

航空宇宙産業のサプライチェーン における国際共同事業

—B 787 の開発・生産分担方式とリスク—

洪 性 奉

はじめに

- I 現代の航空宇宙産業の構造と特徴
 - II 航空機産業における国際共同事業
 - III ボーイングの新たなサプライチェーン
 - IV 開発・生産分担方式によるリスク
- おわりに

はじめに

近年、世界の航空宇宙産業における開発・生産方式の変化が顕著に現れている。1960年代に入ってからジェット旅客機が大衆化され、航空輸送市場の需要が急激に伸びた。その後、航空機はより大型化・高速化され、完成機メーカーにとっては大型旅客機の開発・製造による費用の負担が過重になり、国際共同開発を徹底的に求めるようになった。さらに、航空機の航法・制御システムの高度化、革新的な機体素材の導入により、航空機産業における国際共同事業はより拡大し、加速された。

2016年現在、世界航空宇宙産業における総売上高は6744億ドル（前年比2.4%増）に達しており、民需部門（3231億ドル、同2.7%）及び軍需部門（3513億ドル、同2.1%）とともに成長してきた。そのうち、アメリカ航空宇宙産業の売上高は4076億ドル（同2.4%）で、ヨーロッパの2077億ドル（同3.7%）と比較して約2倍の規模となっている¹。

しかし、アメリカ航空宇宙産業における生産性が増加する一方で、航空宇宙産業の製造部門における労働者数は1990年の約80万人から、2012年の約50万人へと大幅に減少していることが明らかになった。全米航空宇宙産業協会の調査報告書（2013）では、「一般的なアメリカ製造業の衰退とともに、航空宇宙産業の国内製造も同様に減少した」

1 Lineberger, R. S. and Hussain, A., *2017 Global Aerospace and Defense Sector Financial Performance Study*, Deloitte Touche Tohmatsu, 2017, pp.31-33 参照。

ことを指摘しており²、その理由として、90年代以降のアメリカ航空宇宙産業における国際的な再編及び、国際共同事業による大きな構造変化が生じたと思われる。

したがって、本稿では、航空宇宙産業における世界的な再編とサプライチェーンの開発・生産分担方式における国際共同事業の変化について、ボーイング (Boeing) とそのサプライチェーン及びサブサプライヤーとの関係を明らかにし、その背景について検討を行う。さらに、ボーイングの B 787 開発・生産プログラムを取り上げ、B 787 のサプライチェーンにおける国際分業の主な事例と、その SCM (Supply Chain Management) の構造を明確にする。最後に、航空機産業の開発・生産分担方式における技術的ナリスク、サプライヤーのリスク、プロセスのリスク、マネジメントのリスク、労働のリスク、需要 (顧客) リスクについて考察する。

I 現代の航空宇宙産業の構造と特徴

1. 航空宇宙産業の範囲

航空産業は大きく2つに分かれている。航空機の製造と販売、メンテナンスに関わる航空機産業と交通・物流など航空輸送によって経済的価値を生み出す航空輸送産業である³。航空機産業は完成機の製造と販売、部品、エンジン、MRO (Maintenance, Repair & Overhaul, 以下 MRO と略記) 産業⁴、広い意味で航空保険・金融、空港施設・整備の関連産業、さらに宇宙及び防衛産業まで捉えることができる。

しかし、現代の航空機産業 (Aircraft Industry) は航空機と密接に関連がある宇宙産業 (Space Industry) と防衛産業 (Defense Industry) を含めた航空宇宙産業 (Aerospace Industry) として扱われている。したがって、航空宇宙産業は航空機産業、宇宙産業、防衛産業、以上3つに大別することができる (第1図参照)。

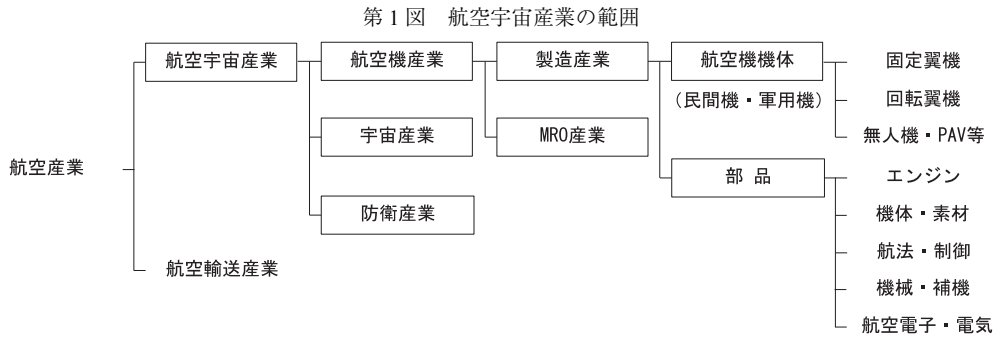
航空宇宙産業における航空機産業は航空機製造産業と MRO 産業に分けられ、航空機や関連部品を製造、加工、組立、再生、改造、修理などを行う事業を意味する。航空機機体の分野は民間機と軍用機に大別され、それぞれ飛行方式によって固定翼機、回転翼機、そして、無人機や PAV (Personal Air Vehicle) などの未来型飛行システムなどに分けられる⁵。航空機の部品産業は、機体構造システム、エンジンなどの推進システム、コ

2 Materna, R., Mansfield, R. E. and Deck, F. W., *Aerospace Industry Report Third Edition Facts, Figures & Outlook for the Aviation and Aerospace Manufacturing Industry*, Aerospace Industries Association of America and Embry-Riddle Aeronautical University, 2013, p.7.

3 東京大学航空イノベーション研究会・鈴木真二・岡野まさ子編『現代航空論：技術から産業・政策まで』東京大学出版社、2012年、47ページ参照。

4 MRO (Maintenance, Repair & Overhaul) 産業：運営されている航空機に関して最適な状態に維持・修理・オーバーホールや補給品を供給するアフターサービス産業。

5 Hurr, H., *Aerospace Industry*, Myungkyungsa, Seoul, 2015, pp.12-13.



注：「航空機機体」は民間機と軍用機に大別される。

出所：Hurr, H., *Aerospace Industry*, Seoul, 2015, p.4, Figure 1-1, p.13, Figure 1-2.

ントロールシステム、サブアセンブリー、アビオニクスシステム、その他部品などの分野で構成されている。

宇宙産業は、宇宙飛行体、関連部品類又は素材類を製造、加工、組立、再生、改造、修理などを行う事業と、宇宙飛行体を運営する事業全体を意味する。航空機産業と同様付加価値が高く、典型的な知識集約型の産業であり、発達の経緯からも、研究開発的な要素を強く有する技術志向の産業でもある⁶。宇宙産業は、衛星分野、発射体分野、宇宙探査分野を含む宇宙開発（Development）と、放送・通信データ、科学実験・気象観測、衛星航法、軍事諜報、宇宙旅行などの宇宙活用（Utilization）分野から構成される⁷。

防衛産業は、国家の安全保障を目的に行われる軍事物資を研究・開発及び、技術の獲得、生産、整備などの活動に参加する企業及び機関から成る。航空宇宙産業における防衛産業は、民需用の航空機産業と比べ、その製品が直接消費に繋がらないことと、経済の再生産メカニズムに還流しない産業部門として批判を受ける場合が多い⁸。しかし、軍需産業は需要面から見れば、政府予算に依存度は高いものの、いったん量産が決まれば性能強化の要求などに対応することにより、比較的安定した収益を得ることができ⁹る。

2. 航空機技術の相互波及効果

航空機は数十万点から数百万点にもおよぶ部品・部材から構成される高度な知識基盤産業である。前述のように、航空機産業は、機械、電気・電子、IT、制御、素材などあらゆる分野の高度な技術が要求される産業である。航空機産業は代表的なシステムインテグレーション産業として、他の産業への技術の波及効果が非常に高い¹⁰。

6 日本工業宇宙工業会編『日本の航空宇宙工業』日本工業宇宙工業会、2016年、117ページ参照。

7 Hurr, *op. cit.*, p.14.

8 プリタニカ・オンライン・ジャパンのホームページ、Britannica Online Japan 2017「軍需産業」<http://japan.eb.com/rg/article-03507500>（2017年12月28日閲覧）参照。

9 日本工業宇宙工業会、前掲書、18ページ参照。

10 Hurr, *op. cit.*, p.5.

第1表 民生分野に展開されている航空機製品技術と手法の代表事例

航空機製品技術の代表事例	
【航空機分野】	【民生分野】
プロペラ	→ 風力発電, 低騒音ファンなど
ターボジェット・エンジン	→ 産業用, 船舶用ガスタービン
ディスクブレーキ	→ 自動車, オートバイ, 高速鉄道車両
アンチスキッドシステム	→ 自動車用 ABS など
GPS 航行システム	→ カーナビゲーションシステムなど
衝突防止システム	→ 自動車
フライトデータ・レコーダー	→ ドライブレコーダー
ヘッドアップ・ディスプレイ	→ 自動車, 医療など
タイヤ圧力検知システム	→ 自動車
ステアバイワイヤ	→ 自動車
フライト・シミュレーター	→ 各種シミュレーター
セミ・モノコック構造	→ 自動車, 新幹線, ハウスメーカー製建物
ハニカム・サンドイッチ構造	→ 建築, 新幹線, ボートなど

航空機用手法の代表事例	
【航空機分野】	【民生分野】
風洞試験	→ 自動車, 鉄道車両, 長大橋, 高層ビル
CFD (数値流体力学)	→ 自動車, 鉄道車両, 長大橋, 高層ビル
FEM (有限要素法)	→ 構造設計品のあらゆる製品
信頼性解析	→ 自動車, 電機・電子, 電子力, 産業機械など
損傷許容設計	→ LNG 運搬船タンク, 原子力プラントなど
耐衝撃性設計	→ 自動車
CAD・CAM 用 CATIA	→ 自動車, 電気機器, 組立機器など
精密鋳造法	→ 自動車, 電子機器, 計測器, 医療機器など
5軸制御加工	→ 自動車, 産業機械, 金型など
難削材加工法	→ チタン合金, 耐熱鋼, 低合金鋼部品
特殊接合法《注》	→ 自動車, 鉄道車両, 電気機器など

注：電子ビーム溶接, 摩擦攪拌溶接, ろう付けなど。

出所：中村洋明『航空機産業のすべて』日本経済新聞出版社, 2012年, 141ページ, 表3-1と153ページ, 表3-3。

近年, 持続的な技術開発に伴い, 航空機分野から民生分野へ取り入れている技術は多岐にわたっていて, 主に素材産業, 自動車・車両産業, 機械・エネルギー産業, 情報・エレクトロニクス産業, 住宅産業, レジャー産業などの分野に展開されている¹¹。第1表は, 航空機の製品技術と航空機用手法が, それぞれ民生分野に展開されている代表事例を示したもので, 特に衝突防止システムやフライトデータ・レコーダー, ヘッドアップ・ディスプレイ, ステアバイワイヤなどの製品技術は, 多くの自動車製品に取り組みられるようになり, 自動車の安全性と経済性の向上に貢献している。1970年から1988年までの期間を対象にした日本工業宇宙工業会の2000年度の調査結果によれば, 日本の航空機産業の技術波及による生産誘発額は103兆円で, 自動車産業の技術波及による生産誘発額の34兆円と比較し, 約3倍の生産誘発効果があることが報告されている¹²。

11 日本工業宇宙工業会, 前掲書, 10ページ。

12 中村洋明『航空機産業のすべて』日本経済新聞出版社, 2012年, 139ページ参照。

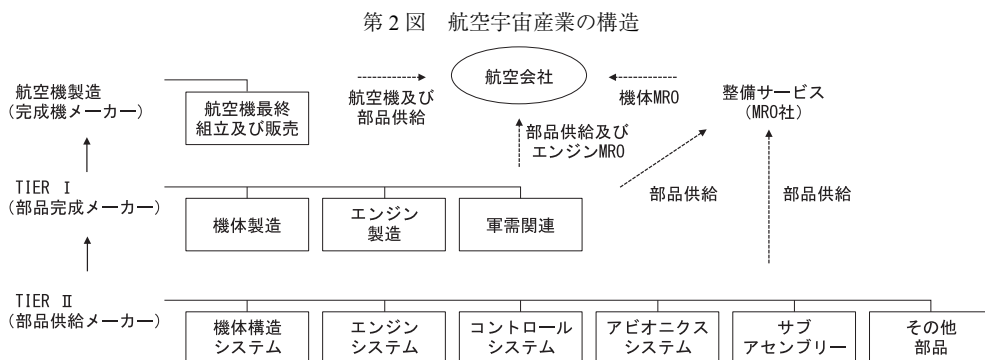
さらに、民生分野に展開されている航空機用手法である CFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体力学）、FEM（Finite Element Method：有限要素法）、CAD（Computer Aided Design）・CAM（Computer Aided Manufacturing）用 CATIA などの手法は、航空機産業では以前から使われた手法だが、現在は構造設計を行うあらゆる産業分野に応用され、開発の時間と費用、生産、運用面での効率を高めている¹³。

3. 航空宇宙産業の下部構造

航空宇宙産業は生産から販売まで、各組み立ての段階別に構成されている。第2図は、航空宇宙産業の構造を主要技術分野別に示したもので、上部には、その下部システムを最終的に組み立てるシステムインテグレーターを担っている完成機メーカーが位置する。商業用完成機メーカーの主要プレイヤーとしては、ボーイング（Boeing）やエアバス（Airbus）、ボンバルディア（Bombardier）、エンブラエル（Embraer）などがあり、日本の三菱重工、スバル、新明和工業は、防衛省向けでは完成機メーカーであるが、海外や国内の他社の完成機プログラムでは第1次サプライヤー（Tier I）として協力会社の役割を果たしている¹⁴。

部品完成メーカーは、第1次サプライヤー（Tier I）とも呼ばれるが、機体の主翼、胴体、尾翼、各種の制御システム、エンジンシステムなど、主要部位・部材を完成機メーカーに納入する企業を言う。例えば、ボーイングの B 787 の場合、機体構造部門の代表的な第1次サプライヤーは、ボーイング・ファブリケーション（Boeing Fabrication）、ボーイング・チャールストン（Boeing Charleston）、アレーニア・アエロナウティカ（Alenia Aeronautica）、スピリッツ・エアロシステムズ（Spirit AeroSystems）、三菱重工、川崎重工、などがある。

B 787 のエンジンサプライヤー（Tier I）は、ゼネラル・エレクトリック（General



出所：Todd and Simpson, 1986, p.3, Figure 1.1 と Hurr, 2015, p.55, Figure 3-2 参照のうえ筆者作成。

13 同上書，153～158 ページ参照。

14 中村洋明『航空機産業と日本－再成長の切り札』中央公論新社，2017年，16 ページ参照。

Electric) とロールス・ロイス (Rolls-Royce) の2社が、それぞれ「GENx-1 B エンジン」と「トレント 1000 エンジン」を供給している。B 787 では「インターチェンジャブル」と呼ばれる設計システムを取り入れている。従来のシステムでは、航空会社がエンジンを変更する必要に迫られ品番が異なるエンジンに変更する際には、装着方式や燃料配管などの改修・変更作業が必要であったが、これらの部分の設計を共通化することにより、B 787 では両モデルのエンジンを容易に互換できることが特徴である。¹⁵

第2次サプライヤー (Tier II) は主要システム・部品を製造し、第1次サプライヤー (Tier I) に供給するメーカーである。大きく機体システム、エンジンシステム、コントロール、アビオニクスシステム、サブアクセサリー、その他部品に大別される。さらに、第2次サプライヤー (Tier II) の下部には、主に航空計器、航空電子部品、通信装置、コンピューターシステム、トランスミッション、着陸装置、ナビゲーションシステム、衛星航法装置、金属パーツの溶接及び加工など、第3次サプライヤー (Tier III) のメーカーがあり、(Tier II) に部品を供給するメーカーがこれに当たる。

II 航空機産業における国際共同事業

1. 航空機産業における分業と専門化

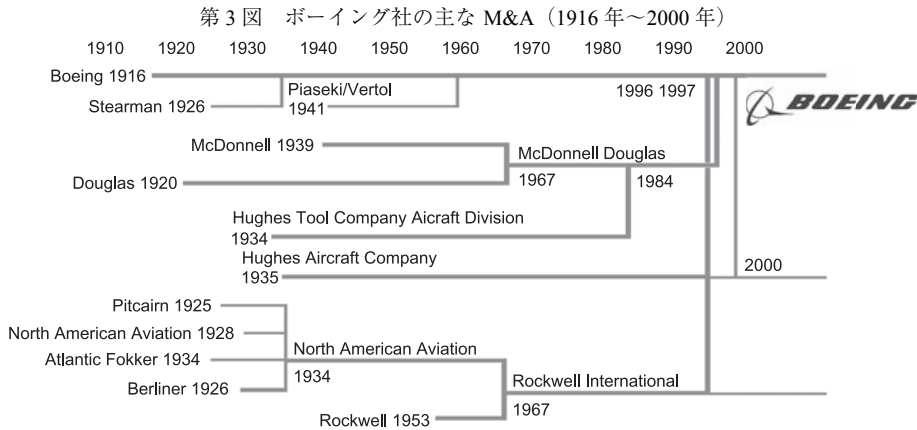
航空機産業の初期は、エンジンとタイヤなどいくつかの主要な部品を除いては、ほとんどのメーカーが自社で部品製造から組み立てまでを行っていた。製造プロセスのほとんどを熟練された職人の手作業に頼っていたし、作業工程においても大工道具で機体の骨材を加工し、長い針を使い、リネンをつなぎ合わせる程度の技術を利用していた。

1930年代に入ってから、技術の発展に伴い航空機性能が向上され、各分野別にも専門的な機械装置と、機械加工、鋳造、鍛造、押出成形など高度な技術を必要とする部品の需要が増加した。したがって航空機産業は専門化、垂直系列化が急速に進むようになり、航空機メーカーの生産能力は改善され、産業の基盤が確立され始めた。¹⁶

本稿で取り上げているボーイング (1916年、シアトルにて設立) は、航空機産業のバイオニアであり、シカゴにグローバルヘッドクォーターを持つ世界最大の航空宇宙企業である。同社は、民間旅客機及び軍用機を始め、ロータークラフト、電子・防衛システム、ミサイル、衛星、打ち上げロケット、高度情報通信システムなどの開発、設計、生産を行っています。さらに、NASA (National Aeronautics and Space Administration) の主要サービス・プロバイダーとして、国際宇宙ステーションの主契約社となっている

15 青木謙知『図解ボーイング787 vs. エアバスA380-新世代旅客機を徹底比較』講談社、2011年、127ページ参照。

16 Hurr, *op. cit.*, pp.108-109.



出所：Yenne, B., *The Story of the Boeing Company*, AGS Book Works, San Francisco, Updated Edition, 2014, p.9.

る。その他にも軍と民間航空会社向けにサポート・サービスを提供している。¹⁷

2016年現在、ボーイングの売上高は946億ドル（民間旅客機部門650億ドル・約69%、防衛・宇宙・安全保障部門295億ドル・約31%）でアメリカ最大の輸出企業であり、世界150カ国以上の航空会社や同盟国を顧客としている。さらに、世界65カ国とアメリカ25州で14万人の従業員を抱えていて、主にワシントン州のピージェット・サウンドエリアで約40%、カリフォルニア州南部で約23%、カンザス州のウィチタで約9%、ミズーリ州のセントルイスエリアで約8%の従業員が勤めている。¹⁸

1996年と1997年に、ボーイングはこれまで世界で最も影響力のあった2つの大手航空機メーカーを買収した。ボーイングに加わったメーカーは、まず、1967年にマクドネル（McDonnell）とダグラス（Douglas）の合弁によってできたマクドネル・ダグラス（McDonnell Douglas）と、1967年にはノースアメリカン・アビエーション（North American Aviation）と、ロックウェル（Rockwell）の合弁によってできたノースアメリカン・ロックウェル（North American Rockwell, 以降1970年にRockwell Internationalに社名を変更）である。さらに2000年には、ヒューズスペース&コミュニケーションズ（Hughes Space & Communications）を買収することにより、ボーイングは世界の衛星通信分野にも高い影響力を持つようになった（第3図参照）。

2. 市場の不確実性と生産方式の変化

Herr（2015）は、航空機産業が市場の不確実性が高い産業であることについて、二つの理由を上げている。第1に、航空機市場は寡占市場であり、新しい技術や製品開発に

17 The Website of Boeing Company, Boeing History, Available at: <http://www.boeing.com/history/> [Accessed Jan 5, 2018].

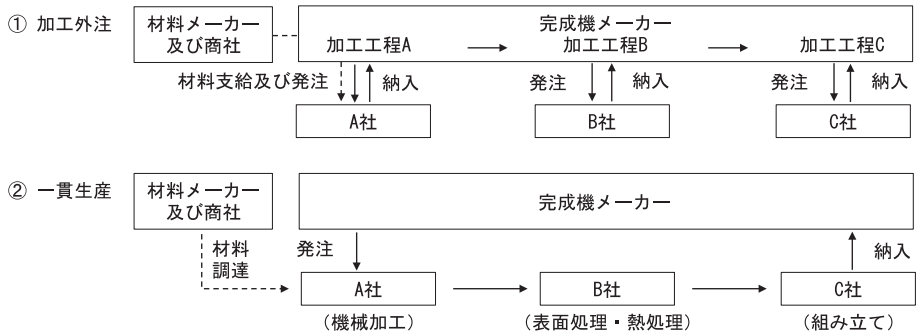
18 Yenne, B., *The Story of the Boeing Company*, AGS Book Works, San Francisco, Updated Edition, 2014, p.7.

不確実性が高い。市場の供給者は機種別に3~4つのメーカーが相互依存的に競争構造を形成し、新しい製品や技術の登場は競合他社に新たな脅威要因として働く。第2に、長期間に渡る大規模な開発費用に比べ、市場の規模が制限されていて商業的成功を収めることは容易ではない、と指摘している。¹⁹

こういった航空機市場の不確実性が進むなか、ビジネスモデルにも変化が現れるようになり、東京大学航空イノベーション研究会・鈴木・岡野(2012)は、その背景として、ボーイングを例に以下の3点を挙げている。最初に、人材不足である。90年代に起きたリストラの影響とベビーブーマーの引退によって、ボーイングのみでは技術者を賄い切れなくなった。第2に、リーン生産方式(Lean Manufacturing)の採用である。コスト削減のために個別部品の開発・生産及び在庫管理と開発リスクや必要なファイナンスを含めて、協力会社、サプライヤーに委ねる本方式がトレンドになった。最後に、IT技術の発達である。CATIAなどのIT技術を使った新たな3次元設計ソフトを用いて、グローバル市場のコスト競争力を利用したアウトソーシングを活用しつつ、場所を問わず同時に航空機の開発ができるシステムとなった。²⁰

第4図は、航空機産業におけるサプライチェーンの加工外注と一貫生産を示したもので、従来、完成機メーカーがサプライヤーに材料を支給し発注をすると、サプライヤーは加工のみを行う「①加工外注」という生産方式が主流となっていたが、近年、航空機産業における国際分業の進展が見込まれるなか、多くの完成機メーカーはサプライヤーによる「②一貫生産」方式を求めるようになった。サプライヤーによる一貫生産方式は、完成機メーカーがサプライヤーに発注すると、サプライヤーは材料の調達、加工、表面処理・熱処理、組み立てまで、該当部品の全作業を一貫することで、部品完成メー

第4図 サプライヤーによる加工外注と一貫生産のスキーム



原典：愛知県航空宇宙産業振興ビジョン(2009年)、航空宇宙産業フォーラムの取り組み(2010年6月18日、中部経済産業局)による。

出所：日本政策投資銀行(2011)15ページと、東北活性化研究センター(2012)7ページ参照のうえ一部補正。

19 Hurr, *op. cit.*, pp.78-79.

20 東京大学航空イノベーション研究会・鈴木真二・岡野まさ子編、前掲書、25ページ。

カーの管理、物流、在庫のコストを抑えるメリットがある。しかし、日本政策投資銀行（2011）は、サプライヤーの規模が小さい、あるいは1社単独である場合は、サプライヤーによる一貫生産方式は資金面、設備面からして困難であると指摘している。²¹

3. 国際協力を通じたリスクの分散

航空機市場の需要には限界があり、研究・開発にかかるコストは高い。さらに、コストの回収が長期間に渡って実現されるので、比較的早い段階から産業の国際共同事業が展開された。²²

2017年現在、ボーイングは世界65カ国に、約2万以上のサプライヤー及びパートナーと契約を結んでいる。²³ そのなかでも、日本はアメリカに次ぐ世界最大のパートナーである。2008年現在、ボーイングと日本の取引業者との取引額は10億ドルで、その金額は年々増加傾向にあり、2013年には43億ドル、2015年には53億ドルを見込んでい²⁴る。

ボーイングと日本の航空産業との関係は、1956年、三菱重工業による当時ノースアメリカン・アビエーション（現ボーイング）製のF-86戦闘機のライセンス生産から始まった。その関係は、防衛分野や民間航空機分野に渡り年々成長した。こういった国際共同事業を通じて、日本が蓄えてきた航空技術力が新たなボーイング・プログラムに利用できた。さらに、技術協力だけではなく、日本のリーン生産方式及び品質改善なども影響を与えている。²⁵

日系企業がボーイングの民間航空機プログラムに参加し始めたのは、60年代半ば開発されたB747の部品供給からである。その後、技術力と信頼性を認められた日系サプライヤーは、ボーイングへの生産分担比率を上げ、B767で16%だった比率は、B777で21%、²⁶ B787では35%となった。

第2表は、ボーイングの長距離中型航空機B787の生産分担による主な国際共同事業を示したものである。日本の場合は、川崎重工業はB787の中央胴体、中胴下部構造、主翼固定後縁を、SUBARU（旧名：富士重工業）は中央翼ボックスと中央胴体部分とのインテグレーション、三菱重工業は主翼ボックスなどを分担生産し、ボーイングのエ

21 日本政策投資銀行『航空機関連産業の課題と将来戦略～機体製造分野 Tier 2 企業を中心に～』株式会社日本政策投資銀行、2011年、15ページ。

22 Hurr, *op. cit.*, p.80.

23 The Website of Boeing Company, Presence and Partnerships, Available at : <http://www.boeing.com/global/#/presence> [Accessed Jan 2, 2018].

24 The Company Brochure of Boeing Japan, *Made with Japan ; A Partnership on the Frontiers of Aerospace*, 2013, p.7. [Accessed Jan 2, 2018].

25 Wiegand, M., "Toward a Common Benefit" *Boeing Frontiers*, Vol. VII (5), Sep 2008, p.41.

26 The Company Brochure of Boeing Japan, *op. cit.*, p.6. [Accessed Jan 2, 2018].

第2表 B 787 型機の生産分担による国際共同事業

国	メーカー	分担部位
Japan	Kawasaki Heavy Industries	中央胴体, 中胴下部構造, 主翼固定後縁
	Fuji Heavy Industries	中央翼ボックス及び中央胴体部分
	Mitsubishi Heavy Industries	主翼ボックス
South Korea	Korean Air	翼端, テールコーン
China	Chengdu Aircraft Industrial Group	ラダー
	Shenyang Aircraft Group	垂直安定板の前縁
	Hafei Aviation Industries	翼胴フェアリングパネル
Canada	Boeing Canada	翼胴フェアリングアセンブリ, Aft パイロンフェアリング, 主着陸装置ドア (胴体), 主着陸装置ドア (主翼)
	Messier-Dowty	着陸装置
United States	Spirit AeroSystems	前方胴体, エンジンパイロン, 主翼固定前縁, 主翼前縁動翼
	Vought	後方胴体
	Boeing	垂直安定板
	Goodrich	エンジン格納部
Australia	Boeing's Hawker de Havilland unit	主翼後縁動翼, インボードフラップ
England	Messier-Dowty	主着陸装置部品, 前方着陸装置部品
Sweden	Saab	後部貨物室ドア, 前方貨物室ドア
France	Latecoere	後部ドア, 前方ドア
	Messier-Dowty	主着陸装置部品, 前方着陸装置部品
Italy	Alenia	中央胴体, 水平安定板

注1：富士重工業株式会社は2017年4月1日付けで株式会社 SUBARU に社名変更。

注2：Boeing は (Frederickson, Pierce County) 工場。

出所：The Seattle Times, Building the Dreamliner, Available at: <http://old.seattletimes.com/multimedia/news/business/building-the-dreamliner/boeing-787.html> [Accessed Jan 2, 2018].

バレット工場に供給している。

さらに、日系のサブサプライヤーとしては、ブリヂストン (タイヤ), パナソニック・オブ・アビオニクス (客室娯楽システム), 東レ (PAN 系炭素繊維プリプレグ), 島津製作所 (水平安定板作動アクチュエータ), ジャムコ (操縦室隔壁, 内装パネル), 多摩川精機 (角度検出センサー, 小型 DC ブラシレスモーター, 直角変位検出センサー) などがあり、日系メーカーは Tier I 及びサプライヤーとして B 787 プログラム全体の²⁷ 35% を参画している。

III ボーイングの新たなサプライチェーン

1. B 787 におけるサプライチェーン・マネジメント

航空機産業における国際共同事業は、下請け生産、ライセンス生産などの方式で航空

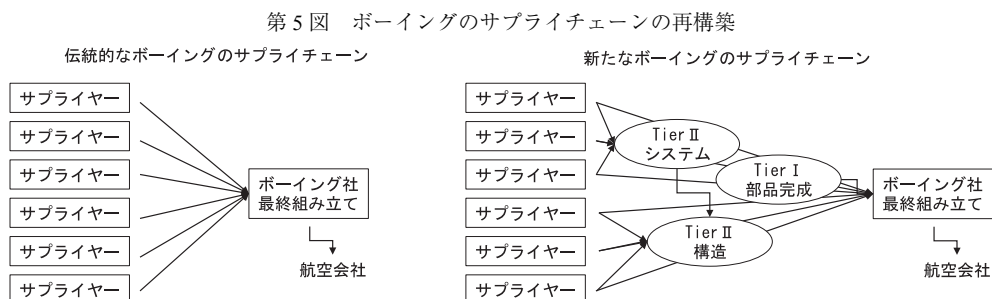
27 日本航空機開発協会『平成28年度版民間航空機関連データ集』一般財団法人日本航空機開発協会, 2017年, <http://www.jadc.jp/data/associate/> (2017年12月30日閲覧) VIII-26 ページ。

機の開発・生産によるリスクを分散し、その収益を共有する RSP（Risk Sharing Partnership）²⁸ 生産方式が普遍的な事業モデルとして定着されている。

2003年、ボーイングは長距離中型航空機プロジェクトを始め、これまで航空機製造業界では見られなかった新たなサプライチェーンを使い B 787 を開発・生産することにした。開発期間は6年から4年に短縮し、開発費用も100億ドルから60億ドルに減らす計画だった。B 787 計画のサプライチェーンの特徴は、製造及び組み立てコストを抑え、開発に関わるリスクをボーイング一社で賄うのではなく、いろんな協力パートナーに分散させることを目指した。

ボーイングの伝統的なサプライチェーンでは、数千のサプライヤーが生産したサブシステム及びさまざまな部品をボーイングが一貫して管理しなければならなかった。しかし、B 787 の新しいサプライチェーンでは、各サプライヤー別に階層構造を持っており、ボーイングは約50社の戦略パートナー（Tier I）とのパートナーシップを築くことに集中できるようになった。さらに、戦略パートナーはそのサブサプライヤー（Tier II）とパートナーシップを築いており、サブサプライヤーが生産するさまざまな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機能している（第5図参照）。

例えば、既存のサプライチェーンで生産されている B 737 と、新たなサプライチェーンで生産されている B 787 を比較すると、アウトソーシング率は B 737 が 35-50% で、B 787 が 70% にも及んでいる。サプライヤーの責務においては、B 737 のサプライヤーはボーイングに納入する部品を開発・生産するが、B 787 のサプライヤーの場合、ボーイングに納入する各セクションを開発・生産している。供給契約を比較すると、B 737 は納入遅延のときにペナルティが伴う固定価格契約システムであるが、B 787 はリスク・シェアリング契約システムとなっている。組み立て作業期間に関しては、B 737 の場合、サプライヤーから届いた部品が最終的に組み立てる期間は約30日である。一方、



出所：Tang, C. S. and Zimmerman J. D., Managing New Product Development and Supply Chain Risks: The Boeing 787 Case, *Supply Chain Forum: an International Journal*, Kedge Business School, Vol.10-No.2, 2009, pp.74-86, p.77 Figure 3 and Figure 4.

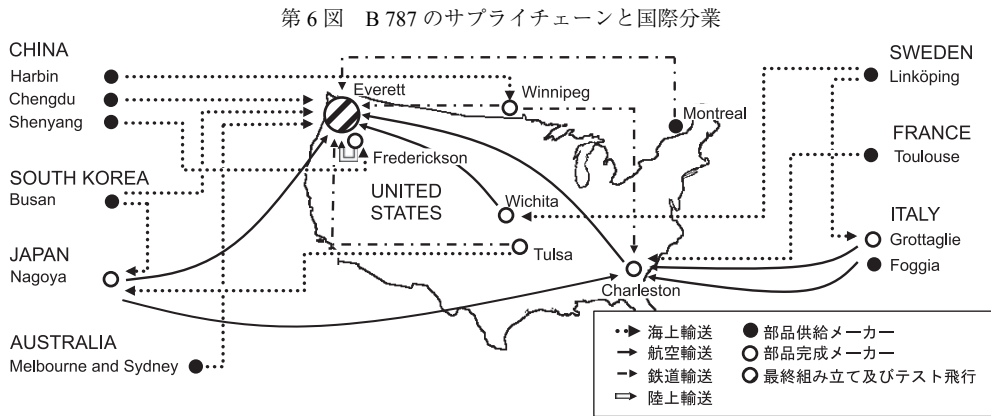
B 787 の全体セクションの組み立ては3日となっており、この極めて短い時間に戦略パートナー (Tier I) は納入を間に合わせなければならない。²⁹

2. B 787 のサプライチェーンにおける国際分業

航空機開発プロセスにおいては、まず、研究・開発から設計、試作・試験、認証の要素・システム技術開発段階を経て、製造、組み立ての生産技術開発段階、最後に飛行試験、形式証明の試験評価技術などの一連のプロセスで完成される。近年、航空機には、航法・制御システムの高度化、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) の採用など、広範囲な技術と設備が必要となっており、完成機メーカーが独自で、上記のプロセスを通すことは事実上不可能となった。

したがって、完成機メーカーは開発段階から、エンジン供給者や部品製作者などの分野別に協力パートナーを結成し、入札契約を通じて、具体的な投資のリスクと開発・制作の成果に見合う分担契約を結ぶ。さらに、航空機販売においても、航空会社から先に注文を受け、購買代金の一部を事前に支払わせることにより、投資のリスクを分散させる。³⁰

第6図は、B 787 のサプライチェーンと国際分業を示すもので、B 787 の製造工程の流れは2つに大別されていることが分かる。³¹一つは、各地で製造された機体フレームのコンポーネントや部品が、ボーイングの最終組み立て工場があるワシントン州のエバレ



注：Linköping から Grottaglie まで、輸送方法についてのデータ N/A。

出所：The Seattle Times, Building the Dreamliner, Available at : <http://seattletimes.nwsourc.com/multimedia/news/business/building-the-dreamliner/boeing-787.swf> [Accessed Jan 5, 2018], 一部補正。

29 Tang, C. S. and Zimmerman J. D., Managing New Product Development and Supply Chain Risks: The Boeing 787 Case, *Supply Chain Forum: an International Journal*, Kedge Business School, Vol.10-No.2, 2009, pp.77-78.

30 Hurr, *op. cit.*, pp.80-81.

31 青木謙知『図解ボーイング 787 vs. エアバス A 380 - 新世代旅客機を徹底比較』講談社, 2011年, 61 ページ。

ット工場に直接搬入されるプロセスである。もう一つの流れは、サプライチェーンの間に各部品完成メーカーを通すことである。アメリカのサウスカロライナ州にあるボーイング・チャールストン工場と、カンザス州のウィチタにあるスペース・エアロシステム社、イタリアのグロッターリエにあるアレーニア・エアロノーティカ社、日本の名古屋にある川崎重工業、富士重工業、三菱重工業がその代表的な部品完成メーカーである。

例えば、イタリアのグロッターリエ（Grottaglie）にあるアレーニア・エアロノーティカ（Alenia Aeronautica）社では、B 787の中央上部胴体（Section 44）と中央胴体（Section 46）を組み立てる。中央胴体（Section 46）は約4千ポンドの炭素繊維と、その構造の強度を増すために、アレーニア社のノーラ（Nola）工場とポミリアーノ（Pomigliano）³²工場³³で生産されるストリンガや、シヤタイなどのフレームで構成されている。

そのグロッターリエで生産された巨大な中央コンポーネント（Section 44と46）は、ドリームリフター³⁴に積まれ、アメリカのチャールストン（Charleston）にあるボーイング・チャールストン工場に納入される。チャールストンでは、日本の名古屋から送られてきた川崎重工業の主脚収納部とSUBARUの中央翼ボックスが、イタリアのグロッターリエで生産された中央コンポーネント（Section 44と46）と結合されて、最終的に、エバレット工場³⁵で組み立てられ完成機となる。

2004年、B 787プログラムのサポートのために作られたボーイング・チャールストン工場は、当初、ヴォート（Vought Aircraft Industries）社とアレーニア（Alenia North America）社のジョイント・ベンチャーであるグローバル・エアロノーティカ（Global Aeronautica）社のものであったが、2008年6月に、ボーイングはヴォート社の持ち株を取得することによって、グローバル・エアロノーティカ社は、ボーイングとアレーニア社のジョイント・ベンチャーとなった。さらに、2009年7月は、ヴォート社のノース・チャールストン事業部門（North Charleston Operations）を買収し、12月には、アレーニア社が保有していた残りの持ち分を取得することによって、チャールストンの合併事業は解消となり、現在はすべてボーイングが管理することになった。³⁶2008年と2009年、ボーイングによるヴォート社のチャールストン事業部門の持ち株取得に関する経緯については次章で説明する。

32 ストリンガ（Stringer）：板を区切ることによってせん断強度を向上させるとともに、長さ方向の軸力をも受け持てるようにした補強材（日本工業規格、航空用語により）。

33 シヤタイ（Shear Tie）：外板と、小骨又はフレームとの間を結合してせん断力を伝達させるための部材（日本工業規格、航空用語により）。

34 ドリームリフター（B 747 Large Cargo Freighter）：日本やイタリア、アメリカ国内で製造されたB 787の主要コンポーネントを輸送するためにB 747-400を改造した輸送機（青木、2011、64ページ）。

35 Norris, G. and Wagner, M., *Boeing 787 Dreamliner*, Zenith Press, Minneapolis, 2009, p.71.

36 The Website of Boeing Company, Boeing South Carolina, Available at: <http://www.boeing.com/company/about-bca/south-carolina-production-facility.page> [Accessed Jan 8, 2018].

IV 開発・生産分担方式によるリスク

1. 国際共同事業のリスク

2017年現在、B 787は世界50以上の航空会社から合計1287機を受注している。B 787は革新的な技術と生産戦略を組み合わせた取り組みが特徴の次世代旅客機である。前章で述べたように、ボーイングは、B 787のサプライヤーに開発・生産部門の70%をアウトソーシングすることにより、各サプライヤーの異なるセクションを同時に開発・生産する能力を活かして開発時間とコストを削減できた。

しかし、Todd and Simpson (2009)はB 787の生産分担による国際共同事業は開発時間とコストを削減できる可能性は秘めているが、サプライチェーンにおいて技術的なりスク、サプライヤーのリスク、プロセスのリスク、マネジメントのリスク、労働のリスク、需要(顧客)リスクなど、さまざまなリスクが存在することを指摘している(第3表参照)。

B 787は当初、2008年にFAA(連邦航空局)に形式証明を取得して、各航空会社に引き渡しを開始する予定だったが、実際に引き渡しが始まったのはスケジュールよりも3年遅れた2011年だった。そのスケジュールが大きく遅延された理由はさまざまだが、いくつかの例を挙げると、2007年9月に起きたファスナー(締め具)の不足の問題、操縦システム・ソフトウェアの問題、2008年1月のファスナーなどの部品不足の問題、

第3表 B 787のサプライチェーンにおけるリスクマネジメント

リスクの種類	潜在的リスク	リスクによる結果	リスク緩和戦略
技術	CFRPなど検証されていない新たな機体素材の導入への不安	Tier I サプライヤーの大規模な開発の遅延問題が発生	設計変更
サプライヤー	Tier I から、技術的なノウハウを持たない Tier 2 パートナーへの開発タスクを委託	Tier I のサブサプライヤー選択に関する情報不足により、開発・製造の遅延へ	Tier 2 の買収による統制及び資金援助
プロセス	Tier I とそのサブサプライヤーを過度依存	サプライヤーの問題調整のためにボーイング社のサポートが増加	問題解決のためパートナーに多くのエンジニアを派遣
マネジメント	専門知識と経験の浅いサプライチェーン側の経営陣	管理の失敗、最高レベルでの組織再編の必要性	サプライチェーン専門家をプログラム管理者として経営陣と交代
労働	ボーイング社のアウトソーシングによる組合の不満	組合ストライキによる作業停止	組合への対応、賃金の引き上げ及びアウトソーシングの縮小
需要(顧客)	問題が公表された場合、航空会社や乗客に対してボーイングのイメージに問題を引き起こす可能性	納入遅延により、損害請求が科され、注文取り消しが発生	配達遅延による損害賠償、顧客を安心させる広報キャンペーン

出所：Tang, C. S. and Zimmerman J. D., Managing New Product Development and Supply Chain Risks : The Boeing 787 Case, *Supply Chain Forum : an International Journal*, Kedge Business School, Vol.10-No.2, 2009, pp.74-86, p.79 Table 4 and p.80 Table 5.

コンポーネントなどの製造品質の問題、2008年3月の主翼ボックスの強度問題、さらに、その部品の改善による遅延、そして、同年9月にはエバレット工場のストライキによる作業停止、2010年以降はテスト飛行中で見つかったトラブルと調整により、結局、航空会社への引き渡しは2011年3四半期とな³⁷って開始された。特に、2008年1月に起きたコンポーネントの製造品質の問題については、当該サプライヤーにも問題があ³⁸ったがボーイング側の指示がはっきりしていなかったことも指摘されている。

ボーイングはこのようなサプライヤーとの調整の不一致によるさまざまなトラブルに対応するため、Web ベースの計画システムである「Exostar」を使い始めた。このシステムは、ボーイングとサプライヤーとの連携や協力を促進するために導入されたもので、異なるサプライヤーがタイムリーで情報を受けることによって、サプライチェーンの可視性とコミュニケーションを向上させ、製造プロセスの制御と統合をより改善させた。

2. サプライチェーンリスクの事例

B 787 には、CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic）など航空業界では未だ証明されていない新たな技術が適用されている。さらに、その技術に基づいた機体構成部品を各セクションに分け、その開発と生産を 50 社あまりの戦略パートナー（Tier I）に委ねている。そのことは、サプライチェーンが計画通りに進まないと、生産全体が大幅に遅れる可能性を秘めている。

B 787 の開発初期は、ボーイングの戦略パートナー（Tier I）であり、B 787 の後方胴体セクションのシステムインテグレーターであるヴォート（Vought Aircraft Industries）社が、ボーイングに通知をせずに、サブサプライヤー（Tier II）である AIT（Advanced Integration Technology）社と供給契約を結んでいた。しかし、AIT 社はヴォート社以外のサプライヤー（Tier II）、（Tier III）とも供給契約を結んでいた。さらに、ヴォート社のサブサプライヤー（Tier II）、（Tier III）は、文化的な違いにより、正確かつタイムリーな情報を「Exostar」システムに入力することを怠惰にしたことにより、大きな遅延が発生した事例もある³⁹。

その他にも、ボーイングの戦略パートナー（Tier I）のなかには、航空機のさまざまなセクション開発に関するノウハウを持たない企業が多く、サブサプライヤー（Tier II）を通じて必要なコンポーネントをタイムリーで提供させる管理能力にも問題があった。したがって、ボーイングは B 787 の開発プロセスのコントロールを取り戻す必要性

37 青木謙知，前掲書，78-81 ページ参照。

38 同上書，79 ページ。

39 Tang and Zimmerman, *op. cit.*, pp.77-78.

を検討しなければならなかった。

例えば、B 787のサプライチェーンなかで最も弱いリンクの一つであったヴォート社の状況を把握したボーイングは、2008年にヴォート社のチャールストン事業部門を買収し、その翌年にも他の事業部門を買収した。この2つの買収により、ボーイングはサプライヤー (Tier II) をより直接的に管理することができた。⁴⁰

2008年、ボーイングは戦略パートナー (Tier I) であるスピリッツ・エアロシステムズ社に約1億2500万ドルを支払った。その理由はB 787生産の遅延が続いた結果、ボーイングの一部のサプライヤーが財務上の危機に直面していたためである。⁴¹ B 787の開発・生産における新たなサプライチェーンの試みは、生産の多くをアウトソーシングすることにより時間とコストを大幅に削減できる。しかし、サプライチェーンのある一つのリンクがその機能を十分に発揮できない場合は、作業全体に影響を及び、リスクがさらに高まることを示唆する。

3. 産軍複合体制の登場とそのリスク

近年、さまざまな国際紛争のなかで、航空技術力の優位が戦争の勝敗を決定した。さらに、戦争の経験は更なる航空技術の必要性を要求し、技術革新を主導してきた。特に、安全保障の重要性が高い国家ほど、航空戦力の増強に主力していると同時に航空機産業に投資を拡大している。⁴²

航空宇宙産業というカテゴリーが多義的なのは、第I章で述べたように、その範囲のなかに航空機産業と宇宙産業、防衛産業を含んでいるからである。一般的な家電産業や自動車産業とは異なって、航空宇宙産業では、第1次サプライヤーからサブサプライヤーまで、部品供給のどの段階でも民需品と軍需品の生産に関わっており、さらに、サブサプライヤーほどその見分けが極めて難しい。⁴³

航空機産業は民生技術や生産方式などを、軍事に転用できることから、防衛産業との高い関連性を持つ。⁴⁴ SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute) によれば、2016年度、ボーイングの総売上高 (946億ドル) のなかで、軍需部門が占める割合は31% (295億ドル) で、さらに、エアバスの総売上高 (737億ドル) のなかで、軍需部門が占める割合は17% (192億ドル) である (第4表参照)。

上田 (2007) は、90年代以降、航空宇宙産業におけるグローバル化が急速に伸びていると指摘している。しかし、その国際共同開発・生産体制が以前のものとは異なる点

40 *Ibid.*, pp.79-80.

41 *Ibid.*, p.81.

42 Hurr, *op. cit.*, p.80.

43 Todd, D. and Simpson, J., *The World Aircraft Industry*, Auburn House, Massachusetts, 1986, p.2.

44 上田慧「航空宇宙産業の世界的再編と『産軍複合化』」関東学院大学経済学会『経済系』(寄稿論文) 第233集, 2007年10月, 12ページ参照。

第4表 主要航空宇宙企業の軍需部門の売上高とその割合
(2016年現在, 単位100万ドル)

社名	国籍	総売上高	売上高（軍需）	%
Boeing	United States	94571	29510	31
Airbus Group	Trans-European	73652	12520	17
Lockheed Martin Corp.	United States	47248	40830	86
General Dynamics Corp.	United States	31353	19230	61
Northrop Grumman Corp.	United States	24508	21400	87
Raytheon	United States	24069	22910	95
BAE Systems	United Kingdom	24008	22790	95
Leonardo	Italy	13277	8500	64
L-3 Communications	United States	10511	8890	85
BAE Systems Inc. (BAE Systems UK)	United States	10000	9300	93

出所：The Website of SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute), SIPRI Arms Industry Database, Available at: <https://www.sipri.org/databases/armsindustry> [Accessed Dec 28, 2017] により筆者作成。

は、政府主導型から、メーカー主導型に大きく変化したことである。以前、アメリカは軍事同盟国（主にイギリス）の間で行われた航空宇宙の開発・生産、戦略的提携などが、イギリス以外の多数の国と作業チーム化（Teaming）を作るようになったからである。したがって、90年代以降、航空宇宙産業における激しいM&Aと戦略提携、国際共同開発による航空宇宙産業の世界的再編のなかで、航空機製造に含まれているハイテク民生技術と科学技術、生産方式の成果が、重層的で国際的な産軍複合体制（Military Industrial Complex）の一翼をになう危険性が高まっている⁴⁵。

おわりに

航空宇宙産業は、数十万点から数百万点にもおよぶ部品・部材から構成される高度なシステムインテグレーション産業である。機械、電気・電子、IT、制御、素材など多岐にわたる高度な技術と手法は、自動車産業、機械・エネルギー産業、情報・エレクトロニクス産業、住宅産業、レジャー産業などあらゆる分野で応用され、その技術波及効果が極めて高い。

しかし、航空機市場は、3~4つのメーカーが相互依存的な競争構造の寡占市場であり、新しい技術や製品開発における不確実性が高い。さらに、長期間に渡る大規模な開発費用に比べ、市場の規模が制限されていて商業的成功を収めることは容易ではない。

こういった不確実性によって、90年代以降アメリカの航空宇宙産業におけるビジネスモデルにも変化が起きた。その背景として考えられるのは、第1に、リストラとベ

45 上田慧「航空宇宙企業の集中統合化と国際共同開発（総特集 世界の多国籍企業）—（産業別・データでみる最新動向）」『経済』No.140, 2007年5月, 89-100ページ参照。

ビーブーマーの引退の影響による人材不足である。第2に、リーン生産方式 (Lean Manufacturing) の採用である。最後に、IT技術の発達である。したがって、航空宇宙産業はグローバル展開を踏まえ、下請け生産、ライセンス生産などの方式で航空機の開発・生産によるリスクを分散し、その収益を共有する RSP (Risk Sharing Partnership) 生産方式が普遍的な事業モデルとして定着された。

本稿では、その事例として B 787 プログラムのグローバルな開発・生産の流れや、B 787 のサプライチェーンにおける主要な M&A を取り上げ、B 787 プログラムにおける RSP 生産方式を明らかにし、そのリスクについて考察した。特に、2008年と2009年に行われたボーイングによる、ヴォート社とアレニア社 (ジョイントベンチャー) のチャールストン事業部門の買収と、一部のサプライヤー (Tier II) に対する開発・生産分担方式から直接管理方式へと変更したボーイングの SCM 戦略の事例は、航空宇宙産業のサプライチェーンにおける国際共同事業のリスクとその弱みを端的に示している。

最後に、航空宇宙産業が一般的な家電産業や自動車産業と異なっているのは、第1次サプライヤーからサブサプライヤーまで、部品供給のどの段階でも民需品と軍需品の生産に関わっており、サブサプライヤーに向かうほどにその見分けが極めて難しいことである。今日、より拡大・加速されている航空宇宙産業のサプライチェーンにおける世界的な再編のなかで、民生用に使われている高度な技術と手法が、軍事体制の一部となる危険性も否定できなくなったことを念頭におくべきである。

参考文献

- Banham, R., *Higher : 100 Years of Boeing*, Chronicle Books, San Francisco, 2015.
- Graff, C., *Boeing Field*, Arcadia Publishing, Charleston, 2008.
- Hurr, H., *Aerospace Industry*, Myungkyungsa, Seoul, 2015 [히회영, 항공우주산업, 명경사].
- Lineberger, R. S. and Hussain, A., *2017 Global Aerospace and Defense Sector Financial Performance Study*, Deloitte Touche Tohmatsu, 2017.
- Materna, R., Mansfield, R. E. and Deck, F. W., *Aerospace Industry Report Third Edition Facts, Figures & Outlook for the Aviation and Aerospace Manufacturing Industry*, Aerospace Industries Association of America and Embry-Riddle Aeronautical University, 2013.
- Newhouse, J., *Boeing versus Airbus : The Inside Story of the Greatest International Competition in Business*, Alfred A. Knopf, New York, 2007.
- Norris, G. and Wagner, M., *Boeing 787 Dreamliner*, Zenith Press, Minneapolis, 2009.
- Tang, C. S. and Zimmerman J. D., Managing New Product Development and Supply Chain Risks : The Boeing 787 Case, *Supply Chain Forum : an International Journal*, Kedge Business School, Vol.10-No.2, 2009, pp.74-86.
- Todd, D. and Simpson, J., *The World Aircraft Industry*, Auburn House, Massachusetts, 1986.
- Wiegand, M., "Toward a Common Benefit" *Boeing Frontiers*, Vol.VII (5), Sep 2008, pp.40-42.
- Yenne, B., *The Story of the Boeing Company*, AGS Book Works, San Francisco, Updated Edition, 2014.
- Zuliani, J. M. et Jalabert, G., *Toulouse, l'avion et la ville*, Privat, coll. «Aviation», Toulouse, 2009.
- 久木田実守『航空機部品 (日経産業シリーズ)』日本経済新聞社, 1990年。

- 上田慧「航空宇宙企業の集中統合化と国際共同開発（総特集 世界の多国籍企業）—（産業別・データでみる最新動向）」『経済』No.140, 2007年5月所収。
- 上田慧「航空宇宙産業の世界的再編と「産軍複合化」」関東学院大学経済学会『経済系』第233集, 2007年10月号所収。
- 青木謙知『図解ボーイング787 vs. エアバスA380—新世代旅客機を徹底比較』講談社, 2011年。
- 中村洋明『航空機産業と日本—再成長の切り札』中央公論新社, 2017年。
- 中村洋明『航空機産業のすべて』日本経済新聞出版社, 2012年。
- 東京大学航空イノベーション研究会・鈴木真二・岡野まさ子編『現代航空論：技術から産業・政策まで』東京大学出版社, 2012年。
- 東北活性化研究センター「航空機関連産業の集積に関する調査報告書」財団法人東北活性化研究センター, 2012年, <https://www.kasseiken.jp/pdf/library/guide/23fy-06.pdf> (2017年12月30日閲覧)。
- 日本工業宇宙工業会編『日本の航空宇宙工業』日本工業宇宙工業会, 2016年。
- 日本航空機開発協会『平成28年度版民間航空機関連データ集』一般財団法人日本航空機開発協会, 2017年, <http://www.jadc.jp/data/associate/> (2017年12月30日閲覧)。
- 日本政策投資銀行『航空機関連産業の課題と将来戦略～機体製造分野 Tier2企業を中心に～』株式会社日本政策投資銀行, 2011年, <https://www.kasseiken.jp/pdf/library/guide/23fy-06.pdf> (2017年12月30日閲覧)。
- The Seattle Times, Building the Dreamliner, Available at: <http://seattletimes.nwsourc.com/multimedia/news/business/building-the-dreamliner/boeing-787.swf> [Accessed Jan 2, 2018].
- The Website of Boeing Company, Boeing History, Available at: <http://www.boeing.com/history/> [Accessed Jan 5, 2018].
- The Website of Boeing Company, Boeing South Carolina, Available at: <http://www.boeing.com/company/about-bca/south-carolina-production-facility.page> [Accessed Jan 8, 2018].
- The Website of Boeing Company, Boeing in Brief, Available at: <http://www.boeing.com/company/general-info/index.page> [Accessed Jan 5, 2018].
- The Website of Boeing Company, Presence and Partnerships, Available at: <http://www.boeing.com/global/#/presence> [Accessed Jan 2, 2018].
- The Website of Boeing Japan, Made with Japan; A Partnership on the Frontiers of Aerospace, *The Company Brochure*, 2013, Available at: <http://www.boeing.jp/> [Accessed Jan 2, 2018].
- The Website of Britannica Academic, Aerospace Industry, Available at: <http://academic.eb.com/levels/collegiate/article/aerospace-industry/108308> [Accessed Dec 28, 2017].
- The Website of SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute), *SIPRI Arms Industry Database*, Available at: <https://www.sipri.org/databases/armsindustry> [Accessed Dec 28, 2017].
- ブリタニカ・オンライン・ジャパンのホームページ, Britannica Online Japan 2017「軍需産業」<http://japan.eb.com/rg/article-03507500> (2017年12月28日閲覧)。
- 日本工業標準調査会のホームページ, JIS規格, 航空用語(機体構造)<http://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISNumberNameSearchList?toGnrJISStandardDetailList> (2018年1月7日閲覧)。

〔謝辞：10年ほど前に、上田慧教授の航空宇宙産業関連の紀要（上田，2007）と出会い先生の門下生となった。長年に渡る上田慧教授の国境経済圏における多国籍企業の世界的再編の御業績は極めて貴重なものであり、深い感銘を与えて頂いたことにも感謝したい。個人的には、学位申請論文の期間中、厳しい中にも暖かく見守って頂くなど、さまざまな場において御指導や励ましを頂いた。本記念号に執筆の機会を得られたこととともに、記して心より厚く御礼を申し上げたい。〕