めて確認した上で、エアバスの現状認識及び戦略についてコロナ禍前と後に区分して検討し、最後に Tier 1 及び Tier2 サプライヤーの置かれた立場とその戦略方針について考える。

第 1 節 エアバスの軌跡

まず、エアバスの現状認識及び戦略を理解する上で必要な前提として、改めてエアバスの成長の歩みをコロナ禍までたどってみたい。エアバス・サプライチェーンの主な特徴を要約するとともに、2000 年代までのエアバス・サプライチェーンの動きを理解しておくこととする。

第1項 エアバス・サプライチェーンの特徴

MCA方式 (Major component Assembly) の成功

報告1でみたように、1980年代からエアバスが展開してきたいわゆるMCA方式、すなわち、開発と生産、これに伴う財務リスクについて役割分担を行う戦略は、元来、エアバス・サプライチェーンにとって政治的に、また、産業プロジェクトとして財務的な制約から避けられない選択であり、むしろ、ボーイングなどとの競争上、ハンディキャップと考えられるべきものであった。しかし、MCA方式は、Tier 1レベルのマネージメントを簡素化し、新機種プログラムを立ち上げるごとにマネージメントの成熟度が向上。エアバスの組織は、事業のグローバル化が進む中で様々な困難に直面しながらも、次第に成熟した組織を作り上げていくことになる。エアバスは、最終組み立て前に完成度の高いメジャーコンポーネントを製造する手法において、品質やコスト、リードタイムのパフォーマンスを、ボーイングの従来型のサプライチェーンに勝るとも劣らない水準まで高めることに成功したといえる。

オフセット戦略に有利な組織スキーム

メジャーコンポーネント別の専門化を行い、そのバリューチェーンの管理を高度化させる戦略を取り、現場での経験を重ねた結果、エアバスの試みは実を結ぶ。A320とA330のプログラムは営業面でも成功をおさめ、エアバスは1990年代末から長距離路線でボーイングと競争できるところまでたどり着くことになる。

多言語、多文化環境で、地理的にも分散した条件において、この複雑に構造化された産業プロジェクトを管理、運営する能力は、その後のエアバスのグローバルな事業展開で生かされた。想起されるのは、中国市場でのシェアの拡大と2010年の天津でのFALの建設であり、A380の50%を購入したエミレーツ航空の母国、アラブ首長国連邦のムバダラグループへのワークパッケージの委託事業である。またA320ファミリーを数多く購入するインディゴ航空のあるインドとも同様に取引関係を結んだ。さらに米国アラバマ州モバイルのFALも、主にデルタとアメリカン航空との契約を念頭に建設されている。

エアバスは、これらオフセット戦略の展開を進めるのに有利な組織形態をしている。オフセット契約との親和性のあるサプライチェーンといってもよいだろう。これに対し、ボーイングは、B787プログラムで、おそらくは、伝統的な中央集権的組織からエアバスのそれに近い生産方式への移行を急ぎすぎたため、海外も含めたアウトソーシングのマネージメント上、大きな困難に直面したように思われる。このエアバス特有のオフセット契約に有利なサプライチェーン構造が、エアバスがボーイングをキャッチアップし、対等に競争できるようになった主たる要因かもしれない。

第2項 2000年代後半以降のサプライチェーンの動き

コストダウンと生産力増強に苦心するサプライヤー

一方で、エアバスの事業がグローバル化し、その商業的発展が促進されたものの、調達グローバル化により、これまでのパートナー、特に構造部品や素材のサプライヤーにはコスト面での圧力がかかるようになる。広胴型航空機の市場でボーイングに対抗し、顧客にあらゆるタイプの航空機を提案できるよう、エアバスは多額の投資を必要とする複数の長距離路線向け航空機プログラム、すなわち、A380、A350、A330NEO を立ち上げた。しかし、これらのプログラムの推進にあたり、エアバスは、伝統的なサプライヤーの数があまりにも多すぎ、効率性が低く、企業として脆弱すぎるという事実を痛切に感じるようになる。これに加え、エアバスとしては特に、巨額の投資負担を軽減するためリスクシェアパートナー契約(RSP 契約) を推進しており、新規投資を必要とする大型部品の開発資金については、サプライヤーにリスクを転嫁できるよう財務力のあるサプライヤーを確保しなければならないという事情が生まれた。

パワー8 戦略によるサプライチェーン改革

2000年代半ば以降のエアバスのサプライチェーンに関する戦略は、A380の開発をめぐる困難を受け、A350XWBのサプライチェーン構築の時期に作成された2008年のパワー8戦略で示されている。このパワー8戦略に基づき、中核事業への資源の集中、外部委託の拡大、海外移転の推進という方針が定められたのは報告2で示した通りである。すなわち、ビルト・トゥ・プリントモデルからインテグレーターモデルへの転換を図り、最終組み立てのほか、高収益が見込まれ、戦略的に重要な工程をグループ内に維持し、Tier1 サプライヤーの数を絞り込み、RSP 契約を結んだ戦略パートナーの Tier1、Tier2 企業を対象に、重要工程も含め開発及び生産を外部委託するとともに、Tier2 以下のサプライヤーの管理は Tier1 サプライヤーにその責任を果たさせる。また、付加価値の低い工程については、労働コストの低い国へ生産拠点を移す。さらに、オフセット契約を念頭にグローバルな調達戦略をさらに進めるというものである。

構造部品メーカーの再編に向けた最初の動き

エアバス主導による企業再編は、そもそもボーイングが2005年に自社グループの構造部品部門を外部化し、スピリットを誕生させたことも一つのきっかけとなっている。スピリットは世界最大の構造部品メーカーとなり、欧州事業にも進出、その存在感を次第に高めていく。エアバスは、自らのサプライチェーンを構成する Tier1 企業の脆弱性を認識した上で、欧州構造部品市場を世界で競争できる少数の大手企業へと再編成し、サプライチェーンを強靱化することの必要性を改めて強く認識させられることとなった。このような背景で、エアバスは、パワー8 戦略に基づき、構造部品のアウトソーシングを推進、フランスとドイツで、スピリットと競合できる、強い構造部品メーカーを成立させるため、フランスのラテコエール、ダエール、ベルギーのソナカ

などと合併させることが画策された。この計画の背景には、各国の産業政策、雇用確保の観点から、米国資本などがエアバスのサプライヤーを買収する懸念もあったとされる。また、構造部品部門を独立させ拡大することで、多角的な経営を可能にし、企業経営の効率化を図るとともに、これらの企業のエアバスへの依存度を下げることが目的の一つであった。ただし報告 2 でみたとおり、エアバス主導の再編計画は、英国工場の GKN への売却など一部しか実現しなかった。

一方で、多くのサプライヤーは、コスト削減の圧力と A380 プログラムの遅延に直面、利益を大幅に減らし、あるいは赤字を計上する事態となり、経営が悪化する企業も少なくなかった。また、多くの企業は、エアバスからのコスト削減圧力を受け、生産拠点を労働コストの低い国、いわゆるベストコストを提案できる国への移転を進めることを余儀なくされた。そして、やがて次第に企業再編を受け入れざるを得ない企業が現れ始める。こうして 2000 年代後半から 2010 年代にかけて、構造部品部門の Tier1、Tier2 サプライヤーの間で企業再編やグループ化の最初の波がやってきたのである。

第 2 節 エアバスの現状認識と戦略

エアバスの現状認識と戦略については、コロナ禍の以前と以後では、少なからず変化が生じている。まず、コロナ禍以前のエアバスの現状認識と戦略について検討し、最後に、コロナ禍以後、現在のエアバスの現状認識とその戦略について考察を加えたい。

第 1 項 コロナ禍前のエアバス

コロナ禍前のエアバスの現状認識

2010 年代の後半以降、コロナ禍以前には、各種調査で今後、新興国やアジアを中心に航空需要が飛躍的に伸びるとの予測が出されていた。この市場見通しを踏まえ、また、増大するバックログに対応するため、サプライチェーンに関するエアバスの課題は「拡大する航空需要にこたえるために、いかに競争力のある効率的な生産体制を整えていくか」に集約されていた。

パワー 8 戦略以来、構造部品メーカーの再編、グループ化はある程度進み、海外生産の拡大によるコスト削減も行われたが、エアバスの求める水準には及ばないものであった。コロナ禍前の時点で、エアバスは、現行のサプライチェーンについて、次の 4 点の認識を持っていたと考えられる。すなわち、

1. 企業規模が小さく財務力が弱いため、生産力の増強要請に柔軟に対応することができないサプライヤーがある。
2. 企業規模が小さく財務力が弱いため、市場環境の悪化や経営上のトラブルで、生産体制に不備が生じ、部品の調達に支障が生じるリスクがあるサプライヤーがある。

3. サプライチェーンを構成する企業の中には、いわゆるメガサプライヤーが存在しており、おおむね、エアバスよりも高い利益率を達成している。
4. 構造部品、コンポーネントの生産、組み立てを行うエアバス子会社の生産性が低い。

つまり、1) エアバス・サプライチェーンを構成する多くの企業は、とりわけ構造部品部門においては、家族経営など小規模の金属加工を営む中小企業が多いこともあり、生産性が低く、近年の生産力増強のニーズに柔軟に対応できないことに加え、2) 企業によっては業績が悪化し、部品の調達に支障が生じるリスクが生じ、フランス、ドイツ、スペインでもエアバスが直接資本注入を迫られる事案が発生している。3) また、メガサプライヤーについては、2018年にサフランがゾディアックエアスペースを買収した件でみたように、エアバスの価格交渉力を低下させるような、寡占的で広範な事業部門を持つメガサプライヤーの成長は、エアバスの投資収益率を長期的に低下させるリスクを内包している。さらに UTC やレイセオン（現在のレイセオン・テクノロジーグループ）など米国のメガサプライヤーが欧州での存在感を高めていることも懸念材料である。4) 一方、報告2で見たように、パワー8戦略で想定した「中核事業への資源の集中」は完全には成功せず、利益率が低く、中核事業とみなせない事業もエアバス子会社内部で維持せざるを得ない状況が続いてきた。

コロナ禍前のエアバスの戦略

以上のエアバスによる当時のサプライチェーンの現状認識を踏まえて、主要な課題、すなわち「効率的な生産体制の確立」のために、エアバスが目指していた戦略は次のように敷衍することができる。すなわち、

1. エアバスによる救済策を必要とするリスクがなく、増産の必要にも柔軟に対応することが可能な強い財務体質、投資余力を持つサプライヤー（Tier1, Tier 2）を確保すること。
2. 増大する開発投資の負担をエアバスから引き受けることが可能な財務力を持ち、開発に必要な技術力を保有する戦略的サプライヤー（Tier1 及び一部の Tier2）を確保すること。
3. エアバスとして十分な投資収益を確保できるよう、とりわけ戦略的サプライヤーとの均衡のとれた力関係を維持、あるいは作り出すこと。
4. エアバスグループにおける中核事業の位置づけを明確にし、一部の内部工程のアウトソーシングを進めること。

すなわち、1)、2) に関しては、サプライヤーの財務体質の改善、強化及び技術力の強化が本質的な課題であり、具体的には、サプライヤーの規模を拡大させ、顧客、事業内容の多角化を進めさせることが重要になる。強い財務体質を持ち、戦略的パートナーとして開発負担が可能で、技術力をもつサプライヤーを育てるために、エアバスはコロナ禍以前からサプライヤーへの直接的な資本参加、合併再編の仲介などを行い、また、政府系投資ファンドにも支えられ、サプライ

ヤーの経営の安定化、財務体質の強化を促してきた。政府系投資銀行 BPI フランスや、政府系投資ファンド、ACE キャピタルなどが、中堅企業、中小企業を中心に、少数株主として、あるいは経営権を握る形で投資を行い、企業買収のサポート、あるいは合併再編の主要プレイヤーとしての役割を果たしてきた。一方、3) の戦略的サプライヤーとの均衡のとれた力関係については、例えば、戦略的パートナーである UTC に生産委託をしていた A320NEO 向けのナセルの生産を内部化する検討などが 2017 年に始まった。最終的に 2020 年 6 月に計画の放棄が決まり、コロナ禍での財務状況の悪化などで短期的視点から計画を放棄したとエアバスの組合からは批判も上がっている。しかし、エアバスは、同時に UTC と 10 年間の独占契約を結んだが、これまでのナセル内製化向けの投資を考慮しても十分に魅力的な契約内容を得ることができたとの報道もある。UTC はナセルについて、中国で生産した部品を使用し、メキシコで生産を行っており、価格競争力でも強みがあったものと思われる。エアバスの今回の A320NEO 向けナセルの内製化計画そのものは放棄されたが、この試みが完全に失敗したというわけではなく、エアバスとして UTC との交渉材料として活用できた側面があったことはおそらく間違いないであろう。⁸⁷ 最後に、4) のエアバス中核事業へのリソースの集中であるが、報告 2 及び 3 でみたとおり、エアバス子会社の構造部品メーカーについては、その全部あるいは一部事業の売却は、2000 年代末から 2010 年代を通じてエアバスの重要課題であり、その方針を前提にしたグループ再編が何度か繰り返されてきた。コロナ禍が発生する直前も、明確にドイツのプレミアム・エアロテックの売却方針がエアバスの経営陣から言及されていたところである。

第 2 項 コロナ禍後のエアバス

緩やかに回復する業績と明るい将来展望

2020 年 3 月に欧州をコロナ禍が襲い、エアバスのサプライチェーンが一時、完全に停止する状態となり、その後も生産水準が長期に渡って低迷する事態となった。以後 3 年が経過し、状況は正常化しつつある。エアバスは、2022 年にはすべてのカテゴリーを合わせて 1,078 機（正味 820 機）の新規発注を獲得、バックログも 2022 年 12 月末現在で 7,239 機に上っている。カテゴリー別では、狭胴機のマーケットは活況を呈しており、2022 年のネットオーダーは 875 機と、危機以前の水準に戻る方向で推移している。ただし、広胴機はまだ不況から脱しておらず、A350XWB のネットオーダーは 10 機にとどまり、また、A330 でネットオーダーがマイナス 65 機となったため、広胴機のネットオーダーは、合計でマイナス 55 機となっている。一方、エアバスは長期的には明るい展望を持っている。2022 年 7 月に公表された 2022 年－2041 年の長期

⁸⁷ Agence API-West France “ Airbus Nantes touchée par l’arrêt du programme "Nacelle Integrated Solutions", 2022/6/23

需要予測では、中国など新興国の経済発展を根拠に、乗客需要は CAGR ベースで年率 3.6%、貨物は 3.2%の伸びが見込んでいるところである。⁸⁸

ライバルのボーイングは、B737Maxの二度にわたる墜落事故、また、B787の生産プロセスに関する問題の頻出などで出遅れており、エアバスとしてはボーイングとの競争を今後、優位に進めるために、この機に生産力を可及的速やかに回復したいと考えている。しかし、2022年の生産機数は、当初、720機を目標として掲げたが、最終的に661機にとどまり、前年の611機をわずかに上回るに過ぎなかった。今後の生産計画については、当初2023年夏に月産65機へ拡大する目標を2024年初まで先送りする旨、2022年の7月に発表しているが、現在、この目標の達成も難しい状況にある。これはコロナ禍の影響で、リストラなどを実施した企業が労働者不足や資金難で、速やかに生産水準を引き上げることができないという事情がある。またこれに加え、再生エネルギーをめぐる欧州エネルギー市場全体の構造的な問題、また、ロシア・ウクライナ戦争による影響などで、エネルギー価格が高騰し、また、一部の原材料調達に困難が生じている問題がある。

コロナ禍後のエアバスの現状認識

エアバスは、現在、2025年にA320はコロナ前の水準、すなわち月産75機まで引き上げるという中期目標は維持している。様々な困難にもかかわらず、エアバスが生産水準を徐々に高め、サプライヤー、とりわけ中小企業の体力が回復するにつれて、サプライチェーンが以前の姿を取り戻すことになるのだろうか。エアバスの生産体制が2019年の水準に回復し、サプライチェーンについての方針も、これまでパワー8戦略などで定められてきた方向性が維持されるのだろうか。それとも、コロナ禍を経て、エアバスの現状認識と戦略が軌道修正され、Tier1及びTier2サプライヤーの戦略の方針が変わり、サプライチェーンのあり方に何らかの変化が生じようとしているのだろうか。

我々は、2020年のコロナ禍は、以下の2点において、航空機メーカーのサプライチェーンに、大きな変化とインパクトを与えたものとする。すなわち

1. サプライチェーン強靱化の必要性の拡大
2. 「グリーン航空機」という政治課題に対処する必要性の高まり

まず、第1にサプライチェーンの強靱化の必要性がさらに拡大した点についてである。

コロナ禍においては、一時、エアバスの航空機の生産がほぼ完全にストップする状況となり、各企業、とりわけ中小企業の財務状況が急速に悪化した。これに伴い、フランスをはじめ各国で、政府保証付き融資や税・社会保険債務の繰り延べ、一時帰休制度の拡充などで、航空機産業の救

⁸⁸ Airbus, Global Market Forecast 2022, 2022/7/8

済措置が行われている。これに並行して、エアバスも含め、ほとんどの企業で早期退職や整理解雇が行われ、また、新規プロジェクトの中止など、企業存続のためのあらゆる対策が取られた。この結果、企業が連鎖倒産をするというような事態は避けられ、企業のキャッシュフローは危機的な状況を脱した。むしろフランスなどでは 2020 年の企業倒産件数は前年度と比較し減少しており、いかに経営支援補助金や、政府保証付き融資などが手厚く実施されたかを物語っている。しかし、中長期的な経営環境、事業展望としては、一般的に利益率の低い構造部品分野の企業、とりわけ航空機部品分野で専らに事業を行う企業の状況は厳しい。多額の政府保証付き融資により、多くの企業も貸借対照表は相当傷んでいる。

また、航空機産業にとって人材の確保も大きな課題である。Tier1、Tier2のサプライヤーは、コロナ禍で整理解雇などを実施しており、生産力増強のためには採用を増加させる必要がある。しかしコロナ禍で、とりわけ若年層の労働に対する姿勢に変化が生じ、多くの企業では採用活動で無視できない困難に直面しており、とりわけ生産現場では事態は深刻である。⁸⁹ アエロマー・トゥールーズ 2022 のカンファレンスでも、ACE キャピタル代表のマルワン・ラウドは、人材確保のために航空機産業の魅力を高めることが、今後のサプライチェーンの運営上、最も重要な課題としている。⁹⁰

コロナ禍は、航空機産業のサプライチェーンに対する考え方を根本から見直させるほどの強いインパクトを経営幹部に与えた。2022 年 6 月に、エアバスヘリコプターのサプライチェーン・品質担当副社長の Jean-Philippe BEDOS (ジャン=フィリップ・ブドス) は、地元公的メディアのインタビューに答え、航空機業界が経験したサプライチェーンの混乱を「巨大なトラウマ」と表現した。サプライチェーン強靱化のために、イノベーションを活用し生産体制の最適化を図ることの重要性を指摘するとともに、現在、デュアルソーシングプランを強化していることを明らかにしている。⁹¹

第 2 に、コロナ禍を経て、グリーン航空機計画への対処が航空機メーカーにとって重要な経営課題として急速に浮上した。もちろん、コロナ禍以前から、カーボンニュートラルは欧州全体の政治課題としてその重要性が高まっており、2018 年にスウェーデンで始まり、欧州全体に波及した Flight shame (飛行機に乗ることの恥) という社会運動にみられるように、航空業界全体への CO2 削減を求める政治的圧力は次第に高まりつつあった。しかし、コロナ禍を経て、CO2

⁸⁹ L'Usine Nouvelle, "Pour Airbus, Safran et consorts, la pénurie de talents contraint au renouveau", 2022/2/10

⁹⁰ Aeromart Toulouse 2022, conference, "Supply Chain of the Future: Trends and Challenges", Maran LAHOUD, 2022/12/1

⁹¹ Team Henri Fabre (Région Sud), Dossier : Tensions sur la supply chain, 2022/6/29

削減の必要性とそれに対する航空機産業の責任という社会的パラダイムは、ますます航空機産業の経営幹部にとって避けることのできない圧力として機能している。

また、航空機業界は、CO₂ 排出削減の名のもとに巨額の公的補助金を受けており、この目標に沿った事業推進、開発、生産、サプライチェーンの運営を進めなければならない状況にある。2020年6月のフランス政府の航空機産業支援の政策パッケージに、グリーン航空機実現のための補助金が含まれている。総額15億ユーロの公的支出が決定されており、エアバス及びエアバスのサプライチェーンを構成するサプライヤーはこの公的補助による金融支援の便益に浴している。この補助金の対象は、CO₂の排出抑制に資するという観点から、水素燃料による推進システムなど水素航空機だけでなく、電動化、SAFの利用拡大、軽量化なども対象になっている。

さらにコロナ禍を経て、カーボンニュートラルに向けた政治的な規制はさらに強化の方向に動いている。2021年7月14日に欧州委員会が提案した「Fit for 55」計画は、1990年を基準に2030年までに交通関連の環境負荷を55%削減し、2050年にカーボンネットゼロを目指すという目標に向けた政策パッケージである。欧州議会と並び欧州連合の政策意思決定機関である欧州連合理事会⁹²は、これを2022年6月28日に採択した。この政策パッケージでは、自動車関連で内燃機関による自動車の販売を2035年以降禁じることなどが盛り込まれているが、航空関係でも、航空各社への炭素ガス排出割当の有料化、持続可能な燃料の航空機への使用の義務付けなどの政策が含まれている。炭素ガス排出規制、あるいは炭素排出権取引メカニズムなどの強化などに伴い、航空各社にはこれまで以上にCO₂排出抑制の経済的インセンティブが働く。従って、今後、航空機メーカーのエアバス及びエアバスのサプライチェーンにおいても、航空機をカーボンニュートラルに向けて進めていく、これまで以上に強いインセンティブが働くことになる。

エアバスのグリーン航空機戦略

現在、脱炭素化に向け、欧州あるいは各国政府の補助の支援を受けて、電化、水素燃料など、様々な新技術に関する研究、開発が進められている。グリーン航空機などCO₂排出抑制に向けた取り組みは、航空機産業として確実に推進していく必要がある。しかし、物理的な制約と限られた開発期間を考えると、2050年には、まだ電気や水素を主たる動力源とする航空機は、例外的な存在になるものと思われる。電化はレジャー用など小型機に限られ、リージョナル機、民間用ジェット機については、限定的な用途の電化が漸進的に進められるに過ぎない。また、水素燃料技術に至っては、エアバスの目標年次とされる2035年に実用化される可能性は極めて低く、今世紀半ばでさえ、実現の見通しは暗い。これらの技術が、見通せる将来において、エアバス・サプライチェーンに影響を与える部分は極めて少ないと言わざるを得ない。⁹³

⁹² 加盟国の閣僚が出席する政策決定機関

⁹³ 詳細は、報告3及び4の「技術フォーカス」及び「サプライチェーンインタビュー」参照

アナウンスメント効果や基礎研究とは別の次元で、OEM 企業から航空会社までの航空業界は、2050 年までの CO2 排出量の実質的な削減に貢献するためには、SAF の開発航空燃料の開発こそが進むべき道であると考えているように思われる。これらの燃料の使用は、改造によって現在のエンジン技術に組み込むことができると見込まれている。従って、この解決策を取ることによって、航空機産業は、製造技術のイノベーションや事業化への取り組みで、エネルギー産業に責任の一部を転嫁できることになる。

一方、航空産業は、特に「More Electric Aircraft」(さらなる航空機の電動化)を追求し、航空機のシステムを操作するためのエンジン出力の低減を図ること、今後、オープンローターなどより経済的な新しいエンジンを開発すること、複合材料の使用を拡大し、構造部のさらなる軽量化の探求など、漸進的アプローチによるイノベーションの道を歩んでいくことになるであろう。

同じく脱炭素化の流れで、複合材使用の拡大などで機体の軽量化による CO2 排出量削減の試みは、今後も積極的に進められていく可能性が高い。複合材使用の拡大は、すでにエアバスのサプライチェーンにも影響を及ぼしている。複合材に強みを持つ、スペインやドイツの役割が高まっているほか、中国などでも複合材を生産する企業が新たにエアバスのサプライチェーンに加わっている。今後もその傾向は強まることはあっても弱まることはない。

エアバスのビジネス戦略

短期的には、前述のとおり、月産の機数を 2019 年の水準に回復させるために、着実に引き上げていく必要がある。現在、目標は 2025 年までに A320 の生産を月産 75 機まで引き上げることになっているが、これを懐疑的にみるエンジンメーカーのサフランの見解もあり、実現可能性は微妙である。しかし、サプライチェーン強靱策やデジタル化、自動化、ロボット化などを徹底することで、生産力を引き上げ、ライバルのボーイングを、このセグメントで引き離したいところである。

中、長期的には、最新モデルである A321XLR の開発が進んでおり、特に大西洋横断路線において、ハブを使用せずに単通路のポイントツーポイント路線を開設できるメリットは大きい。認証取得中のこの機体は、すでに市場から非常に高い評価を得ている一方、ボーイングは、今後 10 年以内に新しいプログラムを開始する予定がない。競合機の出現を懸念することがない可能性の高いエアバスにとっては、このセグメントを中心にボーイングとの競争を優位に進めていくことが期待される。

エアバスのサプライチェーン戦略

上にサプライチェーンの強靱化の必要性の拡大が、今後のエアバス・サプライチェーンの変化を規定していく重要な要因であることをみた。

それでは、今後、エアバスのサプライチェーンを維持、改善していくために、具体的には、エアバスはどのような政策方針を持っているのだろうか。エアバスの中長期的な目標は、「強い財務力を備え、生産力の増強、あるいは市場の乱高下にも自律的に対応できるような強靱な企業体質を持つ、比較的少数からなるサプライヤーで構成される、効率的な生産性の高いサプライチェーンの構築を目指すこと。」であろう。

サプライチェーンの強靱化は、コロナ禍以前からの課題ではあるが、コロナ禍とこれに伴う大規模なサプライチェーンの機能不全及び分断を経験したエアバスは、サプライチェーンの強靱性に対する要求度をこれまでとは違うレベルまで引き上げている。コロナ禍は航空機産業にとって未曾有の出来事であったが、感染症の専門家にすれば、感染症は現代の都市過密、グローバリゼーションの高まりの中で、定期的に発生しうる災禍であり、このことを産業界も社会も身をもって知ることになった。また、ロシア・ウクライナ戦争や、米中の覇権をめぐる経済摩擦、政治摩擦は、グローバル化する経済への楽観的な見通しを打ち崩すのに十分な出来事となっている。

一方で、ACE キャピタル代表のラワード氏が、アエロマート・トゥールーズ 2022 のカンファレンスで強調したように、航空機産業は内在的にグローバルな産業であり、調達、開発・生産、また、マーケティングと販売も含めて、グローバルな展開なしに産業として成り立たず、なにより企業として競争力を維持することができない。そもそもエアバスの調達方針には、顧客のいる地域から調達するというオフセット契約に基づく原則が含まれている。従って、エアバスにとっての挑戦は、産業プロジェクトとしてグローバルな販売、調達方針を維持しながら、いかにサプライチェーンの強靱化を図るかということになる。

サプライチェーンの強靱化については、報告 3 でみたように、次のプロセスが現在、実際に進行している。

1. 短期的には、脆弱性のある重要サプライヤーは、マーケットの状況や必要に応じ、何らかの形で財務支援を行う。
2. 構造部品部門の低収益構造を踏まえ、関係企業の財務体質の向上を図るため、企業規模を拡大するための企業の合併再編をさらに推し進めていく。
3. サプライチェーンの再編にあたっては、国別の事情に応じ、政府系投資ファンドの活用、エアバスの直接介入、サプライヤー同士での垂直統合、水平統合が促されていく。
4. また、生産体制の合理化、デジタル化、オートメーション化、ロボット化をこれまで以上に促進することで、サプライチェーン全体の効率性を高める。
5. さらに、海外でのローコスト、ベストコストが実現できる国での生産も拡大する。
6. 以上のサプライチェーンの強靱化、再構築の動向を踏まえ、エアバス本体、エアバス子会社、Tier 1 企業との間での役割分担を最適化し、その再編を行う。

1) から 3) までのサプライヤーへの財務支援、企業合併、また、国別の事情や対象企業の事情に応じた、政府系投資ファンド、エアバス、他のサプライヤーなどによる合併再編などは、報告3でみたとおりである。コロナ禍を経て、これらの対策の重要性がさらに高まり、取り組みも急速に進んでいる。4) のデジタル化、オートメーション化、ロボット化は、航空機産業のかねてからの課題であるが、構造部品メーカーの生産性向上によるコスト削減、サプライチェーン強靱化の必要性から、その重要性がコロナ禍以降、一層、強調されるようになった。また、コロナ禍以後の政府の支援パッケージとしても、デジタル化、オートメーション化、ロボット化の支援メニューが含まれている。5) の海外生産の拡大についても、バリューチェーン全体の最適化やコスト削減策として、コロナ禍以前からの流れが変わる理由はない。労働法制の弱いこれらの国ではコロナ禍で雇用の調整弁としての機能を果たしたことも想起される。6) のエアバスグループ内の再編の動きは、報告 2、3 で示したとおり、フランスのエアバス・アトランティック、ドイツのエアバス・ストラクチャーズ及びプレミアム・エアロテックを軸として今後、事業の一部売却や他社との提携などが行われる可能性は少なくない。特に、プレミアムエアロテックは、これまでの経過からも再編の核となることは大いにあり得るだろう。エアバスのビルト・トゥ・プリントモデルからインテグレーターモデルという方向性に変化はない。ただし、グリーン航空機開発のニーズが高まる中で、大幅な燃料効率の改善を達成するためには、機体構造について新たに革新的な発想で開発する必要性も叫ばれており、いわゆる中核事業とされる範囲がこれまでと比較して拡大する可能性はある。

次に、グローバルなサプライチェーンの阻害要因としての疫病、戦乱や貿易紛争など地政学的事件の発生リスクについてである。エアバスは、エアバスの本拠地である欧州のフランス、ドイツだけでなく、米国や中国にも FAL を持っている。また、報告 2 でみたように、世界のあらゆる地域から調達する体制を整えており、マーケティング上の必要から、オフセット契約で航空機の販売先の地域でソーシングする必要性もある。しかし、今後、2020 年のコロナ禍の再来、ロシア・ウクライナ戦争の拡大や類似の紛争の発生、サイバーテロ、米国と中国の貿易紛争の悪化、台湾海峡をめぐる対立の先鋭化などが想定される。これらの事象がグローバルサプライチェーンを分断させることによるリスクを避けるための準備が求められる。すなわち、

1. 可能な限り顧客のエアバスや Tier1 サプライヤーの拠点に近い場所での生産を求める。
2. 物理的な距離のある地域については、できる限りデュアルソーシングを活用する。
3. 地政学的リスクのある地域については、できる限りデュアルソーシングを活用する。
4. 地政学的リスクの大きい地域との取引は必要最小限とし、必要に応じて拠点を移転する。

1)の顧客であるエアバスの近くで生産を求める傾向はもちろんこれまでもあった。エアバスの子会社がチュニジアやモロッコ、あるいは東欧に進出する際に、そのサプライヤー企業にもこれらの国への進出を要請している。フランスであればメカクロムやフィジャック・アエロなどの例

がある。また、欧州企業が北米、メキシコ、あるいは、ブラジルに生産拠点を確保するのは、顧客であるボーイングの近くで生産する必要性と利点があるからに他ならない。この傾向は、コロナ禍を経て、強まることはあっても弱まることはないだろう。コロナ禍で様々な部品、物資、製品の欧州への輸入が滞ったことは記憶に新しい。欧州連合は、以前から電子部品等の域内調達を拡大するためのイニシアティブを進めているが、半導体を含め、電子機器の域内調達率を引き上げるための対策は、コロナ禍以後、さらに強化されている。航空機分野でも、電子機器だけでなく、複合材関係、材料関係を中心に調達が滞るケースが続いており、部品、材料の安定的確保のため、可能な限り、欧州あるいはその周辺で調達できる環境を確保しようとするものとみられる。

2)、3) のデュアルソーシングであるが、これは、以前からサプライチェーンの円滑な機能を確保するためにエアバスが採用してきた手法の一つである。2015年には、SCOPE+計画の枠組みで、A320NEOプログラムのサプライヤーに対しコスト10%の削減を求めると同時に、デュアルソーシングを強化する方針についても通達したと報道されている。⁹⁴ 上に引用したエアバスヘリコプターの経営幹部の発言にみられるように、コロナ禍以後、デュアルソーシングの方針は、さらに強化される傾向にある。オフセット契約など遠隔地で生産すべき部品やコンポーネントもあり、また、地政学的リスクが排除できない地域での調達も少なくない。このような場合には、デュアルソーシングは、サプライチェーンの脆弱性を緩和する有効な手法となる。

最後に 4) の地政学的リスクの大きい地域からの調達の見直しであるが、公式に具体的な地域が想定されていることが明らかにされているわけではない。しかし米中の貿易紛争、台湾海峡をめぐる危機の懸念の高まりを考えれば、おそらく誰もが想定するのは中国であろう。もちろん、エアバスはFALを中国天津に持っており、A320ファミリーの組み立てを行っている。エアバスやサフランが拠点を持つことから、2010年代には多くの欧州企業が先を競って中国への進出を決めた。中国は最も重要な顧客の一つであり、2014年にエアバスは、2020年までに中国からの調達を2倍の10億ドルに引き上げる方針を公表するという状況にあった。⁹⁵ しかし、コロナ禍を経て、今、その時代からは様相が大きく変わった。2020年前後を境に、欧州航空機産業では、COMACに代表される中国の航空機産業は真剣に対峙しなければならない競争相手としての位置づけを明確に行うようになった。エアバスの本拠地トゥールーズの地元自治体オクシタニ州は、2010年代まで経済交流推進の優先国の一つとしていた中国を外し、米国、ドイツ、日本を優先国と定義するようになった。コロナ禍から立ち上がり、事業の多角化のため、企業買収を進める航空機産業部品メーカーは、欧州、北米、ブラジルの生産拠点の買収を行うケースが数多く報道されるが、中国への進出を新たに決めたというケースは限定的である。もちろん中国は巨大

⁹⁴ Reuters, “Exclusive: Airbus tells A320 suppliers to cut prices 10 percent”, 2015/9/25

⁹⁵ Reuters, “AIRSHOW-Airbus aims to double sourcing volumes from China to \$1 bln by 2020”, 2014/11/11

な市場であり、依然としてエアバスの重要な顧客である。将来の成長予想でも中国の航空需要はまだ相当拡大するものとみられている。エアバスも当然、今後、米中の緊張が緩和されれば、ビジネスをさらに発展させるインセンティブがあることは疑いがない。しかし現状は、エアバスもそのサプライヤーも大規模な新規投資などは控え、地政学的状況の推移を注視しながら、現在のビジネスを継続していくという立場をとるものと思われる。

エアバスのサービス市場戦略

コロナ禍以後に改めて確認された航空機産業の重要な傾向として、**MRO** などのサービス市場の安定性と将来性がある。

確かにコロナ禍以前から、ボーイング、エアバスともに航空機メンテナンス、乗員・スタッフの育成・研修、キャビン改装や、旅客機の輸送機への改造、フライトデータの解析サービスなどのサービス市場への関心を高めている。ボーイングは、2018年から37年までの20年間でサービス市場は8兆8,000億ドルに達し、新規の航空機市場の6兆3,000億ドルを大きく上回ると見込んでいる。2017年にはサービス部門を一つにまとめる組織改編（Boeing Global Services）で、同市場への事業拡大に向けた体制を整備した。サービス市場の定義が異なるが、エアバスも同様にサービス市場の拡大を予想し、20年間で4兆6000億ドルのマーケットであるとして、航行データ解析サービス事業、Skywise（スカイワイズ）を2017年に立ち上げるなど、事業拡大への意欲を示していた。⁹⁶

しかし、コロナ禍を経て、新規航空機市場が伸びるものの、疫病、地政学的事象の発生など、市場の脆弱性、変動性によるリスクがこれまで以上に意識され、**MRO** ほかサービス市場への関心がこれまで以上に高まっている。航空機産業が再び一時的にせよ、激しい生産水準の低下を経験することは十分にあり得る。今回、**MRO** やサービス市場は比較的、安定的に推移することが明確になり、経営基盤を安定化させるために重要な要素となることを改めて認識させられることとなった。航空機の買い控えが起きるときは整備需要が増大する。エネルギーコストの上昇による不況に陥った場合などは、既存の航空機を軽量化・効率化するためのレトロフィット需要が生まれるということである。

現在、エアバスは、サービス市場は、20年後までに年率約3.7%の伸びを記録するとみており、2041年には、2,320億ドル（うち**MRO**は1,890億ドルの市場に成長するとの見通しを立てている。⁹⁷ **MRO** 分野では、エアバスは2022年1月に航空機**MRO**・リサイクルセンターを中国に開

⁹⁶ Les Echos, “Airbus et Boeing ouvrent un nouveau front sur les services”, 2018/7/18

⁹⁷ Les Echos, “Airbus voit grossir avec envie le marché des services aéronautiques”, 2022/10/6

設する方針を明らかにし、2023 年末の事業開始を目指している。⁹⁸ エアバスグループは、エアバス拠点都市のトゥールーズや近郊の Tarbe（タルブ）、また、スペインにも同様の施設を保有しており、今後、成長が見込まれる中国市場でも拠点を築いた形である。さらに、2022 年 3 月にはエアバスはパイロット養成学校をフランス中西部の Angoulême（アングレム）に設立している。⁹⁹

サービス市場の中でも MRO 市場の占める割合が大きいですが、ボーイングやエアバスが MRO で本格的に事業拡大を進めるとすれば、ルフトハンザ・テクニクや Air France-KLM engineering et maintenance（エールフランス・KLM エンジニアリング&メンテナンス）など、既存のプレイヤーと厳しい競争を迫られることになる。しかし、近年、航空機の顧客としてリース会社の割合が高まっており、メンテナンスなどのノウハウが全くないリース会社に対し、メンテナンス等もパッケージで販売するという新しいビジネスモデルも検討されているという。両社は OEM 企業としての優位性を生かし、今後、漸進的に MRO 市場のシェアを拡大していこうとするものと思われる。

第 3 節 Tier1、Tier2 サプライヤーへの影響とその戦略

第 2 節でみたように、エアバスの中長期的な目的は、「強い財務力を備え、生産力の増強、あるいは市場の乱高下にも自律的に対応できるような強靱な企業体質を持つ、比較的少数からなるサプライヤーで構成される、効率的な生産性の高いサプライチェーンの構築を目指すこと。」である。それでは、Tier1、Tier2 サプライヤーは、現状をどのように認識し、今後、どのような戦略を取ろうとしているのかについて、まとめてみたい。

Tier 1 及び Tier 2 企業への影響

コロナ禍以後のエアバスの現状認識でみたように、エアバスは、Tier 1、Tier2 企業に対しては、戦略的パートナー、通常パートナーを問わず、財務力を強化し、増産ニーズにも柔軟に対応できるとともに、市場の悪化があっても、経営基盤が損なわれることなく、強靱なサプライチェーンの一端として機能し続けることができる強い企業を求めている。構造部品の国別の市場により温度差はあるが、エアバスは、コロナ禍以降、政府系投資ファンドや、サプライチェーンの関連企業と協力し、中小構造部品メーカーを中心に、企業合併、企業再編を着実かつ強力に進めている段階にある。これは、サプライチェーンの強靱化というだけでなく、エアバスの競争力を高

⁹⁸ Actu Aero, “Airbus et ses filiales ouvrent un centre MRO et de recyclage d’avions en Chine”m 2022/1/18

⁹⁹ Les Echos, 2022/10/6, Op.cit.

めるために、サプライチェーン全体で、デジタル化、オートメーション化、ロボット化などを進め、コスト削減を実現するという目的もある。この動きの必然的な結果は、サプライヤー規模の拡大とサプライヤー数のさらなる絞り込みである。

Tier 1 及び Tier 2 企業の戦略

このような中、既存のエアバス Tier1、Tier2 サプライヤーが取り得るべき戦略としては、主に二つの選択肢がある。企業再編に向けた動きの中心として、水平統合あるいは垂直統合により、企業再編のイニシアティブを取り、エアバスとそのサプライチェーンがサプライヤーに要請する価格競争力、技術力、開発力、多角的な経営力を獲得し、規模を拡大して主要な構造部品メーカーとして生き残る道が一つ、そして、適切な時期に企業売却を行うという道が一つである。例えば、フランス構造部品メーカーのラテコエールは、コロナ禍直後の事業報告書で明確に、構造部品メーカーの再編の柱として主体的に取り組む、との立場を表明している。¹⁰⁰

もちろん、部品、コンポーネントのセグメントによっては、現在の企業規模を維持しながら、エアバスのサプライチェーンでビジネスを継続できる企業もあるだろう。報告 3 で ACE キャピタル代表ラウド氏を引用したように、2021 年「（フランスの構造部品メーカーは）、いずれ 2 社から 3 社に集約されるというような方向性に向かっている」というのはいささか大げさかもしれない。しかし、コロナ禍前からの航空機産業で流行の格言、すなわち「Get better, Get bigger or Get bought out」（改善せよ、規模拡大せよ、さもなければ買収されよ）という言葉は、今日さらに現実性を持って、航空機産業の中小企業経営者の耳に響いているはずである。

報告 3 で紹介したとおり、2022 年にメカクロームと合併を決めたワイアグループの CEO、Pascal FARELLA(パスカル・ファレラ)は、地元紙のインタビューに答え「数年前まで、200 万ユーロ規模の入札がよくあった。今では 500 万ユーロ、1,000 万ユーロ、1,500 万ユーロといった水準に変わってきている。この規模は今後も拡大するだろう。これからは、新世代の航空機は、もっと規模が大きく、強靱で、どこの国でもすぐに生産拠点を建設できるような、もっと効率的な生産が可能な企業に依拠して製造されることになる。これからのサプライヤーは、3 億から 10 億ユーロの（売上）規模を確保していることだろう」と発言している。

合併再編以外に、Tier1、Tier2 企業が追及すべき戦略の方向性としては次のようにまとめることができる。

1. デジタル化、オートメーション化、ロボット化など生産体制の近代化、効率化を進める。
2. 生産の一部をベストコスト国に移管し、生産効率を高める。
3. 経営の多角化を進め、企業経営の安定化を図る。

¹⁰⁰ Latécoère, Document d'enregistrement universel 2021

4. 以上の方向性を追求することで、企業の財務力を向上させる。

まず、1) であるが、エアバスが求めるように、デジタル化などへの投資を拡大し、価格競争力、技術力の向上にさらに努力していく必要がある。デジタル化等投資は、サプライチェーン全体で機能してその効果を最大化できる側面があり、いずれのサプライヤーも何らかの形で、デジタル化、オートメーション化、ロボット化を進めていく必要がある。2) のベストコスト地域への生産の移管も、サプライチェーンのコスト削減要請に対応するために重要なオプションの一つになるだろう。ただし、北アフリカや東欧も含め、他国で生産することの地政学的リスク、為替リスクなども無視できず、また、強靱なサプライチェーンを構築するという目的に反するリスクもある。それぞれの得失を踏まえて、海外生産拡大の検討がなされていくことになる。3) の多角化経営であるが、市場の混乱などに柔軟に対応できる安定的な経営を追求する上では、多角経営がこれまで以上に重要な要素になっている。エアバスだけでなく、他の OEM 企業との取引を拡大、また、同一 OEM の中でも複数の航空機プログラムにバランスよく事業参加し、また軍事部門や他の産業部門でのビジネスを確保、拡大することが重要である。日本で見られるような OEM 企業と下請けの密な関係は、別の形でかつての欧州の航空機産業でも存在した。しかし、今日、エアバスは、他の OEM 企業とも積極的に事業を行い、企業経営が安定しているサプライヤーをむしろ望んでいる。それは、エアバスの子会社であるエアバス・アトランティックが北米市場で積極的にビジネスを拡大しようとしているのと同じである。最後の 4) の財務力の向上については、強靱なサプライチェーンの一端を構成するために欠くべからざる条件であり、また、1) 、2) 、3) の方針を追求する上での必要条件でもあるといえるだろう。

技術フォーカス（水素航空機）

2035年までに"グリーン"航空機？

近年、炭素ガス排出による地球温暖化の懸念など、環境問題がメディアで活発に取り上げられ、政治化する傾向が強まっている。このような中、投資ファンドの戦略や CSR 方針について、軍事分野や CO2 排出に強く関連する分野への融資が制限される傾向が強まり、航空機業界は資金調達に次第に難しくなりつつあった。このような中、業界として環境負荷を抑制するための取り組みをさらに強化する必要性が高まっていた。

果たして大気中の放射物質による温暖化に関して航空機ほどの程度の影響を与えているのか

航空輸送は、技術進歩により、1990年以降、乗客1人あたりのCO2排出量を半減させているが、その間、世界の輸送量は4倍に増えている。ジェット機やエンジンが新世代に更新されるたびに、燃料効率は少しずつ進歩しているものの、排出量は絶対量として増え続けており、現在、人間由来のCO2排出量の2~3%を占めているといわれている。また、エアバスとボーイングによれば、コロナの影響などで世界的な成長予測に下方修正が加えられたものの、今後、航空輸送の需要は年間約3%を超える成長が見込まれ、2045年までに輸送量は現在の水準と比較し、さらに2倍になると予測している。従って、燃料効率の向上にも関わらず、航空機市場の拡大に伴い、CO2排出量は今後も増加する見込みである。

また、航空輸送に関連する温室効果は、CO2だけではない。ジェットエンジンは、NO_x、粉塵、大量の水を大気上層部に放出し、放射強制力の大きい巻雲を形成させる。この人工的につくられた飛行機雲は、夕方から夜にかけて非常に広い範囲で赤外線を地球に反射し、温暖化に影響を与えているとされる。大気中に残留する二酸化炭素と異なり、この雲は短期間に消滅するため、その影響は蓄積される性質のものではないが、航空関連の温室効果の半分以上を占めるという説もある。2020年に日本の空域で行われた調査では、2%のフライトがこの雲の80%の原因となっており、フライトを迂回させることでこの影響を大幅に削減できるという研究結果も出されている。これは、欧州連合の航空関連環境対策プロジェクト CleanSky 2 で扱われているテーマの一つでもある。

グリーン航空機への動きは、コロナ禍で加速化された

2020年3月に中国で始まった感染症の拡大が欧州に波及し、航空機の生産が一時、ほぼ完全にストップ、年ベースの生産水準も10年前の水準にまで低下した。航空機メーカーやサプライヤーは、売上高も大幅に減少。業界のキャッシュフローが著しく枯渇し、またリストラを余儀なくされたこともあり、開発技術や人材の維持が危ぶまれた。欧州各国は、政府保証付き融資、資本投入、公的債務繰り延べなど、それぞれ自国の航空機産業支援策を実施している。フランスの

場合、政府保証付き緊急融資（PGE）では、2020年3月から5月半ばの間に、約15億ユーロの融資が航空機産業各社に対して実行されている。また、一時帰休の制度を大幅に緩和し、企業の固定費負担の軽減を図っており、2020年5月1日現在で、航空機産業の従業員110,000人が一時帰休の対象となった。これは、航空機業界で直接、間接に雇用される従業員数の約1/3に相当する。

一方、長期的な産業支援策として活用されたのが、持続可能な開発目標（SDGS）の概念であり、航空産業、航空機産業においては、グリーン航空機推進の名のもとに、欧州及び各国レベルで、支援制度が整備された。ドイツ政府は2020年に90億ユーロでルフトハンザの20%の株式を取得する一方、エネルギー効率の高い航空機に更新するという名目で10億ユーロの支援を行っている。また、ドイツは、同年6月、グリーン水素関連産業の育成を支援するとして70億ユーロの支援策を取りまとめた。一方、フランスでは、2020年6月に、航空機産業を救うための非常事態宣言をすべき状況であるとし、エールフランス航空への70億ユーロの補助金と合わせ、合計150億ユーロの航空産業への支援策をまとめた。この支援策には、中小企業向けの10億ユーロの投資基金、また、3億ユーロのデジタル化・ロボット化支援補助金などが含まれているほか、グリーン航空機開発のために15億ユーロの補助金を予定している。なお、これら各国の支援策の一部は、欧州連合の資金も充当されている。欧州連合は、コロナ禍は緊急事態であるとして欧州中央銀行からの直接融資を実現し、各国産業への支援策を取りまとめた。この支援策の条件となったのがSDGSであり、環境対策としての産業補助金に対し、欧州の資金を供給する仕組みを構築したのである。

フランス政府は、2020年6月の航空機産業支援策を明らかにした際、航空機産業のグリーン化のための方向性として、中距離機、リージョナル機/ゼネラルアビエーション/ドローン、ヘリコプター、ビジネスジェット、航空機運用の5つの分野でイノベーションを進める方針を示した。いずれの分野でも2030年から35年にかけて革新的ブレークスルーを実現することを謳っており、我々の主たる関心の対象の一つである中距離機では、ベストセラーのA320の後継機として、2033年から35年をめどに燃費を30%改善、SAFの利用を100%可能にし、かつ水素エネルギー使用の実現を図るというロードマップを提示している。また、リージョナル機では、さらに野心的で、超省エネルギーの電気ハイブリッドあるいは水素航空機について2030年をめどに実現するとしている。

フランスの経済・財務大臣 Bruno Le Maire（ブリュノ・ル・メール）は、2020年9月8日の水素関連産業の開発支援策「水素計画」の発表に際し、「2035年までに、水素で動く航空機、つまりカーボンニュートラルな航空機の実現に成功しなければならない」と言い切り、「私たち

は何を求めているのか。エアバスは（ボーイングとコマックに）¹⁰¹先行するのか、それとも後塵を拝するのか。2035年にカーボンニュートラルな航空機を製造するのか、それとも、今後数十年でおそらく最も活況を呈するであろうこの市場をアメリカや中国に任せるのか」と語り、政府による水素航空機支援スキームを正当化した。¹⁰²

この政府のグリーン航空機の開発支援策を受け、エアバスは2020年9月にCO2「ゼロエミッション」の次世代民間航空機の開発計画を発表。ターボプロップ機、ターボファン機、ウィングボディ機3種類のモデルを紹介したが、この3モデルはすべて液体水素燃料の使用を想定している。まず、ターボプロップ機はリージョナル旅客機で乗客数は100人、飛行距離は1,852km（1000 n.m.）である。次に、ターボファン型機は、A220やA320に近い狭胴型で乗客数は120-200人、飛行距離は3,704km（2000 n.m.）としている。最後に、ウィングボディ型機は魚のエイに似た三角形に近い形状をしており、水素燃料の貯蔵タンクを内蔵した主翼が機首からなだらかに左右へと広がっている。乗客数は200人以下、飛行距離は3,704km（2000 n.m.）が想定されている。計画では、今後、技術的検討を進め、2026～27年頃に開発の可否を検討、2028年に開発プログラムをスタートさせ、3035年に就航させるものとしている。

CO2排出量の削減については、2021年10月に、国際航空運送協会（IATA）が2050年までに航空運送の排出量をネットゼロにすることを目標に掲げた。これは航空業界全体を巻き込む、長期的かつ非常に野心的な目標でもある。交通量を法的に制限しないのであれば、航空業界の脱炭素化目標の達成には、技術的なブレークスルーが欠かせない。

グリーン航空機の実情

グリーン航空機の開発計画が発表されてから2年半が経つが、現在のプロジェクトの進行状況はどうか。昨今の各分野における技術関連の報道や関係企業の動向から判断するに、2020年にフランス政府が提示したロードマップは、現実の動きと少なからず乖離があるように思われる。例えば、2022年12月に開催されたアエロマート・トゥールーズにおいて、リージョナル機を製造するエアバスグループのATR主催のカンファレンスが開催されたが、ATRの事業説明の中に一切、水素や電気化に関する言及はなく、会場から水素燃料に関する質疑があったが、これに対しても中身のある回答はなされなかった。¹⁰³もちろん、コロナ禍における将来に対する不安と懸念が支配する空気の中で、また、巨額の企業支援を行う必要性に迫られる状況にあり、これまでの産業界や学界の共通認識を超えたロードマップを提示することは、政治的な対応としてあり得

¹⁰¹ 著者注

¹⁰² L'Usine nouvelle, " Quand Bruno le Maire secoue le secteur aéronautique pour développer un avion à hydrogène ", 2022/9/8

¹⁰³ アエロマート・トゥールーズ 2022, 2022/12/1

るべきことなのであろう。ただし現実には、欧州の航空機産業に関わる事業者、業界の観察者の立場からは、いわゆる政治的な発言やマーケティング面や対投資家への配慮を含んだ発表と、現実的な事業情報とを明確に見極めていく必要がある。

本稿では、水素燃料を含む燃料研究開発の取り組み、すなわち、現在、運用されている認証基準や技術に近い技術でジェットエンジンを使い続けることを目指す取り組みについて考察する。すなわちケロシンの持つ長所と同じ長所を持ち、ケロシンの短所のない航空機用燃料の開発、航空機で輸送される低質量・低容量の効率的なエネルギー源でありながら、燃焼生成物が CO₂ の排出源とならない次世代の燃料である。

現在、2つの補完的な取り組みが検討されている。すなわち、

- 化石燃料を使わず生成された水素燃料の燃焼による推進システムの研究開発への取り組み。
- ケロシンを SAF に置き換える取り組み。

なぜ現在、ケロシンが航空燃料として利用されているのか

ケロシンは、体積・質量ともにエネルギーが濃縮されており、常温液体で 1 リットルあたり 10kwh のエネルギーを含有、重量単位あたりでは 11.9kw/kg となり、エネルギー効率が非常に高い。ケロシンは-47°Cで凍結し、着火点は 38°Cと比較的高い。従って、比較的に安全に輸送することができる利点がある。

ケロシンの何が問題なのか

ケロシンの燃焼で温室効果ガスが発生する。ケロシンは製油所で石油を分解して得られる化石由来の燃料である。NO_x を発生させない完全燃焼の場合、2分子のケロシンが空気と反応し、20分子の CO₂ と 22分子の水が蒸気の形で発生する。この2種類の分子は大気中で非常に大きな放射効果を持ち、CO₂ は水蒸気と異なり、大気中に残留することになる。

ケロシンは 1kg あたり 3.83kg の CO₂ を排出する。最新の航空機で乗客 1 人が 100km 飛行するごとに 3 リットルのケロシンを消費し、10,800km 走行するごとに 1 トンの炭素を放出する。2050 年を目標とするパリ協定に基づく年間排出量目標は、一人当たり年間 CO₂ 換算で 2 トンまでとなっている。すなわち、現代の航空機で東京-ニューヨーク間を往復すると、地球住民の「炭素排出の権利」があるとすれば、これを 24 時間の飛行ですべて消費することになる。

なぜケロシンの代替として水素に関心が集まるのか

水素は燃焼しても、温暖化の原因とされる CO₂ や SO₂ は発生せず、酸素と水蒸気のほか、わずかな窒素酸化物が発生するのみとされている。また、単位質量あたりのエネルギーが従来のジェット燃料の約 2.8 倍となっており、重量の大きいペイロードを輸送することができる。また地球上に豊富に存在する物質である。

水素は、航空機の燃料として 2 種類の使い方が想定される。一つは、大型飛行機でケロシンの代わりに水素を燃料として使用する方法。もう一つは、小型機でジェットエンジンの代わりに水素燃料電池、特に固体高分子形燃料電池を使用する方法である。

水素を新しい航空機燃料として利用を進めるための障壁は何か

水素の製造工程は、大きなエネルギーを消費する。水素は、一次エネルギー源ではなく、エネルギー媒体である。エネルギーは他の物質に依存しており、現在、約 96%は、天然ガス、石油、石炭を利用して製造されている。すなわち、化石燃料に依存した水素燃料は、製造過程で温室効果ガスを排出していることから、一般的な定義によるクリーンエネルギーとはいえない。

現在、水電解装置を利用し製造された「グリーン水素燃料」の生産割合は、わずか数パーセントに過ぎず、主に高純度の水素を必要とする電子機器関連産業向けに使用されている。グリーン水素の製造は、現在の技術水準では、化石燃料を使用した水素燃料の製造と比較し、約 3 倍のコストがかかるとされる。

さらにフランスのエネルギー政策の一端を担う環境移行庁（Agence de la transition écologique : ADEME）によると、その製造から燃焼エンジンで生成される駆動エネルギーまでのプロセスを考慮に入れた場合、水素チェーン全体の効率性は、その製造に消費されるグリーンエネルギーの約 25%と推定される。¹⁰⁴ すなわち、投入されたグリーンエネルギーの 3/4 は、クリーンな水素燃料を製造する過程で失われるということを意味する。いわゆる風力、太陽光などのクリーンとされるエネルギー源も、装置材料のレアアース、製造過程、リサイクルの必要など、環境負荷がある。これらの「グリーンエネルギー」を直接使用する場合と比べて、いわゆる「グリーン水素燃料」の場合は、エネルギー 1 単位あたり、風力や太陽光エネルギーの 4 倍の環境負荷が生じているということになる。

以上の水素燃料の製造に関する障壁を解消、低減させるためには、製造技術などで新たなイノベーションが必要である。現在、水素化マグネシウムを利用した水素貯蔵技術などが欧米や日本などでも研究されているなど、様々な研究、開発イニシアティブがある。

グリーン水素の生産とコストの問題がイノベーションで解決すれば、航空機への利用は可能か

航空機への水素利用にはいくつかの制約が残る。まず、水素燃料の貯蔵と運搬の問題である。水素は気体の状態では非常に体積が大きく、1 リットルあたりのエネルギー密度が非常に低い。使えるようにするには、-253°Cで液化するか、極端に厚い容器で圧縮し、1 リットルあたりのエネルギー密度を高くする必要があるが、ケロシンのエネルギー密度には及ばない。1 リットルの

¹⁰⁴ ADEME, "Rendement de la chaîne hydrogène, cas du "Power to H2 to Power"", Luc BODINEAU / Pierre SACHER, Fiche Technique, 2020 年 1 月

ケロシンで 9kWh のエネルギーが得られるが、水素で同じエネルギーを得るためには、地上の気圧で 3,000 リットルの水素が必要となり、700 気圧の場合は、7 リットルの水素、また、-253°C の液体の場合は 4 リットルの水素が必要となる。また、水素の状態を変化させ、また生成物を輸送するには、すべて大きなエネルギーを消費することから、エネルギー効率にも大きく影響することになる。

改良型内燃航空機のエンジンで水素を使用することは原理的に可能であるが、水素を-253°Cの液体水素タンクで貯蔵した場合、同じエネルギーでケロシンとの比較において 4 倍の容積が必要になり、現在の航空機の構造では乗客のための空間の大部分を占有してしまうことになる。また、どのような新しい構造の飛行機を設計したとしても、長距離用航空機では、物理的に水素エンジンを使用して乗客を運ぶことは困難である。

700 気圧の高圧貯蔵の場合、それを格納するのに必要なタンクの重量は大きい。水素燃料車が、700 気圧の水素で 40 リットルのガソリン車と同じ航続距離を得るためには、240kg のタンクの使用が必要になる。A350 型機では、最大 165,000 リットルの燃料を機内に貯蔵しなければならないことを考えたとき、そのようなタンクを搭載することは現実的ではない。

さらには、飛行中の安全性はもちろん、空港のインフラの面でも障害がある。水素は爆発性も高く、安全確保のためのコストも考慮に入れなければならない。宇宙ロケット向けの水素燃料タンクに注入する際は安全基準で 2km 以内に近づかないという基準があるという。また、水素は 350 気圧（現在のタンクローリー）でケロシンの 13 分の 1 のエネルギー密度しかなく、大量の水素を無理のないコストで陸上輸送することは困難である。そのため、コンプレッサーを備えたガスネットワークや液化装置を利用する必要があり、これらインフラの設置や維持に大きなコストがかかる。

エアバスの水素燃料による航空機開発 «ZERO's»について、その進捗状況は

2020 年に 3 機の水素燃料航空機について 3 モデルを発表したのち、2021 年 6 月には、エアバスのナントとブレーメンの開発拠点で、水素燃料タンクの開発を行うことを発表。2022 年 2 月には、水素燃料推進システムの開発を進めるために、GE とサフランの合弁である CFM International (CFM インターナショナル) と提携を行った。この水素燃料推進システムは、規模の大きい燃料タンクを積む必要から A380 をデモンストレーションとして使用する予定で、飛行は 2026 年を予定している。4 つの燃料タンクに貯蔵される約 500kg の液体水素は、リスクの大きい離着陸では使用せず、巡航時に利用される。CFM インターナショナルは、燃焼室の改造、キャブレションや制御システムの改造を担当し、ターボジェットエンジンは、現行の A320NEO やボーイング 737Max に搭載されている GE 製のパスポートが採用される予定。この小型ターボジェットエンジンは後部胴体上部に搭載され、他のエンジンやその気流から離れた場所でデータを収集することになる。一連のテストでは、推進システム全体のパフォーマンスだけ

でなく、水素燃料ではジェット燃料の3倍発生するといわれる、温暖化効果のある飛行機雲の発生、Noxの排出など、環境への影響も調査対象になる。

また、最新の動きとしては、2022年11月に、エアバスは、燃料電池エンジンの自社開発計画を明らかにした。燃料電池の場合は、Noxの排出がなく、飛行機雲による温暖化効果も発生しない。ただし、出力不足は課題で、100人乗員の航行距離1,800km程度のリージョナル機であれば、エンジン4台のそれぞれに2MWの出力が必要であるが、デモンストレーターで搭載できるのは1MWになる見込みである。今後、2026~27年にかけて、水素燃料による推進システム及び燃料電池エンジンの二つの技術オプションがテストされる予定であるが、技術担当者はハイブリッドのオプションも残されているとしている。

また、エアバスは、水素関連エコシステムの構築の重要性も認識しており、同社とサフランの合弁企業、宇宙開発で水素推進システム、運搬貯蔵システムの実績を持つArianeGroup（アリアングループ）と提携し、水素燃料供給のためのインフラ開発で協力することが決まっている。そのほか、化学大手のエアリキッド、ADPグループ、エアフランス、また、空港運営のVinci Airport（ヴァンシ・エアポート）などとの提携も行われている。

水素燃料による航空機開発について、航空機メーカーの現在の立場はどのようなものか

2020年にル・メール経済・財務大臣が、2035年にも水素航空機を実現するという意気込みを語って以降、この目標に対する楽観的な発言は少ない。政府主導で進められたこの水素航空機のプロジェクトについて、エアバスCEOのギョーム・フォーリーは、2021年6月のパリエアショーで「2020年、すべてがうまくいかない時期に、何らかの道を示す必要があった。当時は、（エアバスとしても）政府に研究開発への協力を要請しており、なぜ公金が必要であるのか説明するのは当然である。具体的には、エアバス社は2025年までの5年間で、この水素航空機に必要な技術を成熟させ、2025年から2027年にかけて、プログラムの立ち上げ、つまり航空機の生産開始前にサプライヤーを決定し、財務スキームを決定する段階を経ることになる。運航開始を2035年とする予定は変わらない。」と発言している。¹⁰⁵ 政府が示したロードマップに基づいた産業化スケジュールを繰り返すものの、水素航空機計画が政治的な決定であることを強調する発言である。

また、2022年2月にトゥールーズで開催された、航空機の脱炭素化に関する欧州サミットにあたり、フランスのメディアのインタビューで、水素航空機は本当に有望な手段かと問われ、フォーリーは「水素は空気中にCO₂を排出しないので、最もエキサイティングであるが、最も難しいことでもある。水素は22世紀あるいは23世紀といった長期的な解決策であるが、我々は、

¹⁰⁵ La Tribune, “L’Avion à hydrogène prendra du temps“, affirme le patron d’Airbus“, 2021/6/21

2035 年に向けて準備できるよう望んでいるということである。」と発言。¹⁰⁶ 2035 年という目標年次に変更がないことは明らかにするものの「水素が 22 世紀あるいは 23 世紀」の技術と言及することによって、言質を取られない範囲でその近未来における実現可能性について、極めて困難、あるいは非現実的であるというメッセージを伝えているようにも理解できる。

また、CO₂ 排出の中心を占める長距離路線用航空機で水素航空機を実現することの不可能性について質問を受け、「短期的にはその通りである。航空機に水素を搭載するには大きなスペースが必要であるため、100 年前に航空が短距離路線から始まったように、私たちも短距離路線から始める。技術や航空機の進化に伴い、中・長距離路線の航空機を水素で動くものに置き換える日が来ることは十分に考えられる。しかし、現在、長距離便の脱炭素化を可能にするのは SAF である」と回答し、水素航空機のプロジェクトの方向性は否定しないまでも、現時点での優先順位は SAF であることを吐露している。その上で、脱炭素化のために航空機関連で、今、貢献できる事項として 3 点を挙げている。すなわち、

1. 新世代航空機に更新

新世代の飛行機は燃料効率が旧世代と比べてかなり改善しており、新世代機に更新することで炭素排出削減に貢献できる。現在運用中の機種のうち、新世代機は 13%に過ぎず、これらを更新する余地は大きい。

2. 航空各社による SAF 利用の拡大

新世代飛行機は、ボーイング機もエアバス機も、すべて 50%の SAF 利用の認証を得ている。SAF であれば CO₂ の排出を最大 90%削減できる。現在、SAF の生産量が少なく、コストが高いことから、航空会社による利用は低調であるが、SAF をもっと広範に利用できる状況を作ることが必要である。

3. 航空管制の最適化

また、航空機の交通管制を最適化することにより、試算によれば約 10%の CO₂ 排出を削減できるという。エアバスなど機体メーカーができることは限られているが、関係当局の取り組みが求められる。

さらにエアバス CEO の最近の発言では、水素航空機を 2035 年に実現するという目標の非現実性を感じさせるメッセージをより明確な形で示している。2022 年 11 月に開かれたエアバスの年次フォーラムにおいて、水素航空機のプロジェクトの成否はエアバスだけに依存するのではないことを強調。フォーリーは「2027、28 年にエアバスとして水素航空機プログラムの開始を決断する時期に来た時、2035 年の就航に向けて、よい条件で水素が利用できるか否か確実でない

¹⁰⁶ 20 minutes, “Airbus est déterminé à « transformer l’aviation pour que le carbone ne soit plus un sujet“, 2022/2/3

状況であれば、それはプログラムの開始を遅らせる理由になりうる。それは、航空機の技術が成熟していてもである。」と語っている。¹⁰⁷これを報道するローカル紙ラ・トリビュンは、「エアバス、エコシステムが整わなければ、水素航空機プログラムを延期すると脅す」と題して報じている。うがった見方をすれば、水素航空機実現のためにはエアバスの外部的要因である水素エネルギーエコシステムが欠かせないことを強調し、数年後に迫った水素航空機プログラムの開始を決定すべき時期を前に、プロジェクト延期決定のための下準備をしているようにも感じられる。

水素航空機を開発すべき立場のエアバスではなく、有力サプライヤーはより明確に水素航空機について、これまで否定的な立場を明らかにしてきた。エンジンメーカーであり、幅広い分野にわたりエアバスの戦略的パートナーでもあるサフランがその例である。同社の社長、オリビエ・アンドリエス氏は、2022年11月8日、経済紙が主催したビジネスカンファレンスにおいて、「水素について夢を見るのはいい。おそらく長期的には興味深い解決策なのだろう。しかし、2050年の炭素ガス排出ネットゼロの目標を達成するのであれば、今から対応を始めるのでなければならない。」と発言。航空機産業のCO₂排出の過半数以上は長距離便が生み出していることに言及した上で、技術的制約から（フランス政府がロードマップに描くような）¹⁰⁸A320の後継機として水素使用はあり得ず、将来的に実現可能性があるのは1,000kmから1,500kmまでのリージョナル機向けまでであるとの見解を表明。また、水素航空機開発の技術的困難に加え、同氏がとりわけ強調したのは、水素燃料に必要な空港を含めた全体としてのインフラ整備の困難さであり、その整備には数千億ユーロが必要との見込みを示し、水素燃料に依拠した航空機産業の将来について、その非現実性を指摘している。

もちろん、水素燃料による推進システムなどの研究は着実に継続されることが望ましいし、今後も様々な研究機関や企業がこの分野におけるイノベーションを追求していくことになるだろう。しかし、社会への実装に向けて、政治が大規模に介入し、サポートを行うのであれば、研究開発の発展段階や、技術的、社会的制約の程度を十分に考慮し、それぞれの時点におけるその技術の実現可能性、また、実質的な環境負荷の緩和への貢献度の見通しに応じたものとすべきであろう。

現実的選択としての SAF

IATAは、2021年10月の年次総会で、2050年までに航空機の炭素ガスネットゼロの実現を目指す決議を採択しているが、この中で加盟航空会社のコミットメントを求めている。具体的には、2050年に削減しなければならない炭素ガスの量を1.8ギガトンとし、この目標を実現する手段として、SAFの導入で65%、水素燃料などで13%、その他、エンジン・機体の効率化などで3%、

¹⁰⁷ La Tribune, “Airbus menace de reporter son avion à hydrogène si l'écosystème ne s'adapte pas“, 2022/11/30

¹⁰⁸ 著者注

残りは炭素吸収、貯蔵する技術で11%、カーボン・オフセットで8%としている。¹⁰⁹ IATA にとっては、カーボンニュートラルの切り札は、SAF である。

注意を要するのは、SAF には公式の定義はなく、炭素ガス排出の観点からも様々な種類の SAF が存在する。当初、持続可能な航空燃料 (SAF) の認証制度を最初に立ち上げたのは、欧州の NGO「持続可能なバイオマテリアルに関する円卓会議」(RSB) である。しかし、このルールには、農地について、食料ではなくバイオ燃料用の作物耕作地への転作を促すという大きな欠点があったため、国連機関である ICAO は、合成燃料の生産に農地を使用することを制限し、代わりに CO₂ 排出基準の要求を引き下げた。ICAO が炭素ガス排出取引の枠組みとして 2016 年に採用した CORSIA (国際航空のためのカーボンオフセットおよび削減スキーム) でこれらの基準が定められている。温暖化ガス排出量削減における SAF のメリットを最大化し、食料価格や土地利用変化への悪影響を最小化するという目的のもと、当初、6 種の SAF が認定され、現在 9 種となっている。また、ICAO は低炭素航空燃料という概念も定めている。対象となる燃料は、現時点で従来のジェット燃料を最大 50% 混合できる技術認定基準を満たすことに加え、化石燃料に比べて温室効果ガスを 10% 以上削減できることが条件とされている。この温室効果ガス削減効果の基準値はかなり低い水準で、RSB の認証で最低 50% の削減を義務付けられていたのと比較すると、かなり緩和された基準になっている。

欧州連合は、SAF の利用を促すため、欧州規則 ReFuelEU Aviation を 2022 年 6 月に採択し、SAF の利用義務を段階的に引き上げていくことを決めている。この規則によれば、まず、2025 年 1 月 1 日以降、乗客数 100 万人以上の欧州の全空港の航空燃料供給者は、ジェット燃料に持続可能な燃料を最低 2% 組み込むことが義務づけられている。以後、2030 年 1 月 1 日にはこの基準が 5% に引き上げられ、このうち水素と CO₂ 回収による合成燃料は 0.7% を含む必要があると決められている。続いて 2035 年には 20% (合成燃料 5% を含む)、2040 年に 32%、2045 年に 38%、2050 年に 63% (合成燃料 28% を含む) と段階を追って引き上げられていく仕組みになっている。これら強制力を伴う対策により、EU は、2021 年 7 月に発表された欧州グリーンディールで定めているように、1990 年を基準に 2030 年までに交通関連の環境負荷を 55% 削減し、2050 年にカーボンネットゼロを目指すという目標の達成に近づきたい考えである。

現状、例えばフランスでは SAF はほとんど生産されていないが、今回の規則採択により、欧州における SAF の生産が拡大し、現在の数十万トンから 2050 年には 1 億 6 千万トンまで生産量の引き上げを目指している。例えば、サフランは、自らの次世代エンジンプログラムに加え、SAF こそが現実的に、航空機業界を脱炭素へと導くものとの立場を取ってきた。2022 年 1 月に同社は、カーボンニュートラルの合成燃料を生産するドイツのスタートアップ、Ineratec (イネ

¹⁰⁹ IATA, プレスリリース No.66, “Net-Zero Carbon Emissions by 2050”, 2021/10/4

ラテック)への投資を決めている。このほかにも、SAF関連で様々なプロジェクトが立ち上がっており、投資も拡大傾向にある。

一方、生産量のみならず、価格の引き下げも重要な課題である。現在、SAFは、従来のジェットエンジン燃料のケロシンと比較し、約4~5倍の価格とされている。¹¹⁰一般的に燃料コストはチケット価格の約30%を占めるといわれており、SAFの価格を引き下げするため、SAF関連産業の補助制度が検討されているものの、価格転嫁は避けられない。SAFの大幅な導入は、航空チケット価格の高騰につながることは確かである。¹¹¹

今後の展望

以上、脱炭素化という政治的アジェンダを背景にした、水素燃料による推進システム、また、ケロシンの代替燃料としてのSAFの現状と今後の見通しについて検討してきた。結論として、まず、残念ながら水素は当面の間、輸送分野における「未来のエネルギー」であり続けることになりそうである。航空分野では、エネルギー密度が高く、使用量が十分に確保でき、安全な燃料が必要である。航空機に水素燃料を使用する場合、水素燃料の物質属性に由来するタンクの質量の問題、貯蔵、運搬方法の問題、安全性の問題、サプライチェーンの問題など様々な課題があるが、これに加え、大量の水蒸気放出による雲形成とそれに伴う温室効果への影響などの問題も大きいようである。これらの制約を乗り越える技術的ブレークスルーがあったとしても、それは視野に入る近未来に実現するものではなく、また、コストや全体としての環境負荷を考えたとき、必ずしも最適な技術的選択とはならない。

今後も経済全体としては、何らかの形で一定程度、化石燃料に依存せざるを得ない。ならば、全体として脱炭素化を加速するためには、最も効率的に実施できる部門を優先とし、当面はそこにリソースを費やすことが適切ではないか。例えば、陸上交通であれば、水素燃料の700気圧による貯蔵に必要なタンクの重量とその容積が、輸送量と安全性の両方の観点からの問題性が相対的に小さく、水素燃料技術は比較的簡便に、すなわち低コストで利用が可能になる見込みが高い。少なくとも、航空業界における導入ほど複雑ではないというべきであろう。

2050年のネット・ゼロという目標を水素航空機で達成しようとするれば、2035年には、現在のジェットエンジンの推進方式を置き換え始めることが必要である。通常の航空機の開発サイクルを考えても全く現実ではない。ましてや、すでに述べた理由から、CO₂排出の過半数を占める長距離航空機については、水素航空機導入の可能性は全く見通しが無い。有体に言えば、水素航空

¹¹⁰ SAFの「グリーン度」によって、対ケロシンの価格水準は2~10倍の幅があるが、中央値としては、4~5倍の幅がある。

¹¹¹ Les Echos, "L'Europe remplacera progressivement le kérosène des avions par des carburants verts", 2022/6/2

機をめぐるプロジェクトは「グリーン航空機」に向けた取り組みを社会に受容させるための旗印であり、特に、航空機産業、航空産業が直面している困難をサポートするための資金を企業に供給するのが目的である。燃料電池や水素エンジンを組み込んだバッテリー電気やハイブリッド推進は、中期的には軽飛行機向けに利用が考えられる。しかし、軽飛行機は全体の炭素ガス排出量の1%程度である。すなわち、航空機産業のカーボンニュートラルにはほとんど寄与しない。

実際のところ、昨今の企業の動きや企業幹部の発言によれば、コロナ禍から徐々に回復し、成長を取り戻し始めた航空分野は、必ずしも革新的なイノベーションを志向しているのではない。新世代の航空機を定期的にローンチしつつ、漸進的な改善を追求するという、航空機産業の通常ビジネスのアプローチが基本となっている。つまり、炭素素材の導入による機体の軽量化、次世代エンジンの開発、部分的な電化の推進などで、これまで続けてきた燃料効率の着実な改善を今後も進めていくという対応である。

この意味で、現在のエンジン技術をそのまま、あるいは今後、一定の改善を実現することで事足りる SAF は、2050 年までに航空分野の炭素ガス排出を大幅に減らすためにエアバスとボーイングが真剣に検討している唯一の現実的な道だと思われる。IATA の目標でも、SAF は、2050 年の脱炭素化に向け、65% の寄与度が想定されている。しかし重要なのは、SAF の課題は、航空分野だけでなく、エネルギー分野全体に関連しているということだ。代替燃料を求めるのは航空分野だけではない。SAF を含めた代替燃料生産が産業として自立し、市場経済の中で各産業分野のニーズに応えられるだけの生産力とこれを供給するサプライチェーンの仕組みを整える必要がある。

すなわち、SAF においてもコストの問題、全体としての環境負荷の問題など、生産技術や産業技術の面で様々なイノベーションを必要としている。例えば、SAF には水素をもとにした合成燃料も存在する。この水素由来の SAF には、経済合理性の問題と合わせ、全体としての環境負荷の課題がある。すなわち、"グリーン"なジェット燃料の製造に使用される風力や太陽光由来などのグリーンエネルギーが、その製造工程の不効率さのために、その多くが浪費されてしまうという問題を抱えている。化石燃料を大量に消費する工場や、暖房、陸上重量輸送など、航空機向けよりも障壁の少ない用途に、直接、水素などのクリーンエネルギーを使用することで、社会全体としての脱炭素化のレベルを引き上げることの方が理にかなっているように思われる。トヨタ生産方式でいわれるように、個別最適の総和は必ずしも全体最適にはならないのである。

今後、航空機産業及び航空産業の枠を超え、エネルギーの産業利用全体を俯瞰し、技術的な合理性、経済性を確保できる形で、SAF の製造技術や社会実装において着実にイノベーションがもたらされることが期待される。

サプライチェーン・インタビュー（水素燃料推進システム開発）

匿名希望 フランス国立研究所勤務

Q：水素燃料推進システムの開発に携わる研究機関で勤務とのことだが、担当部署の組織について概要を教えてほしい。

A：研究機関の従業員数は約2,000人で、所属する部門には正社員180人、博士課程の学生60人がある。パリ周辺地域と地方都市の2拠点がある。エネルギー分野のマルチフィジックスに関連するテーマを扱っている。特に、燃料や合成燃料、航空推進やラムジェット推進を含むエンジンの研究に取り組んでいる。研究活動は、実験、モデリング、デジタルシミュレーションなどをカバーしている。また、煤煙の生成、航空機からの排出ガスとその大気中での変化など、航空が環境に与える影響を研究し、飛行機雲（コントレール）の現象の理解を深めようとしている。

Q：「グリーン航空機」の枠組みにおけるミッションは何か。

私たちのユニットでは、グリーン航空機の中で、二水素燃焼による推進に関連する4つの主要な研究分野をしている。すなわち、

- 水素インジェクター開発
- 燃焼室内燃焼での飛行フェーズと燃焼温度によるNox生成の問題
- 代替燃料（SAF）
- 飛行機雲（コントレール）

このうち水素インジェクター開発は、3年プロジェクトで最終段階にある。これらのプロジェクトでは、主にDGAC（民間航空総局）とフランス大手エンジンメーカーを窓口としている。

Q：コロナ禍の際、2035年の水素航空機の市場投入を目指すと発表されたが、当時、どのように感じたか。

A：当時、研究チームや航空界全体が必要としたのは、ビジョンと長期的なチャレンジであった。この発表は好意的に受け止められていた。これで弾みがつき、未開拓の部分が多い幅広い分野の研究テーマに参加できることをうれしく思っている。水素エンジンの製造ノウハウはあるが、このタイプの推進力を利用した全く新しい航空機を構想し開発するという制約を考えると、この挑戦は非常に厳しいものがある。水素は液体でケロシンの4倍の体積があり、マイナス253℃に保たなければならないため、物理的制約から、水素航空機は長距離飛行向けでないことはすでに確定している。

しかし、その前にやらなければならないのは、水素利用の大気汚染への影響を測定し、確定させることである。これは温室効果のみならず、他の環境負荷など、本当の影響を事実に基づいて評価するために必要だ。標高 9,000m 以上の高層大気で水素を燃焼させることで大量の水蒸気が発生し、温室効果に大きな影響を与える可能性がある。また、同時に発生する NO_x は、温室効果をもたらすだけでなく、オゾン層にも影響を与える。この非常に複雑な問題については、現段階では答えよりも疑問の方が多い。

Q：この研究にあたり、特別な資金を得たのか、それとも研究機関の通常の業務の範囲内でこれらの研究が行われているのか。

A：このプロジェクトにより、我々の資金力がアップした。このプロジェクトは以前、部門全体で年間 700 万ユーロであったが、2021 年には 2500 万ユーロまで引き上げられた。このようなプロジェクトは通常、3 年から 4 年の期間で資金が提供される。インジェクターに関する最初のプロジェクトの枠組みで、オクシタニ州の FEDER（欧州地方開発基金：Le fonds européen de développement régional）、民間航空総局、DGA（軍需総局）、そして研究機関の予算を通じて 400 万ユーロの資金を得ている。これにより、この分野のすべてのテストベンチを近代化することができた。

Q：グリーン航空機に関する 4 つの研究分野で、最初の成功例を教えてください。また苦労している点はなにか？

A：良い点としては、我々には水素とロケットエンジンに関する非常に高度な専門知識があり、最初の課題はインジェクターに関するもので、この段階は終わりを迎えようとしている。インジェクターについては自信がある。現在、水素による燃焼火炎の安定化の問題に直面しており、制御が難しいフラッシュバック効果の課題もあるが、こうしたテーマについても研究は順調に進んでいる。

現在のところ、複雑な問題は、燃焼室内で発生する NO_x、特にエンジンが最も出力を必要とする際の水素の燃焼により高温で発生する NO_x に関連すること、そしてコントロールの問題である。この課題は極めて複雑で、多くの疑問が残っている。

メディアでのアナウンスメント効果とは別の次元で、我々はまだ、ケロシン、とりわけ合成燃料と比較し、純粹に環境基準に基づいて水素が最良の候補であるかどうか実証できる状況にない。

また、私たちの部署の別の関連チームでは、必要となる多層タンクとその容積、機体の重量をあまり増やさずにマイナス 253°C で 24 時間常に維持する方法などを研究している。我々はこれ

らの研究が応用されることを確信している。ただし、2035年までに水素燃焼式の航空機の市場導入が可能かどうか現段階では断言はできない。

Q: その他、「グリーン航空機」関連での取り組みはあるのか。

A: 我々は、合成燃料を製造するためのプロセスも研究している。このプロジェクトは、軍備総局から資金支援を受けている。また、環境移行庁が実施した合成燃料製造技術開発の入札にも応じ、航空機のエンジンに100%のSAFを組み込める燃料の研究・開発を目指した（現在の認証では50%）。しかし環境移行庁の専門家は、100%のSAFは、燃焼の際の副産物が残留するため不可能だと説明し、われわれの研究プロジェクトは採択されなかった。この課題について、我々の専門家と検討を重ねることができず、プロジェクトに参加できなかったことは遺憾である。

Q: 自動車や陸上輸送の分野では、長年にわたって水素エネルギーや内燃機関での燃焼に取り組んでおり、改良型ディーゼルエンジンを使った具体的な応用例がある。これらの産業の研究者との交流はあるか。

A: 残念ながら非公式なものを除いては、私の知る限りではない。ただ、ガスタービン燃焼室での超高温燃焼とそれに伴うNOxの発生が、我々にとって主要な課題の一つである。自動車向けの内燃機関では到達熱量が同じでなく、課題が同じでないということもあるかもしれない。しかし、交流が有意義な可能性もあり、もっと取り組んでよいかもしれない。

最後に：日本航空機産業とエアバス・サプライチェーンの可能性

以上、エアバスの調達戦略の今後の見通しを見極めるため、エアバス・サプライチェーンが誕生し、成長と変化を遂げるその軌跡をたどり、その背景にある構造と論理に焦点を当てつつ、構造部品部門を中心に欧州 4 カ国の企業動向を追い、その上で、エアバスのサプライチェーンに対する問題意識と戦略について考察を行った。本報告で取り扱うテーマは多岐にわたり、相互に関連するものもあれば、独立して理解すべきものもある。それぞれ読者が関心のあるテーマを参考にし、日々の事業推進、経営に生かして頂ける部分があれば幸いである。

様々な専門性を持つ数万にのぼる企業から構成されるエアバスのサプライチェーンを理解するというのは壮大なチャレンジである。また担当者の能力や経験不足から、不十分な記述になっているところも少なくないものと思う。本報告の執筆にあたっては、航空機業界で働く人々とのインタビューや意見交換、また、専門誌などメディアでの報道に依拠しつつも、その解釈や、資料の理解に予断がないとはいえない。記述にミスや、不正確、不明瞭な点があるとすれば、それは一切、執筆担当者が責めを負うところである。あらかじめお詫びを申し上げたい。特定のテーマに関心がある読者は、引用元の公式データ、資料、メディア報道などを参照していただければありがたい。

ここでは結論に代え、本報告での議論を踏まえて、日本航空機産業とエアバス・サプライチェーンとの関係性の可能性について、若干の考察を加えたい。まず、エアバスと日本との関係の現状を確認した上で、エアバスのサプライチェーンが日本の航空機産業に示唆することをまとめ、最後に、今後考えられるエアバス・サプライチェーンと日本企業のあり得るべき関係性について、いくつかの視点を提示することとする。

エアバスと日本の関係の現状

まず、エアバスの顧客としての日本企業は、JAL、ANA などの航空各社は近年、エアバス機の導入を進めている。ANA の場合、A321NEO の導入を進めており、2019 年には 19 機を発注、また、A380 について 3 機の購入実績もある。また、JAL は、A350XWB をフラッグシップ機として採用を決めており、2013 年に確定 31 機とオプション 25 機を合わせて 56 機を発注、順次、納機を受けている。2022 年 10 月末現在で、ANA の保有機数 217 機のうち 40 機がエアバス機、JAL 保有機 178 機のうち 16 機（納機済み A350XWB）となっている。日本市場は、以前はボーイング一辺倒であり、エアバスの最後のフロンティアと呼ばれた時期もあったが、状況は大きく変わった。また、LCC では、エアバスのシェアは現在約 80%とされる。近年ではリース会社への販売シェアが増加しているが、日系で SMBC Aviation Capital が 2019 年に A320 を 65 機発注するという実績もある。

一方、日本企業のエアバス・サプライチェーンでの存在感は低い。日本企業のサプライヤーがボーイングのサプライチェーンで重要な地位を占めており、B787 で構造部の 35%を受注、約 150 の日本企業から総額年 50 億ドルの調達を行われているのと大きく異なる。2020 年に取得したエアバスからの情報によると、A320、A350XWB プログラムを中心に総勢 100 社がエアバスのサプライチェーンに貢献しているということであるが、構造部品関係では、ジャムコが小型部品、ミネベアミツミがベアリングを供給しているなどの例はあるものの、極めて限定的である。高付加価値の部品、部材では、東レ、三菱化学、帝人、日機装が複合材で存在感を示しているほか、神戸製鋼所や日本製鉄などがチタン合金の部材や部品を提供している。このほか装備品関係では、タイヤのブリヂストン、フライト・エンターテイメントシステムのパナソニック、コックピットディスプレイの横河電機、RFID タグの富士通などがある。データは取得できなかったが、エアバスの日本からの調達は、ボーイングの調達金額から遠く及ばない水準であることは間違いない。日本は、エアバス機の購入を次第に増やしている一方で、日本企業のエアバスサプライヤーの進出はまだ不十分である。日本の航空機産業のボーイングのサプライチェーンでの重要な役割を考えれば、日本企業がもっとエアバス関連の事業に参画することはあっていいし、むしろ、あるべき姿であるだろう。

エアバス・サプライチェーンについて知るべきこと

次に、エアバス・サプライチェーンに参加する日本企業、あるいは今後参加を希望する日本企業で、特に構造部品メーカーが知っておくべき、欧州航空機産業の実情は、次のようにまとめることができる。すなわち、

1. 構造的に低い生産性、低利益率に苦しんでいる。
2. コロナ禍を経て、経営状況がかなり悪化している。
3. エアバス等の主導で企業再編の真ただ中であり、戦略的方向性の判断を迫られている。
4. デジタル化、自動化投資等を行い、企業規模の拡大、多角経営、海外生産の拡大などを進める必要がある。

まず、1) のエアバス・サプライチェーンの生産性、利益率についてであるが、そもそもエアバスの利益率は比較的到低く、例年、5~8%程度の利益を出しているに過ぎない。一方、例えば米国の装備品関係のメガサプライヤーなどは、おおむね 10%台の利益率を確保している。また、サフランなどもほぼ常にエアバスの利益率を上回り、10%前後の利益率を得ている。航空機産業の利益率番付を取ると装備品関係を中心に上位 20 位はすべて装備品メーカーであるという年もある。一方で構造部品は総じて利益率が低く、多くの Tier1、Tier2 サプライヤーは 5%あるいはこれを下回る利益率しかない状況である。2) のコロナ禍の苦境はすでに上に述べたとおりで、この状況を踏まえ、現在、3) 多くの構造部品メーカーの Tier1、Tier2 サプライヤーは、主体的あるいは受動的に企業再編のプロセスの只中にある。そして、4) 今後、これらのサプライヤーは、

エアバス及びエアバスのサプライチェーンの要請にこたえるため、デジタル投資、自動化投資を行い、また、海外生産を拡大するなどして、コスト削減、規模の拡大を追求し、財務基盤を強化して、強靱なエアバス・サプライチェーンの一端にふさわしい地位を築いていかなければならない、ということである。

参入を目指す日本企業がやるべきこと

では、日本企業とエアバス・サプライチェーンの現状を踏まえ、今後、さらに関係性を深めていくことがあり得るとすれば、それはどのような方向性を持つのであろうか。当然、エアバスやエアバスのTier1企業と取引を希望する日本企業は、原則として、欧州のエアバスTier1、Tier2と同じ土俵で競争しなければならない。すなわち、上に述べた、欧州企業が経験している様々な制約やニーズについて、自らの課題として受け止め、同様の企業戦略を追求していくことが必要になる。すなわち、日本企業は少なくとも次のような方針を自ら採用する必要がある。

1. 強靱なサプライチェーンの一端を担う企業として規模拡大に努める。
2. 多角経営を進め、複数のOEM企業との取引、軍需産業参入などを検討する。
3. エアバスなどの拠点近くで生産が可能か検討する。

まず、1)の強靱なサプライチェーンの一端として規模拡大であるが、上に見たとおり、欧州企業はこれまで以上に規模拡大、そしてその効果としての財務状況の改善を求められている。エアバスは、そのサプライチェーンへの参入を目指す日本企業にも当然、同じ要求を持っている。次に、2)の多角経営であるが、エアバスは単独の顧客に大きく依存するサプライヤーは望まない。むしろ自らの競争相手であっても、複数のOEM企業と取引があり、また、軍需産業や他の産業分野でも事業を展開している方が、経営の安定性が担保されると考える。3)のエアバスの拠点近くでの生産であるが、以前からエアバスのサプライヤーはエアバスあるいは拠点近くで生産することを求められてきた。エアバス子会社がチュニジア、モロッコに進出し、これに伴い、そのサプライヤーもこれらの国に拠点を設けることを求められてきた経過がある。コロナ禍を経て、強靱なサプライチェーンを維持、発展させる上で、地理的距離が大きいことはなおさら不利な材料であり、これを解消するためにエアバスやエアバス子会社、また、Tier1企業が持っている生産拠点でビジネスを行うことが可能か検討してみるべきだろう。その場所は、欧州であり、米国であり、アジアにも複数、対象になりうる地域がある。

以上、企業がエアバス・サプライチェーンに参入するために必要な取り組み方針について考察した。しかし、現実的には、個別企業の努力では難しい面も大きい。多くの構造部品メーカーの日本企業にとって、欧州航空機産業に参入するのは、コロナ禍以前よりもまして障壁が高くなっているものと思われる。

日本の航空機産業による包括的アプローチへ

このような中、効率的、効果的に、日本の航空機産業がエアバスのサプライチェーンに加わることを可能にするためには、包括的なアプローチが必要なものと思われる。これには二つの方向性が考えられるだろう。すなわち

1. オフセット契約の推進
2. 欧州企業の買収あるいは資本参加

まず、1) オフセット契約の推進である。上にみたとおり、日本の航空各社は確実にエアバス機の購入を増やしつつある。エアバス、日本の関係官庁、そして日本企業が調整を進め、オフセット契約、あるいは類似の取引スキームを検討することで、日系航空会社の発注機数に応じて、一定の事業を日本の航空機産業にもたらすことを追求してみてもどうか。オフセット契約は、エアバスは世界中のほとんどあらゆる地域で採用している営業ツールであり、エアバスの調達方針の重要な柱の一つである。オフセット担当の部門があり、関係国官庁、企業との調整、法的枠組みの設定、社内調整などを行っている。もちろん、様々な国際商取引に関する取り決めなどで制約があるケースも想定されるが、米国や韓国なども「実質的」にオフセット契約で取引を行っているのであり、日本がそれをできない理由は見いだせない。

次に、2) 欧州企業の買収あるいは資本参加は、どの企業にでもできることではないが、エアバス・サプライチェーンで事業を行う状況を速やかに作り出すためには、最も有効なアプローチである。本報告でもみたように、実際、多くの欧州企業が、新規で OEM 企業のサプライチェーンにおいて事業を得ようとする際に頻繁に採用する手法は、すでに当該サプライチェーンに組み込まれている企業や、企業の生産拠点の買収である。また、経営権を取ることによる様々な負担を回避しつつ事業参加するのであれば、少数株主として資本参加し、業務提携を行うというやり方も考えられる。報告 3 でみたように、現在、欧州では、航空機産業、とりわけ構造部品部門で企業の合併再編が活発に進んでいる。多くの企業が生産量の増加に対応するため、エアバスからのコスト削減、開発費の負担、財務基盤強化の要求にこたえるため、投資や提携の可能性を求めている。その一方で、航空機産業は総じて投資資金不足に悩んでいる。フランスのケースであれば、民間資本投資が十分でないため、政府系ファンドやエアバスが他の OEM 企業と協力してファンドを形成し、投資を進めているという状況にある。米国のスピリットも、欧州の生産拠点を買収し、また、資本投下を行って工場建設を行い、エアバス・サプライチェーンに本格的に参加するようになった。

エアバス・サプライチェーンに組み込まれている欧州企業は、すでに部品・コンポーネントの認証を受けており、取引経験も豊富である。生産プロセス、品質管理、認証など、日本から新規参入した場合には新たに獲得しなければならない技術やノウハウを持っており、買収あるいは資本参加により、日本企業はこれらの重要なリソースを短期間で手に入れることができる。また、

少数株主として資本参加の場合は、当該欧州企業と手を組み、既存のワークパッケージをもとに、補完的なイノベーションを提案しつつ、共同で事業を進めることが望ましい。そのアプローチ例としては、

例 1：設計の見直しや複合材の使用など新しい設計方法を提案し、部品・コンポーネントの軽量化を実現し、コストを削減させる。設計コストは、単価引き上げあるいは部品の販売数量の増大で償却させ、利益を拡大する。

例 2：欧州の構造部品を扱う Tier2 サプライヤーのワークパッケージについて、これを補完する部品やシステム、例えば、油圧や電気制御系の部品などを提案することで、より上のレベルである Tier1 サプライヤーのワークパッケージの事業の獲得を目指す。

最後に、この報告を準備するにあたり、インタビューや意見交換を行った現地の航空機産業関係者から、日本企業との関係における障壁として最も頻繁に言及があったのは、日本の製品の価格が高いというイメージ、遠隔地であることと並んで、ビジネス文化の違いが指摘された。日本ではデフレが長く続いたこともあり、特に円安局面などもあり、日本の生産コストが高いというのはもはや神話でしかない。しかし、欧州産業界の人間にもこのイメージは根強く残っており、欧州と日本の情報ギャップというものも強く感じさせられる一例である。また、地理的距離の問題は事実であるが、ビジネス文化の問題についても、トヨタのフランス工場は、近年、高いパフォーマンスを見せており、日本のビジネス文化が障害であったとしてもそれは十分に乗り越えることができるものであることは証明されている。しかし、欧州の航空機産業関係者が文化的距離を感じていることは事実なのであろう。これらの障害を取り除くために有効で、貴重な時間を買うことができる手法は、資本参加であり、JV の設立であり、あるいは欧州企業の買収である。

もちろん日本からエアバスの入札に参加することで事業を獲得することは不可能でないし、これまでも成功例がないわけではない。しかし、本報告で述べたように、欧州の中小の構造部品メーカーでさえ、コロナ禍以後、エアバス・サプライチェーンに残るために合併再編を受け入れ、海外生産を行い、規模の拡大や多角経営を行うことで、財務基盤を確固たるものにすることが求められるなど、経営環境は厳しい。サプライチェーンの強靱化が叫ばれている今日、地理的に離れた日本のサプライヤーをマネジメントするコスト（生産管理、品質管理、企業の財務基盤、経営状況のモニター）を考えたとき、そのハードルは極めて高い。このことから、日本企業がエアバス・サプライチェーンに参入するためには、今日、日本企業が現地で投資あるいは資本参加することが最も合理的で効果的なアプローチであると思われる。

強調するが、欧州航空機産業は、業界再編を進めなければならないと、また、漸進的であれ様々なイノベーションのための開発投資が必要であり、企業への投資資金を欲している。幸いにも欧州航空機産業の関係者は、日本の製造業の優秀さについて好意的な印象を持っている。また地政学

的にも、東アジアの国としては、欧州企業がパートナーとして選択しやすい条件を日本はほぼ満たしている。特にフランスの場合は日本との相補性が高い。

本報告書の締めくくりのこの文章を書いているときに、三菱重工が正式に三菱スペースジェットのプロジェクトを廃止するというニュースを聞いた。事実上、分かっていたことだが、公式発表を聞くのは、何らかの形で日本の航空機産業に関わってきた者としては悲しいニュースである。欧州の航空機メーカーの幹部は、航空機産業は国家主権（Sovereignty）に関わる産業である、という言葉をししばしば口にする。もちろん航空機産業が盛んでない国は世界にいくらでもあるが、日本が世界に一定の影響力を持ち、国際社会において名誉ある地位を得たいとするのであれば、航空機産業を育成、成長させることは欠かせない。

欧州の航空機産業拠点都市に住んで 10 年以上、多くの航空機産業関係者と接する機会があった。今回の三菱スペースジェットのプロジェクト廃止のニュースを聞いても、具体的な根拠は示せないが、日本で航空機産業が成立し得ないはずがなく、日本人にできないはずはないという思いを強くする。航空機プロジェクトは長期のプロジェクトである。10 年後、数十年後になるのかもしれないが、日本の航空機産業には、是非、捲土重来を期してほしい。そのためにも、航空機産業の火をともし続け、技術と力を蓄えつつ前に進んでほしい。

今こそ、日本の航空機産業として攻めの経営が求められているというべきである。

その一歩は、欧州航空機産業への本格的な参入であると思えてならない。

令和 5 年 2 月 7 日 トゥールーズにて

◆「2022年度現地ニーズ等活用促進事業レポート」

読後アンケートにご協力ください◆

本レポートは皆様の海外ビジネスにお役に立ちましたでしょうか？
今後の参考のため、[役立ち度アンケート](#)にご協力頂けましたら幸いです。

(所要時間：約1分)

