

査読論文

民間航空機エンジンメーカーにおける国際分業の構造

山崎 文徳*

要旨

本論文では、民間航空機エンジンの国際的な分業構造において、日本企業がサプライヤとして欧米のエンジンメーカーの競争力を支える一方で、主導的立場は欧米企業が維持し、日本企業がそれらにとって代われない理由を分析している。第一に、欧米企業にとって、日本企業がサブ・コントラクターからモジュール・パートナーへと段階的に成長したことは、優れた技術をもつ日本企業を自らの国際分業に組み込み、技術競争力を強化することにつながった。第二に、航空機エンジンの技術的な特性からは長期継続の取引関係が有効であり、参入した日本企業が特定の部位で技術を蓄積し、型式認証のプロセスにも習熟したことで欧米企業の国際分業を支えた。第三に、欧米企業は中核的な技術であるエンジンコアは自らが担当し、日本企業には周辺の技術を担当させることで主導的立場を維持している。第四に、開発と販売のプロセスにおいて、設計の初期段階（概念・基礎設計）と、システム統合段階（試験や型式承認）、アフターマーケットの段階で欧米企業は主導性をもつ。

キーワード

承認図、進化、モジュール、長期継続の取引関係、川崎重工業、三菱重工業、IHI

1. はじめに
2. 日本における民間航空機用ジェットエンジン事業
3. 部品パートナーからモジュール・パートナーへ
 - (1) 川崎重工業による中圧圧縮機モジュールの供給
 - (2) IHIによる低圧タービンモジュール及びブレードの供給
 - (3) 三菱重工業による燃焼器モジュールの供給
4. 国際分業における欧米企業の主導性
 - (1) 製品類型別にみた契約形態：大型エンジンと中小型エンジン
 - (2) 担当部位にみる主導性：中核技術としてのエンジンコア
 - (3) 開発と販売のプロセスにみる主導性：初期設計・システム統合・アフターマーケット
5. おわりに

参考文献

* 執筆者：山崎文徳
所属/役職：立命館大学経営学部/准教授
連絡先：〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町2-150
E-mail: yama2012@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

民間航空機エンジンの供給は、主にアメリカの GE (General Electric Company) と P&W (Pratt & Whitney), イギリスの RR (Rolls-Royce plc) という欧米のエンジンメーカーが担っており、航空輸送会社に対する販売を奪い合っている。山崎 (2017) で分析したように、広胴機に搭載される大型エンジンは、運用数が全体の3割を占める程度だが、ハイエンドに位置する高価格製品群である。一方で、狭胴機用の中小型エンジンは運用数が7割程度で、市場の成長も著しいため量産製品群を構成している。それでは、それらエンジンの生産は誰が担っているのだろうか。

Gunston (1997) や Peter (1999), Connors (2010) は、OEM (Original Equipment Manufacturer) とよばれるエンジンメーカーの技術開発を歴史的に論じている。基本的には GE, P&W, RR というわずか3社が市場を独占しているが、エンジンを1社で生産することは資金、技術、人員などの面で難しい。現実には分業構造のもとで、エンジンメーカーの技術競争力は、数多くのサプライヤによって支えられている。日本では、株式会社 IHI (以下、IHI)、川崎重工株式会社 (以下、川崎重工)、三菱重工航空エンジン株式会社 (以下ではグループ名称にもとづき三菱重工と呼ぶ)¹が1980年代から欧米企業による生産の一部を担い、段階的に担当範囲を広げてきた。

分業構造を分析する際に、日本企業の視点からはサプライヤ論が参考になる。浅沼万里 (1997) は、高度成長期以降の日本の自動車及び電機・電子産業では、同一部品を大量生産する長期継続的取引関係を通じて、「中核企業のニーズまたは要請に対して効率的に対応して供給を行うためにサプライヤの側に要求」される「関係的技能」が形成されることに注目する。この議論をふまえて斎藤栄司は、複雑・高度な技術・技能を要する単品受注生産品である金型の場合、同一生産行為を繰り返して技術を蓄積できないため、「同一ユーザー、同一業種ユーザーから類似製品あるいは類似部品用の同一種類の金型を継続して生産」することで金型メーカーは技術・技能を蓄積できると述べ、金型生産の技術的特殊性が長期継続的取引関係を必要とする側面を強調する²。

浅沼はまた、貸与図サプライヤが高い利潤を期待してより複雑な部品の貸与図サプライヤを志向し、さらには開発能力を要する部品の承認図サプライヤを志向することから、サプライヤが貸与図メーカーから承認図メーカーに「進化」すると考える。それに対して植田浩史 (2000) は、サプライヤにとっては追加の投資が必要になることや、発注側にとっては高度成長期のような条件が必要になることから、現実に「進化」は限定的であることを指摘する³。一連のサプライヤ論は、日本企業の競争優位もしくは日本的な特質に着目した議論だが、アメリカのエンジンメーカーとサプライヤとの関係を考える際にも有効であると考えられる。

一方で、欧米のエンジンメーカーの視点からは、競合相手にもなりうる日本企業を自らの分

業構造に組み込んできたとみることができる。筆者は山崎（2011）において、航空機メーカーとサプライヤの関係に着目し、1次サプライヤのレベルで制御機器メーカーがシステム・サプライヤに成長してシステム・インテグレータとしてのボーイングを支える一方で、基本設計と中核技術の生産、システム統合を手放さないことがボーイングの技術競争力の源泉になっていることを明らかにした。本論文では、同様の議論を欧米のエンジンメーカーと日本のサプライヤとの間でも論じることを試みる。

以上の問題意識にもとづき、本論文では、民間航空機エンジンの国際的な分業構造において、日本企業がサプライヤとして欧米企業の競争力を支える一方で、主導的立場はエンジンメーカーが維持し、日本企業がそれらにとって代われない理由を分析する。その際には、単品生産ではないが自動車に比べると非量産品である航空機エンジンにおける完成品メーカーとサプライヤの関係にも着目し、エンジンメーカーの技術競争力の要因に迫る。

なお本論文では、OEMとしての欧米のエンジンメーカーに対して、契約形態によってサプライヤを区分する。まず貸与図による下請生産を行うサブ・コントラクター（サブコン）、次にRSP（Risk and revenue Sharing Partner）方式で主に承認図によって部品や結合部品、モジュールを供給するパートナー、そして共同事業もしくは合弁事業（Joint Venture）の形態をとるフル・パートナーである。

RSPは、開発費を分担し、参画シェアに応じてリスクを負う代わりに収益が分配される方式である。新製品（工場出荷時搭載部品）の場合、エンジン販売の収益が参画シェアに応じて分配されるが、値引きも負担しなければならない。たとえば、エンジンのカタログ価格が10億円で製造コストが3億円だった場合、10%の比率で参画する企業は、エンジンが1基売れるたびに1億円の収益分配を受け、製造コストは3000万円になる。しかし、仮にエンジンが8割引きで販売されると、収益分配は2億円の10%で2000万円にとどまり、収支は赤字になる。補用品（交換部品）の場合は、部位によって交換頻度が異なるので、製造コストを差し引いた交換部品の収益は、基本的には参画シェアに応じてすべてのパートナーに分配される⁴。

それに対してフル・パートナーになると、RSPの権限・責任や業務範囲に加えて、事業の意思決定への参加やプログラム全体の管理、プロダクト・サポート、マーケティング、営業、契約などすべての活動に参加して合議で決定をする⁵。

以下では、第2節で、日本における民間航空機用ジェットエンジン事業の成り立ちを、V2500エンジンに着目して確認する。第3節で、日本企業が欧米企業の部品パートナーとして担当範囲を段階的に広げ、モジュール・パートナーに成長したことを明らかにする。しかしながら第4節では、日本企業が成長する一方で、欧米のエンジンメーカーが外注化しない部位やプロセスを分析し、国際分業における主導性をいかに確保しているのかを明らかにする。

2. 日本における民間航空機用ジェットエンジン事業

戦後日本における民間航空機用ジェットエンジン事業は、1966年に通産省工業技術院に創設された大型工業技術研究開発制度（大型プロジェクト制度）を利用して始まった。科学技術庁の航空宇宙技術研究所の指導のもとで、IHI が約70%、川崎重工業が約15%、三菱重工業が約15%の割合で設計・試作を担当した。第1期計画（1971～76年）で推力5トン、第2期計画（1976～81年）で推力6.5トンのジェットエンジン開発が目標とされ、約206億円の開発資金が投じられた。1985年には、ジェットエンジン FJR-710を搭載した短距離離着陸機「飛鳥」が初飛行を記録した⁶。

当時の日本には、高空飛行状態を模擬する高空性能試験設備がなかったため、1977年にイギリスの国立ガスタービン研究所（NGTE、現在は王立航空機研究所に合併）で各種試験を実施した。この時に日本の技術水準の高さが認められ、欧米メーカーとの共同事業が始まった。RR の呼びかけに応え、1979年12月に IHI、川崎重工業、三菱重工業の3社は、100～120席級の航空機エンジンの共同事業計画に調印した。1980年代前半には RJ500（XJB）エンジンの開発が進んだが、需要が想定よりも大きな130～150席機に移ると予測されたことから、開発費負担の増大をともなう共同事業の再構築が必要になった。

その一方で、1981年7月頃から GE と P&W のそれぞれから日英両国に働きかけを受け、1982年3月には RJ500と類似の計画をもつ P&W のグループが共同開発の相手企業に絞られた。P&W がドイツの MTU（Motoren-und Turbinen-Union）とイタリアの Avio Aero（当時は Fiat Aviation S.p.A）の参加を要請したため、このプロジェクトは5カ国の共同事業に発展し、1983年12月に合弁会社 IAE（International Aero Engines）が設立された⁷。

こうして小型輸送機用の V2500エンジンへの参画比率は、RR と P&W（契約当事者は UTC〔United Technologies Corporation〕）が各30%、日本が23%、MTU が11%、Avio が6%になった。日本側の窓口としては、通商産業省（現在の経済産業省）の指導の下に、IHI、川崎重工業、三菱重工業が協力して日本航空機エンジン協会（JAEC: Japanese Aero Engines Corporation）が1981年に設立され、国内のワークシェアは IHI が59.8%、川崎重工業が25.2%、三菱重工業が15%になった⁸。V2500は、民間航空機エンジン事業において欧米企業と共同開発を経験し、技術を蓄積できたという意味で日本企業には重要な機会になった。

この V2500が市場に受け入れられて年間販売数が100基を超えるのは1990年代後半からであり、補用品（交換部品）の販売などによって売上高が順調に伸びるのは2000年代半ばからであった⁹。V2500の合弁事業とともに日本企業の成長を支えたのは、欧米企業との RSP 方式の事業への参加であった。

3. 部品パートナーからモジュール・パートナーへ

日本企業は、サブ・コントラクターに始まり、欧米企業の部品パートナーとして担当範囲を段階的に広げ、モジュール・パートナーに成長してきた。以下では、主に川崎重工業の中圧圧縮機生産、IHIの低圧タービンとブレード生産、三菱重工業の燃焼器生産に着目して、日本企業の成長プロセスを具体的に確認する。

(1) 川崎重工業による中圧圧縮機モジュールの供給

川崎重工業にとっては、V2500への参画に加えて、1988年からRSP方式でRRのプログラムに参加したことがモジュール・パートナーに成長するきっかけになった。表1に川崎重工業の明石及び西神工場における民間航空機エンジン事業の歩みを示す。川崎重工業において、ジェットエンジン事業はガスタービン・機械カンパニーに属し、2016年度は機体事業を含む航空宇宙カンパニーに次ぐ売上高2419億円の規模であった¹⁰。

表1：川崎重工業の明石及び西神工場における民間航空機エンジン事業

		参画 比率	エンジン運用数		
			1993	2004	2012
1980年	RRのRB211の部品製造・下請契約（サブ・コントラクター）				
1983年	5カ国共同によるV2500（主にA320向け）の合弁事業に参画	5.8%	260	2,154	4,622
1985年	P&WのPW4000（広胴機用）でRSP契約による部品の製造開始	1%	979	2,423	2,959
1988年	RRのRB211-524（L-1011など）にRSP契約で参画	3%	894	1,013	630
	RRのTrent700（A330用）にRSP契約で参画	2.7%	-	264	994
1990年	RRのTrent800（777用）にRSP契約で参画	4%	-	392	448
	西神工場 第1工場を建設（3月）				
1996年	CF34-8にRSP契約で参画	3%	-	2,464	3,112
1998年	明石工場にテストセル（ジェットエンジン運転試験用設備）が完成				
	RRのTrent500（A340用）にRSP契約で参画（ドラムを担当）	5%	-	216	512
2003年	RRのTrent900（A380用）で丸紅のサブコン契約		-	-	192
2005年	Trent1000（787用）にRSP契約で参画（モジュールを担当）	8.5%	-	-	44
2006年	西神工場 第2工場を建設（7月）				
2007年	西神工場 第3工場を建設（10月）				
2009年	Trent XWB（A350XWB用）にRRSP契約で参画（モジュールを担当）	7%	-	-	-
2011年	PW1100G-JM（A320neo用）の国際共同開発に参画	6%	-	-	-
2012年	西神工場 第4工場を建設（9月）				

注：エンジン運航数はJet Information Servicesのデータを参考に筆者が推計した（山崎，2017，76ページ）。「CF34-8」の運用数はCF34-3を除くCF34-8/10、「RB-211-524」もそれ以前の型の運用数は含まれていない。

出所：川崎重工業（2013b），14ページ。川崎重工業（2013a），1ページ。川崎重工業（2008），5ページ。明石工場史編纂委員会（1990），283ページ。

1980年、川崎重工業は、IHIとともにRRの引き合いを受けてRB211エンジンの部品下請生産に合意した。それにともない、約30億円をかけて明石工場（兵庫県明石市）に専用生産設備が新設された¹¹。1983年に5.8%の比率でV2500に参画してから、川崎重工業は、1985年に

1.04%のシェアでPW4000エンジンのプログラムにRSP方式で参画した。約3000億円にのぼる開発費負担からP&Wは日欧韓の企業に参加を呼びかけ、IHIと三菱重工業が資金不足などを理由に参加を見送る一方で、川崎重工業が参画を決めたのだった。これによって、V2500で三社が一体的に行動してきた体制が崩れ、「これからは日本市場で三社が食い合うよりも相互に国際的仕事を増やす方向に進むだろう」(IHIの高橋貞雄専務〔当時〕)と考えられた¹²。

しかし、川崎重工業にとっては、1988年からのRSP方式によるRRのプログラムへの参加がより重要であった。1980年以来、川崎重工業は、RB211のサブ・コントラクターであったが、派生型であるRB211-524G/Hを含めた524シリーズについてパートナーとして部品を担当することに合意し、1988年12月に従来の下請(サブコン)契約からRSP契約に切り替えられた。これに先立つ1987年2月には、分散していた事務・技術部門の効率的活用と事業規模拡大のために明石工場内にジェットエンジンの新工場(第48工場)が建設され、1990年3月にはエンジン部品を機械加工する西神工場(兵庫県神戸市)が建設された。続いて川崎重工業は、1990年にTrent800(777用)、1998年にTrent500(A340用)のプログラムにRSP方式で参画した¹³。

民間機用ジェットエンジン事業が本格化すると、防衛庁(現在の防衛省)向けの多品種少量生産からの転換が必要になり、1993年から明石工場と西神工場の生産ラインが再編成された。それまでは、一定量をまとめて加工するロット生産方式がとられ、たとえばV2500のブレードは工程ごとに明石工場と西神工場を何度も往復していた。この方式を改め、基本的には西神工場で一貫した連続加工を行う「一個流し」方式が導入されると、物流の手間や経費が省かれ、生産リードタイムも大幅に圧縮された。V2500のブレードの生産に約80日、ファンケースの生産に約120日がかかっていたが、1994年から1996年にかけてそれぞれ15日と40日に短縮された。月産8個のファンケースは、納期が6ヵ月であれば常時48個の仕掛品を工場内に抱えるが、2ヵ月であれば16個に減らすことができることになる¹⁴。

生産工程の改善とともに、現場作業員には多能工化が求められた。従来は、旋盤や穴あけ、研削など工程ごとに作業エリアが機能的に分割される「ジョブショップ」で、作業工には特定の技能への習熟が求められた。それに対して、全工程の工作機械を同じ場所に集めて一貫生産する「フローショップ」では、1人で全工程の責任をもつ多能工が求められた。1998年の時点で、V2500のブレード生産では、1人で8台の機械を担当するようになっていた。多能工化は、ジョブショップ制における熟練工からの反発が予想されたため、1990年に建設されたばかりの西神工場ですまは導入された。1年をかけてOJT(オン・ザ・ジョブ・トレーニング)で各工程を経験するそれまでの社員育成制度は廃止され、多能工化のために必要なジェットエンジンの構造に関する知識が専門の教育機関から提供されるようになった¹⁵。

2000年代半ばからは参画比率とともに生産の規模が大きくなった。RB211-524の3%、Trent700の2.7%からTrent500では5%の参画比率になり、Trent1000は8.5%、TrentXWBは7%の比率に増えた。2016年12月末現在、Trent1000が搭載されるボーイング787の確定受注

は1200機（加えてオプションは262機）、TrentXWB が搭載されるエアバス A350の確定受注は818機（オプションは222機）であり、受注残機数はそれぞれ700機と754機であることも生産規模を大きくした¹⁶。2011年には、V2500の後継となるA320neo用のPW1100G-JMエンジンの国際共同開発への参画も決まった。

参画比率と生産規模の増大は、生産設備の拡張を必要とした。1990年に西神工場の第1工場が建設されてから、生産工程を改善しながら事業規模が拡大してきたが、2005年にTrent1000の中圧圧縮機モジュールの担当が決まると、2006年に45億円を投じて第2工場が建設された。続いて2007年に第3工場、2012年に第4工場が建設された。2015年までの10年間で約170億円が投じられて工場建屋の新設など増産体制が整えられると、その後は「自動化のレベルを上げていく段階」（三島悦朗・ガスタービンビジネスセンター生産総括部総括部長）とされた¹⁷。

担当部位の面では、段階的に重要な部位を担当するようになった。川崎重工業は、RB211とTrent700/800では低压タービンのケースやディスクを担当したが、Trent500では中圧圧縮機（IPC）のドラム、Trent1000/XWBでは約4000点の部品¹⁸から構成される中圧圧縮機モジュールの組立までを担当している。

ディスクは、チタン素材が旋盤やマシニングセンタによって円盤状に機械加工され、その外周にブレード（羽根）を取り付けるために溝加工（ブローチ加工）がなされる。中圧圧縮機のドラムは、8段のディスクが電子ビームで溶接された回転体であり、単体の部品ではなく結合部品である。このドラムにブレード（動翼）とベーン（静翼）を取り付けたものがロータである。8段のディスクに用いられる合計418枚のブレードはすべて重量が計測され、バランスがとれるようにコンピュータで計算された位置に手作業で取り付けられ、バランスマシンによってアンバランスが修正される。さらに、ロータとケースの間の隙間をごくわずかに調整するために、ブレードチップ研削盤でロータを高速回転させ、遠心力で正規位置に固定させたブレードの先端をミクロン単位で研磨する。ドラムにケースやフロントベアリングハウジングを一体化すると中圧圧縮機モジュールになる。Trent1000の圧縮比は50対1以上であり、地上では圧力容器として50気圧に耐えながらケースの厚さは数ミリ程度におさえねばならない¹⁹。

川崎重工業は、担当する部位を単独の部品から結合部品、モジュールに変化させながら参画比率と生産規模を増やし、生産工程を改善するとともに生産設備を拡張してきたのである。

（2）IHIによる低压タービンモジュール及びブレードの供給

IHIは、V2500への参画に加えて、主にGEのエンジン・プログラムに参画し、P&WやRRにもブレードなどを供給することでモジュール・パートナーへと成長してきた。表2に、IHIにおける民間航空機エンジン事業の歩みを示す。IHIにおいて、2016年度の売上高1兆4863億円のうち航空・宇宙・防衛事業セグメントは31%（4719億円）であり、その大半を航空エンジンが占めた。航空エンジンにおける防衛と民間の割合は、1990年代から民間の割合が徐々に増

え、2005年頃に民間の売上高が防衛を上回った²⁰。

表2：IHIにおける民間航空機エンジン事業

		参画 比率	エンジン運用数		
			1993	2004	2012
1957年	ジェットエンジン専門工場として田無工場を開設				
1966年	通産省の「高島通達」により国内プライム3社体制に				
1970年	田無工場から分離して瑞穂工場が独立。部品生産と組立・運転・整備を分担。				
1973年	IHI 航空エンジン事業部に精密鑄造部設立				
1977年	IHI より分離独立して ICC (石川島精密鑄造) の設立				
1980年	RR の RB211の部品製造・下請契約 (サブ・コントラクター)				
	呉第二工場を航空宇宙事業本部に編入				
1983年	5カ国共同による V2500 (主に A320向け) の合弁事業に参画	13.8%	260	2,154	4,622
1988年	RR の RB211-524 (L-1011など) に収入配分方式で参画 (開発不参加)	(5%)	894	1,013	630
1990年	GE の GE90 (777用) に RSP 契約で参画	8.7%	-	318	1,338
	P&W の旅客機用メインシャフトを独占供給する契約が成立				
1992年	RR の Trent800 (777用) に RSP 契約で参画	(5%)	-	392	448
1996年	CF34-8に RSP 契約で参画	27%	-	2,464	3,112
1998年	相馬第一工場の開設 (ICC も相馬工場を開設)				
	RR の Trent500 (A340用) に RSP 契約で参画	5.5%	-	216	512
2001年	相馬工場に第二加工棟 (第一工場) を建設				
2002年	RR の Trent900 (A380用) の低圧タービン・ブレード供給で合意		-	-	192
2004年	GE の GE9x (787用) に RSP 契約で参画	15%	-	-	214
2006年	相馬工場に第三加工棟 (第二工場) を開設。田無工場からの撤退 (相馬工場への集約)				
2007年	相馬工場に第四加工棟 (第二工場) を建設				
2011年	PW1100G-JM (A320neo 用) の国際共同開発に参画	15%	-	-	-
2016年	相馬工場に第五加工棟 (第一工場) を建設				

注：エンジン運航数は Jet Information Services のデータを参考に筆者が推計した (山崎, 2017, 76ページ)。
「CF34-8」の運用数は CF34-3を除く CF34-8/10, 「RB-211-524」もそれ以前の型の運用数は含めていない。
出所：「IHI 航空宇宙50年の歩み」(2007), 3, 127, 137, 139, 140, 142~145, 255, 264, 265ページ。佐藤・今村・藤村 (2013), 29ページ。須貝 (2015), 6ページ。「航空エンジン部品を生産する相馬工場の新加工棟を建設 (2007年10月19日)」『IHI プレスリリース』(https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2007/aeroengine_space_defense/2007-10-19/index.html, 2018年4月4日閲覧)。「相馬第一工場第5加工棟竣工」『日経建設工業新聞』2016年8月19日付。「英ロールス製航空機エンジン、石播も開発に参加へ」『日経産業新聞』1998年12月8日付。エンジン運航数は Jet Information Services のデータを参考に筆者が推計した (山崎, 2017, 76ページ)。

IHI は、1983年に13.8%の比率で V2500に参画する一方で、川崎重工業と同様に、1980年から RR の RB211の部品製造を下請契約で請け負い、サブ・コントラクターとなった。1988年からは RB211の G/H/J/L モデルに RSP 契約 (約5%) で参画するようになり、1992年には Trent800にも参画した。ただし、川崎重工業とは異なり、IHI は開発段階には参加せず、RR の図面 (貸与図) と仕様のもとづいて製造する例外的な RSP 形態 (Manufacturing RSP) をとった²¹。

IHI は軍用エンジンの生産で GE と深い関係にあり、民間機エンジンでも GE との関係を優先して、RR と一定の距離をおいたとみることができる²²。IHI は、1954年に米軍向けのエンジン J47-GE-27 (F-86F 戦闘機) の部品で GE と技術提携してから、1960年に J79-11A (F-104J

戦闘機)、1969年にJ79-17 (F-4EJ 戦闘機)、1996年にF110-129 (F-2戦闘機)といった戦闘機用のエンジン、またヘリコプタや対潜哨戒機用のT58 (1961年)、T64 (1965年)、T700 (1988年頃)でもGEと技術援助契約を結びライセンス生産をしてきた。IHIは、GEの他にRRやGM、P&Wとも技術提携契約を結んだが、とりわけGEと一貫して強い結びつきをもってきたのである²³。

IHIが民間機エンジン事業で成長する決定的な要因も、GEのエンジン事業への参画であった。山崎(2017)で明らかにしたように、1990年代以降、GEはすべての製品群で市場シェアを増やし、P&Wをしのいで民間機分野では最大のシェアを占めるようになった。P&WとIAE (P&Wが参加する合弁事業)、GEとCFMI (GEが参加する合弁事業)をそれぞれ合計した市場シェアは、1993年の64%と28%から、2004年には40%と47%、2012年には27%と59%と変遷し、GEの成長が著しいことがわかる²⁴。GEの成長にあわせるかのように、IHIは1990年に推力40t超級のGE90 (777用)に8.7%の比率、1996年には10t未満級のCF34 (リージョナルジェット用)に27%の比率、2004年には30t級のGEnx (787用)に13%の比率でRSP方式による参画を続けてきた。推力10t級のV2500 (A320用)とその後継となるPW1100G-JM (A320neo用)に参画 (2011年、15%)したことをふまえれば、すべての製品群の主要エンジンに参画してきたのがわかる。

GEは当初、MTUとIHIがGE90の低圧タービンを担当することを望んだが、1990年にMTUがGEと競合するP&Wとの資本提携を発表したことで、契約違反としてGEが損害賠償を請求する事態に発展した。MTUが予定した部位を含めた担当は多額の開発費負担を強いられるが、低圧タービンを扱うことで高度な技術を習得でき売上高構造における民需比率を増やせるという思惑からIHIはプログラムへの参加を決めた²⁵。こうしてGE90にはGEが59%、フランスのSafran (Safran Aircraft Engines、当時はSnecma)が25.3%、IHIが8.7%、GEnxではIHI (15%)以外にAvio、イギリスのGKNなどが参画し、CF34ではGEが70%、IHIが27%、川崎重工業が3%という比率で参画している²⁶。IHIは参画しないが、737やA320用のCFM56エンジンではGEとSafranが50対50の合弁事業CFMI (CFM International)を設立している。GEからみれば、それぞれの主力エンジンで国際分業をしているのである。

ところが1990年代後半のIHIにとって、GEのプログラムへの参画は必ずしも成功とみなされず、1998年に5.5%のRSP契約でRRのTrent500に参画した。この時点ではGE90の販売は不振であり、CF34-8は型式承認を取得していなかったのである。IHIはTrent700/800の部品の下請生産を続けていたが、この時に初めてRRのプログラムに開発・設計から関与した。それまでIHIはGEとの関係を重視してきたが、販売実績を伸ばすRRとの関係を強化してエンジン事業の拡大を図ったのである。IHIがRRのプログラムに本格的に参画したことは、主に川崎重工業がRR、三菱重工業がP&W、IHIがGEと深めていた関係を変化させ、日本企業のそれぞれが欧米企業と複雑に関係を築くきっかけの一つにもなった。2005年には三菱重工

業も RR のプログラムに参画した²⁷。

しかしながら、世界最大の推力52.2t(11万5000ポンド)を誇る GE90-115B が2002年に型式承認を得ると、ボーイング777の航続距離延長型である777-300ER(及び777-200LR/ER)に独占的に搭載されるようになり、GEのエンジン事業の柱の一つに成長した。従来型の777には3社がPW4000-112inch、GE90、Trent800を供給していたが、航続距離延長型は市場規模が500機程度と予測されたことから、開発費負担などをふまえて、1999年7月にボーイングとGEがGE90-115Bを唯一の搭載エンジンとすることで合意した²⁸。777-300ERへの受注を反映し、2004年に運用された318基のGE90のうち20基を占めたGE90-115Bは、2012年には1338基のうち796基を占めた²⁹。

こうしてIHIは、GEを中心に高い比率でエンジン・プログラムに参画し、生産規模の拡張に対応しながら成長してきた。航空宇宙事業の生産拠点としては、J47の部品生産と国産ジェットエンジンJ3の研究開発に対応して、1957年に部品生産と組立を一貫して行う田無工場(東京都西東京市)が開設された。1970年には防衛庁(当時)向けの生産や民間向けの整備が増えて田無工場が手狭となり、瑞穂工場(東京都西多摩郡)が分離・独立し、部品生産を田無、組立・運転・整備を瑞穂で行うようになった。呉第2工場(広島県呉市)は、1980年にRRエンジンの部品製造の拠点となり、1986年には航空エンジン部品専門工場として全面改装され、シャフトや大型構造物を供給する拠点となった。

IHIは生産工程の改善にも取り組んできた。1993年、当時の大慈弥省三専務がGEやP&Wの工場を訪問し、かつての多機能マシニングセンタ(MC)による大ロット生産はもはやなされず、単機能の工作機械が並べられて「シンプル・アンド・スピーディー」が実現されて工期が短縮されていることを知った。これを契機として、IHIでは在庫圧縮と工期短縮のために「一個流しライン」が構築された。田無工場と呉第二工場で「94年度末の棚卸し資産回転率を12回まで高める」という目標が設定され、「量をまとめて同じ加工をする大ロット生産を、可能な限り同じテンポで一個ずつ生産する方式に転換する」ために42台の機械が並べられた。ただし、ここで問題になるのが段取り替えだった。たとえばGE90だけでもディスクは5種類あり、一本の「一個流しライン」で数種類を混流生産するためには、頻繁な段取り替えを素早く行う必要があった。そこでIHIでは、「スーパーマーケット」と呼ぶ事前準備場が設置され、「段取りマン」と呼ばれる作業員が治工具をラインまで運搬する。こうして呉第二工場では、3~4ヵ月かかっていたエンジンシャフトの納期が半減され、仕掛品の滞留が減少した³⁰。

1990年代後半からは、民間エンジン事業のさらなる拡大とともに生産設備が拡張された。1998年にタービンブレードの製造に特化する相馬工場(第一工場第一加工棟、福島県相馬市)が開設され、2006年には田無工場が閉鎖されて、その機能は相馬に全面移転された³¹。開設後も相馬工場は順次拡張され、2001年に第二加工棟(第一工場)、2006年に第三加工棟(第二工場)、2007年に第四加工棟(第二工場)、2016年に第五加工棟(第一工場)が建設された。こうして、

相馬第一工場でタービブレード、第二工場で中小型部品、呉第二工場で大型部品やシャフト、瑞穂工場でエンジンの組立・運転・整備・試験を行なう企業内分業体制ができあがった。ディスクについては、2007年から呉第二工場と相馬工場とともに、産業機械を扱う横浜第二工場を含む三拠点で生産できるようになった³²。

タービブレードは、相馬工場内に立地する株式会社 IHI キャスティングス（ICC）などから調達する精密鑄造素材を砥石で研削加工し、特殊なコーティングが施される。相馬第一工場では、生産されるブレードとノズルの9割が民間航空機用であり、ブレードの生産数は、2001年に18万枚、2003年に28万枚、2007年に64万枚、2011年には75万枚、2013年には81万枚と増加し、ブレードの供給では世界有数の生産拠点といっても過言ではない³³。相馬工場では、2010年以降にタービブレードを年間100万枚、大型タービンディスクを2500枚、中型タービンディスクを2400枚生産することが目指された³⁴。

エンジンシャフトは、多くのプログラムにおいて大同特殊鋼から調達する素材を IHI が加工する。1990年に、受注に生産が追いつかなくなった P&W が、自社生産してきたエンジンシャフトの外注方針を打ち出し、協力を求められた IHI が下請生産を始めた。777-300ER に搭載される GE90-115B エンジンの低圧シャフトの素材には、開発を主導する GE の特許をもとに IHI、大同特殊鋼と共同開発した新マルエージング鋼（GE1014）が採用された³⁵。これは「疲労破壊の起点になる介在物を極力廃しクリーンな材料を得るために材料の溶解工程の改良を重ね」たものである³⁶。IHI では、2013年には主要なジェットエンジンのシャフトを30～50種類、年間約4000本を生産していた³⁷。

大同特殊鋼が民間機向けの素材提供を本格化したのは、1985年に IHI を経由して V2500 のエンジンシャフトからであり、1987年に四面鍛造機を導入してエンジンシャフトの事業が本格化した。その後、大同特殊鋼は P&W の PW4000 や JT9D、PW2000、RR の RB211-524 や RB211-535、Trent700/800/1000、GE の GE90 や GEnx に低圧シャフトの素材を提供しており、シャフト鋼材では世界シェアの約3割、中型・大型機エンジンに使う3メートルサイズに限定すると世界シェアの7割を占める。大同特殊鋼は、フランスのオベール・アンド・デュバル（Aubert & Duval）やアレゲニー・テクノロジーズ（Allegheny Technologies）と並ぶ低圧シャフト用素材の供給企業なのである。2013年時点の累積生産数は2万本以上であり、その約7割は V2500 向けであった³⁸。

IHI は、GE と RR のエンジンでは低圧タービブレード、P&W が中心的役割を務める IAE のエンジンではファン及び低圧圧縮機と幅広い範囲のブレードやディスクを扱い、生産設備の改善と拡張を続けてきた。単独の部品や結合部品の供給に始まり、モジュール組立を担当するようになって、GE の CF34 と GEnx では低圧タービンモジュール、IAE の V2500 ではファンモジュールを担当するようになったのである³⁹。しかし、高圧タービブレードは防衛省向けのエンジンで扱うだけで、民間用は基本的に低圧系に特化しており、高圧系は欧米のエ

ンジンメーカーが握っていることに注意しなければならない。

(3) 三菱重工業による燃焼器モジュールの供給

三菱重工業が民間航空機エンジン市場で成長する契機は、V2500への参画に加えて、エンジン燃焼器と低圧系に特化して、1989年からP&W、2005年からRRの事業に参画したことであった。表3に、三菱重工業の名古屋誘導推進システム製作所(名誘、愛知県小牧市)における民間航空機エンジン事業の歩みを示す。三菱重工業においては、名誘の2014年度の生産高は2003億円であり、そのうち60%がミサイル、20%が民間航空機エンジン、12%が防衛省向けの官需エンジン、8%が宇宙エンジン・機器であった⁴⁰。

表3：三菱重工業の名古屋誘導推進システム製作所における民間航空機エンジン事業

	参画 比率	エンジン運用数		
		1993	2004	2012
1972年				
1983年	3.45%	260	2,154	4,622
1984年	3%	2,310	2,450	1,736
1986年				
1989年	10%	979	2,423	2,959
2002年	7.5%	-	-	30
2005年	7%	-	-	44
2005年		-	-	214
2008年		-	-	-
2009年	7%	-	-	-
2011年	2%	-	-	-
2014年				

注：2008年の事業集約は、2014年9月9日に実施した三菱重工業株式会社名古屋誘導推進システム製作所におけるヒアリング調査にもとづく。エンジン運航数はJet Information Servicesのデータを参考に筆者が推計した(山崎、2017、76ページ)。

出所：三菱重工業(2013a)、3、5ページ。佐藤(2013)、29ページ。参画比率は日本航空機開発協会(2017)、Ⅷ-28ページを参照した。TrentXWBの参画年は『日経産業新聞』の2009年1月21日付と2009年1月8日付を参照した。

1983年にV2500の合弁事業に3.45%のシェアで参画した後、1984年にはP&WのJT8D-200に参画比率3%のRSP方式で参加し、1989年にはP&WのPW4000にRSP方式で参画した。PW4000への参画比率は、当初の1%から1991年には5%、1993年には10%に引き上げられた⁴¹。三菱重工業が燃焼器に特化したのは、参画比率を10%に引き上げ、P&Wが三菱重工業との間でPW4000の燃焼器の戦略的な移管に合意してからであった⁴²。同じ1993年からは生産時間(フロータイム)の短縮を目標に、部品の一個流しや作業者の多工程持ちを徹底して生産効率の改善にも取り組み、防衛庁向けの生産体制からの転換が進められた⁴³。

P&W は、コネティカット州ハートフォードで民間航空機の燃焼器を製造していたが、軍用エンジンや P&W カナダによる小型のエンジンを除き、PW6000（2002年参画）や PW1200G（2008年参画）を含む民間航空機エンジンの燃焼器の製造を三菱重工業に任せるようになった。燃焼器は、外径側はケース（gas generator casing）、内径側は燃焼筒（flame tube）と燃料ノズル（fuel nozzle）、着火器（Igniter）から構成され、さらに燃焼筒は上端部にあるドーム（dome）と円環部のライナ（liner）から構成される⁴⁴。三菱重工業はこれら部材の製造とともに、PW1100G や PW6000では燃焼器モジュールの組立を担当するモジュール・パートナーとなった。

P&W との強い結びつきの中で三菱重工業は成長したが、次の転機は2000年代半ばに訪れた。ボーイング787向けに GE が GEnx、RR が Trent1000を開発する一方で、P&W は対抗するエンジンの開発を断念した。P&W を傘下にもつ UTC の CEO であったデイビッド（George David）は、「P&W はそのエンジンのために事業を立ち上げることはできなかった」と2005年9月の投資家向けカンファレンスで発言した⁴⁵。そのため三菱重工業は、2005年に RR の Trent1000、続いて2008年に TrentXWB にそれぞれ7%の比率で川崎重工業とともに参画した。

三菱重工業の担当分野では、燃焼器の特性に応じた製造技術が求められた。Trent1000の燃焼器ケースは、運転中に高圧に耐えながら、熱膨張する後部では耐熱性も求められる。そのため、アメリカの鍛造メーカーからニッケル基の耐熱合金を調達し、リング状の鍛造材が削り出される。

V2500で三菱重工業が製造するライナは、1 mm 未満のニッケル合金板を板金、溶接してドームと一体構造になり、内側は燃焼するため耐熱性や耐酸化性が求められる。その表面にはレーザー加工機で大小数千の穴が空けられ、圧縮機から抽気された圧縮空気が通過することでライナー等の壁を冷却したり、燃焼ガスを希釈することで燃焼ガス温度を一様にできる⁴⁶。燃焼器の冷却効率を上げるために、空冷用の穴は増大傾向にあり、たとえば TrentXWB では穴の数が従来の20倍以上に増え、それにとまって加工時間と納期の短縮が課題とされた。そこで2015年、三菱重工業は高速回転できるプリズムを用いて、直径1 mm 以下、厚さ1~3 mm の穴を従来の9分の1となる2秒で加工する技術を開発した⁴⁷。三菱重工業の担当ではないが、GE90では、冷却空気の流れが燃焼室の金属壁に均一に広がるように、流れに小刻みな抵抗を与えるため、レーザー加工によって正確な角度で数十万の微細な穴を燃焼室ライナーに空けている⁴⁸。

参画するエンジン・プログラムが増え、RR のエンジンが787や A350向けに大量の受注を抱えるようになる一方で、既存の名誘の工場では生産能力を拡張する余地があまりなかった。そこで2014年10月、三菱重工業89%、日本政策投資銀行10%、IHI から1%の出資を得て、民間航空機向けのエンジン事業を分社して三菱重工航空エンジン（愛知県小牧市）を設立した。2015年1月時点で名誘では年間約15万枚のブレードの生産能力をもったが、IHI に生産委託し

て、相馬工場の専用ラインで最大年間15万枚を生産することになった。さらに放電精密加工研究所の愛知県内の工場にも生産委託をし、自社と生産委託を合わせて全体で45万枚の生産能力を目指すとした⁴⁹。

三菱重工業は、燃焼器や低圧タービンに特化して、P&WのほとんどのプログラムとRRとGEのいくつかのプログラムで欧米企業のパートナーとなり、部品供給からモジュール組立にステップアップし、生産規模の拡大にも対応してきたのである。

ここで注意すべきは、三菱重工業が主に担当するのは燃焼器の製造であり、欧米のエンジンメーカーは噴射ノズルや着火器のような燃焼に関する中核技術の設計・開発は日本企業に外注していないことである。

燃焼そのものにかかわるのは燃焼ノズルと着火器である。燃焼ガス温度を一様にするために、燃料ノズルは小型エンジンでも12個、大型エンジンでは30個程度つけられ、ドームの中心部に燃料ノズルの出口部が位置する。高圧にされた液体燃料は、気化されて70~120度のスプレー角で燃焼筒内に噴霧され、圧縮機からの高圧空気と急速に混合される。噴霧の際には、燃料の粒が小さいほど、また空気中の酸素と混合させるほど燃焼効率がよくなる⁵⁰。

燃焼器の開発では、燃焼効率とともに大気汚染物質の低減が求められる。とりわけ、高温で空気中の酸素と窒素が反応してできる窒素酸化物(NOx)は、ICAO(International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機関)によって厳しく規制されているが、それら汚染物質の排出を抑えるためには燃焼の技術が鍵を握る。たとえばGEnxの燃焼器では、「燃料ノズル内に隣接して配置された二つのスワラで生成された渦によって燃料と空気の混合をより均質化、希薄化する。この結果、通常より大幅に低い温度での希薄燃焼を実現し、NOxだけでなく、CO、HC(未燃炭化水素)、スモークなどの排出量を低減した」⁵¹。

これら燃焼技術の課題にはエンジンメーカーが取り組む一方で、三菱重工業が特化しているのは燃焼器の製造技術であり、それゆえ技術開発上の焦点は、耐熱性など要求性能を満たした上で生産性を高めることにある。その意味では、高圧圧縮機や高圧タービンのブレードがほとんど外注されず、日本企業が担うのはファンや低圧圧縮機や低圧タービンが多いのと同様に、燃焼器でも中核となる燃焼技術は欧米企業が担っているのである。

4. 国際分業における欧米企業の主導性

日本企業が民間航空機エンジン市場で存在感を増してきた過程は、欧米企業にとっては日本企業がライバルのエンジンメーカーになることを阻みながら、自らの技術競争力を支える国際分業に組み込んできたプロセスと考えることができる。国際分業の中で、エンジンメーカーは主導的役割を担い、それを決してサプライヤーには任せない。本節では、国際分業における欧米企業の主導性を、製品類型、担当部位、開発と販売のプロセスの視点から検討する。

(1) 製品類型別にみた契約形態：大型エンジンと中小型エンジン

表4に日本企業が参画する民間航空機エンジンのプログラムを示す。ここからは、P&W, GE, RRといった欧米企業のエンジン・プログラムにおいてどの部位が、いつからどれくらいの比率で日本企業によって担われているのかわかる。

表4：日本企業が参画する民間航空機エンジンのプログラム（RSP方式を中心に）

搭載機種	GE			IAE		P&W			RR				
	777 A330	CRJ ERJ	787	A320	A320neo	DC9 737他	777 A330	A320	L-1011 747	777 A330	A340	A380	787 A350
エンジン	GE90 GE9X	CF34-8/10	GEnx	V2500	PW1100G-JM	JT8D -200	PW 4000	PW 6000	RB211 -524	Trent700 Trent800	Trent 500	Trent 900	Trent1000 TrentXWB
〈最大推力〉	40t超	10t未満級	30t級	10t級	10t級	10t未満	20-40t超	10t級	20t級	30-40t超	20t級	30t級	30-40t超級
型式承認取得年	1995未取得	1999	2008	1988	2014	1979	1986	2005	1988	1993 1995	2000	2004	2007 2013
日本企業参画年	1990 2016	1996	2005	1983	2011	1984	1985-川崎 1989-三菱	2002	1988	1988 1990/92	1998	2003 (丸紅)	2005 2009
運用数	1993年	-	-	260	-	2310	979	-	894	-	-	-	-
	2004年	318	2464	-	2154	-	2450	2423	-	1013	656	216	-
	2012年	1338	3112	214	4622	-	1736	2959	30	630	1442	512	192 44
ファン		blade/disk (-S) (IHI)		module/blade (IHI), case (三菱) case (川崎)	case/blade (IHI), disk (川崎)								
圧縮機	低圧 (RRは中圧)			disk/blade (川崎) bleed duct (三菱)	disk/blade (IHI, 川崎)		vane (川崎)			disk (IHI)	drum (川崎)	case (川崎)	module (川崎)
	高圧		blade (後段)(IHI)	blade/vane (後段)(IHI)			case (三菱)						
燃焼器			(case) (三菱)		module (三菱)		(三菱)	module (三菱)					(三菱)
タービン	高圧			case (三菱)		case (三菱)							
	低圧 (RRは中低圧)	blade/disk (IHI)	module (IHI)	module (IHI) disk (6-7段) (三菱)	disk (三菱)	case blade (三菱)	case (川崎) disk/blade (三菱)	blade/case/vane (川崎)	blade (IHI) disk/case (川崎)	blade (IHI)	blade (IHI)	blade (IHI)	blade (6段) (三菱)
シャフト (低圧)	(IHI)	(IHI)	(IHI)	(IHI)	(IHI)		サブコン (IHI)		(IHI)				
ギアボックス		(川崎)											
参画比率	IHI	8.7% 10.5%	27%	15%	13.75% (59.8)	15% (65)	-	-	(5%)	(5%)	5.5%	サブコン	
	川崎重工業	-	3%	-	5.8% (25.2)	6% (26)	1%		3%	2.7% (700) 4% (800)	5%	サブコン	8.5% (1000) 7% (XWB)
	三菱重工業			(2%)	3.45% (15.0)	2% (9)	3%	10%	7.5%	-			7%
	合計	8~10%	30%	15%	23%	23%	3%	11%	7.5%	3%	2.7~4%	11%	14~15.5%
他のパートナー	Avio GKN	-	Avio Safran	P&W/AEI MTU	P&W MTU					BMW 他	ITP Avio		ITP
備考				JAECとして23% Joint Venture (合弁事業)							丸紅も約10%	丸紅	14.5%

注1：RRのエンジンは、「ファン」の部分はファン及び低圧圧縮機を含むため低圧圧縮機、「低圧」には中圧圧縮機を含むので中圧圧縮機と読み変える必要がある。タービン部分も、低圧、中圧、高圧の3段階から構成されるが、表では「低圧」に低圧と中圧を含めている。

注2：bladeは動翼、vaneは静翼、羽を取り付けるのがdiskである。ただし、川崎重工業や三菱重工業でvaneと呼ばれる静翼は、IHIではnozzleと呼ばれる。

注3：1988年に開発が始まったRB211-524Lは、1989年にTrent700と命名された(Gunston, 1997, p. 196, 邦訳, 277ページ)。

注4：エンジンの「運用数」はJet Information Servicesのデータを参考に筆者が推計した(山崎, 2017, 76ページ)。「CF34-8」の運用数はCF34-3を除くCF34-8/10、「RB-211-524」もそれ以前の型の運用数は含めていない。787は開発の遅れによって2011年に運航を開始したため、Trent1000とGEnxの2012年時点の運用数はそれほど多くない。

出所：分担部位は基本的に日本航空機開発協会(2017, VII-28ページ及び2013年2月21日にJAECから提供された資料より。JTSDの情報は「三菱重・P&W 組む」[日本経済新聞]1984年4月18日付より。型式承認取得年は日本航空宇宙工業会(2016, 79ページ。ただしPW6000はEASAでのTC取得年(http://www.pw.utc.com/Content/Press_Kits/pdf/ce_pw6000_pCard.pdf, 2018年4月4日閲覧)。「他のパートナー」は、日本航空宇宙工業会(2017, 10~11ページより。GEのプログラムは、IHI(2007, 137ページ及び「国際共同開発に参加している最新型ジェットエンジン『GEnx』搭載のボーイング787の初飛行が成功(2010年6月17日)』[IHIプレスリリース](https://www.ihi.co.jp/ihi/all_news/2010/aeroengine_space_defense/2010-6-17/index.html, 2018年5月5日閲覧)より。

ここで世界の航空機エンジンをめぐる競争の構造を確認しておく。2013年の世界の主要な航空機エンジンメーカーによる売上高7兆8478億円のうち、航空輸送会社にエンジンを販売するエンジンメーカーの位置にあるのは基本的に **GE** (27.2%), **RR** (18%), **P&W** (18%) の3社である。これら欧米のエンジンメーカーと合弁事業や **RSP** 契約を結ぶパートナー (ティア1) に位置するのは、フランスの **Safran** (9.7%), ドイツの **MTU** (6.2%), スペインの **ITP** (1%), イギリスの **GKN**(2.2%), イタリアの **Avio Aero**(2.1%)に加えて、日本の **IHI**(4.4%), 川崎重工業 (1.1%), 三菱重工業 (0.7%) である。その他に、ハネウエル (8%) やかつてのターボメカ (現在は **Safran Helicopter Engines**) (2%) はビジネスジェットやヘリコプターのエンジンを提供する⁵²。

この中で日本企業は、推力10 t 未満から40 t 超にわたるすべての製品類型のプログラムに参画しているが、中小型では合弁事業の形態や20~30%という高い比率で **RSP** 契約を結ぶ一方で、大型エンジンでは **RSP** 方式が主であり、参画比率も10%程度にとどまっている。相対的にみて、日本企業は大型エンジンのプログラムに深く参加できていない。

リージョナルジェット向けの最大推力10 t 未満級の小型エンジンである **GE** の **CF34**には、**IHI** が30%という大きな比率で参画している。10 t 級の中型エンジンである **V2500**や **PW1100G** はフル・パートナー方式がとられ、日本企業の参画比率は23%となっている。しかし、**GE** や **GE90**, それに続く **GE9X** といった推力30 t 以上の大型エンジンでは、**IHI** や三菱重工業の **RSP** 方式による参画は、最大でも15%にとどまっている⁵³。最大推力20~40 t 級の大型エンジンである **P&W** の **PW4000**では三菱重工業と川崎重工業の参画は合計で11%である。

欧州企業の **RR** は、1995年にリージョナルジェット向けに開発した **AE3007**エンジンが旧式化し、その後継エンジンは開発していない。中型エンジンでも、**V2500**の合弁事業から2012年に撤退している。**RR** は中小型エンジンの事業を縮小し、大型エンジンに資源を集中しているのである。20~40 t 超級の大型エンジンである **Trent500/700/800/900/1000/XWB** には、日本の川崎重工業と **IHI**, 三菱重工業のそれぞれが参画しているが、日本企業の参画比率は合計で最大15.5%である。

したがって、日本企業は中小型エンジンには参画形態、参画比率ともにより高い水準で参入できている一方で、大型エンジンでは相対的に深く参入できていない。また、**GE** と **RR** は大型エンジンで新機種を開発しながら、日本を含む各国企業を **RSP** 方式などで国際分業に組み込んでいる一方で、中小型エンジンでは、**RR** は市場から撤退しつつあり、**GE** と **P&W** は合弁事業や **RSP** 方式で日本企業の参画比率も相対的に高い比率で受け入れ、開発・製造をより積極的に分担していることがわかる。

(2) 担当部位にみる主導性：中核技術としてのエンジンコア

担当部位からみると3大エンジンメーカーはエンジンコアを決して手放さず、日本を含むそ

の他のメーカーは周辺的な技術を担当している。

V2500では、ファンや低圧圧縮機、タービンを中心に部品を供給し、IHIはファンモジュールを担当した。後継のPW1100Gでは、三菱重工業が燃焼器モジュールを担当する。

その一方でIHIは、主に低圧タービンと圧縮機のブレードと低圧シャフトに特化している。IHIは、GEやRRの低圧タービン（GE90, GENx, CF34, Trent500/700/800/900）と中圧圧縮機（Trent700/800）のブレードやディスク、IAEのファン及び低圧圧縮機（V2500, PW1100G）、またそれぞれの低圧シャフトを生産しており、低圧タービン（GENx, CF34）やファン（V2500）ではモジュール組立を担当する。

川崎重工業は、主に中圧圧縮機に特化している。担当は、RRの低圧タービン（RB211, Trent700/800）のディスクやケース、ベーン、RRの中圧圧縮機（Trent900のケース、Trent500のドラム、Trent1000/XWBのモジュール）、IAEとP&Wのファン及び低圧圧縮機（V2500, PW1100G, PW4000）であり、Trent1000/XWBでは中圧圧縮機モジュールの組立を担当している。

三菱重工業はP&W, RR, GEという欧米エンジンメーカー3社の燃焼器（GENx, PW1100G, PW4000, PW6000, Trent1000/XWB）や低圧タービン（GENx, V2500, PW4000, Trent1000/XWB）のブレードやディスクに特化している。PW1100GとPW6000では、燃焼器モジュールの組立も担当している。

ジェットエンジンの技術は複雑・高度であり、型式認証にともなう作業や品質管理システムも厳しくチェックされることから、ある部位を担当すると、次のプログラムでも類似の部位を担当しやすくなる。「一度、民間エンジンでその部位を経験すると、その経験値が、やっていないメーカーに比べると圧倒的に差がつく…次の開発も同じ部位をやりようと思って、設計もより高度化するような研究開発を各社が続けるので、技術的にも先行優位の立場になる」⁵⁴のである。

しかし、このことは担当部位における住み分けにもつながり、高圧圧縮機と高圧タービンは基本的に3大メーカーが担当し続けている。IHIはGENxとCF34では高圧圧縮機の一部、三菱重工業もPW6000の高圧圧縮機ケースを担当するが、それらはごく部分的である。燃焼器でも、三菱重工業による担当は製造に特化しており、燃焼効率や排出ガスの抑制で鍵を握る燃焼技術の開発は欧米企業が独自で行なっている。

したがって、エンジンの担当部位には「参入障壁があり、OEM（GE, P&W, RR——筆者注）はエンジンのコア部分、高圧圧縮機、燃焼器、高圧タービンへの部分的な参入は許すが、基本的には全部自分たちでやるというスタンスである。…OEM = コアのマニュファクチャラーというのが基本的な構造である」⁵⁵。山崎（2013）でも述べたように、エンジンメーカーにとってエンジンコアは開発と製造で高度な技術が必要になるだけでなく、企業経営の面からはブレードの交換などアフターマーケットで高い利潤を生み出す収益源でもある。

（3）開発と販売のプロセスにみる主導性：初期設計・システム統合・アフターマーケット

民間航空機エンジンの開発は、概念設計、基本設計、詳細設計、試験運転、飛行試験、エンジンの型式承認、航空機の型式証明、運航という段階を経る。たとえば、PW1100Gでは、詳細設計が2011年4月、FETT（First Engine to Test）が2012年11月、飛行試験が2014年9月に始まり、型式承認は2014年12月、搭載機であるA320neoによる型式証明は2015年11月に取得され、2016年1月に運航が始まった⁵⁶。このプロセスにおいて、概念・基本設計という初期設計段階と、試験運転と型式承認というシステム統合段階、アフターマーケットの段階で欧米企業、つまりGEとP&W、RRの主導性がみられる。

第一に、概念設計は欧米企業によって担われ、日本企業は基本的に関与していない。概念設計では、仕様(spec)が設定されたり、燃費などの性能を達成するためにファンや圧縮機、タービンの段数などエンジンの基本的な要素が設定される。それにもとづいて、エンジンの断面図レベルの情報や、モジュールの入口と出口の境界条件（インターフェース）、温度や圧力の条件などが決められる。この段階は、P&Wはコネチカット州ハートフォード、GEはオハイオ州シンシナティ、RRはイギリスのダービーを拠点とする⁵⁷。

第二に、エンジン全体の基本設計と詳細設計は欧米企業が担う。全体設計は、個々の部品やモジュールの設計がアップデートされるたびに見直され、最終的には全部品、モジュールの詳細設計の結果を反映する。全体設計は大きく、エンジン全体システムとエンジン全体構造に分けられる。まず、エンジン全体システムとしては、詳細設計にもとづいて試作された部品やモジュールによるリグ試験、エンジン試験結果を反映して、エンジン性能、エンジン各部冷却空気設計、オイルシステム、エンジン制御システム等が更新（アップデート）される。次に、エンジン全体構造として、詳細設計結果の3Dモデルを組み合わせて、エンジン全体の3Dモデルが作成される。これにもとづき、エンジン全体振動やエンジン全体剛性解析を実施する。たとえば、ファン・ブレードが破断した場合のエンジン全体の挙動を解析によって求め、エンジン各部の強度が十分であることを確認する。強度が不足する部品については、その部品の詳細設計に立ち戻って設計変更する。このような繰り返し作業が、最終的に詳細設計が固まるまで継続される。エンジン全体設計は、個々の詳細設計結果をとりまとめて、エンジン全体としての性能、構造強度を満足させる作業なのである⁵⁸。

第三に、RSP契約を結ぶ日本企業は、担当する部位やモジュールの基本設計を欧米企業と共同で担当する。ある程度、基本設計が進むと、詳細設計を日本国内の日本企業の拠点で行い、詳細設計図が作られれば、それにもとづいて製造することができる。

たとえばTrent1000では、2004年10月の段階で三菱重工業が10人、川崎重工業が12人の設計技術者をRRの主力工場であるダービーに送り込み、TrentXWBでも中圧圧縮機を担当する川崎重工業が、2008年12月には約10人の設計技術者を基本設計の段階から派遣していた。Trent1000では、RRは航空輸送会社である全日本空輸の技術者も受け入れ、ユーザーの立場

から、部品の交換のしやすさなど整備面の要求を取り入れた⁵⁹。

ただし、すでに開発が進んでいる場合は担当部品を移管したり、詳細設計から参加することもある。三菱重工業が1993年にPW4000への参画比率を10%に高めた際に、PW4000-94inchとPW4000-100inchはすでに量産段階にあり、担当部品移管計画を設定して約1年をかけてP&Wからの移管を進めた。一方で、PW4000-112inchは開発のピークにあり、P&Wと協議のうで開発した部品を開発エンジンに供給した。詳細設計の段階では、P&WやRSP（リスクシェアリングパートナー）のMTUと性能や重量、コストをふまえた設計協議に参画し、詳細設計に反映させた⁶⁰。この場合は基本設計には参加せず、自らが担当する詳細設計を担当するにとどまった。

なお詳細設計では、基本設計では決められなかったことが決められ、また決められていたことでも必要に応じて変更がなされる。たとえばエンジンのファンケースにフランジを取り付ける場合、ボルトの孔の位置を三次元的に決めなければならない。その位置情報は、基本設計の段階では決められておらず、詳細設計時に決定して開発メンバーの間で共有される。また、使用する材料がすでに指定されていたとしても、コストや耐久性をふまえた最終的な決定は詳細設計でなされる。たとえば、ブレードの結晶構造を単結晶にするか一方凝固にするかということも詳細設計で決定される⁶¹。

詳細設計の過程では、設計変更が何度か行われる。最初は最低限の耐久性を有するものを設計して性能を確認する。続いて耐久性や寿命をふまえて軽量化も追及する設計を行う。さらにエンジン試験結果等を反映し、ブラッシュアップさせた型式承認形態となる。型式承認後も、コストや組み立てやすさをふまえた設計変更がなされて量産形態へと段階的に設計変更がなされる⁶²。

こうして設計された3次元の図面データは、3次元CADを用いて欧米企業と日本企業の間で共有され、組立時の干渉も確認できる。機体設計の場合は3次元CADのソフトウェアとしてCATIAが利用されるが、エンジン設計ではNX（かつてのユニグラフィックス）が利用される。

第四に、設計作業の一方で性能開発が行われるが、そこでも中心になるのは欧米企業である。性能開発は、要素試験、圧縮機・燃焼器・タービンを組み合わせたガス発生機試験、フルエンジン地上試験、高度試験装置による疑似高度試験、飛行試験という段階を経る⁶³。

このうち日本企業が担当するのは要素試験が主であり、それらは詳細設計に入る前に終了するよう計画される⁶⁴。ファンや圧縮機、タービン、燃焼器がエンジンに組み込まれるとそれぞれの要素性能がつかみにくいため、要素試験が行われる。要素試験では、タービン円盤の破壊試験、圧縮機及びタービン翼の振動及び寿命試験などが行われる⁶⁵。

しかし、要素試験以降の性能開発は、モジュールを組み合わせた試験になるため、主に欧米企業が主導する⁶⁶。高温高圧の燃焼ガスを発生させる中核的なモジュール（core module）で

ある圧縮機、燃焼器、タービンを組み合わせたガス発生機の試験では、圧縮機とタービンのマッチング、そして次の段階の試験で機械的なトラブルが起きないことが確認される。フルエンジン地上試験では、エンジン開発中の試験の大部分が行なわれる⁶⁷。

第五に、したがって型式承認のための試験や報告書の作成も、欧米企業が中心になる。エンジンの型式承認のためには、連邦航空規則(Federal Aviation Regulation: FAR)の耐空性(第33条)や、排気(第34条)、騒音(第36条)といった環境性、航空機の推進用サブ・システム(乗客20人以上の固定翼機は第25条)に関する証明をしなければならない。そのために、上記の各種試験を行ない、レポートを書かなければならない⁶⁸。

ここで重要なのは、たくさんの部品とシステムから構成されるエンジンのシステム統合である。ハードウェアとしてみると、モジュールや部品相互のインターフェスをすり合わせたり、エンジン全体の振動やファンブレード・アウト時の影響を解析するなど、全体をまとめることがエンジンメーカーには求められる。さらに、電子化が進む中で、FADEC(Full Authority Digital Electronic Control: 全デジタル電子式エンジン制御装置)を中心に、ソフトウェアによってシステム統合がなされる。かつてのFADECの役割は燃料のコントロールが基本であったが、今日では数十種類の補器や機器をまとめて制御し、機体側と通信することが求められる。これらのシステム・インテグレーションを行い、型式承認を取得して確実に飛行できるようにするのはエンジンメーカーの役割である⁶⁹。

エンジンの型式承認を取得すると、航空機メーカーによって航空機の型式証明が取得され、航空輸送会社によって商業運航が開始される。

第六に、エンジン販売後のプロダクト・サポートにおいても欧米企業が主導性をもつ。運航後は一定の頻度で補用品(交換部品)を販売したり、修理、整備といったプロダクト・サポートを行わねばならない。補用品の販売は基本的には分担生産する部位で発生するが、交換頻度が高いエンジンコアは基本的には欧米のエンジンメーカーが担当している。また、山崎(2013)で論じたように、アフターマーケットをめぐる競争の中で、エンジンメーカーは包括的整備契約によって補用品市場を囲い込もうとしている⁷⁰。

5. おわりに

本論文では、民間航空機エンジンの国際的な分業構造において、日本企業がサプライヤとして欧米企業の技術競争力を支える一方で、主導的立場はエンジンメーカーが維持し、日本企業がそれらにとって代われていない理由を分析した。

第一に、欧米企業にとって、日本企業がサブ・コントラクターからモジュール・パートナーへと段階的に成長したことは、優れた技術をもつ日本企業を自らの国際分業に組み込み、技術競争力を強化することにつながった。

V2500では、ファンや低圧圧縮機、タービンを中心に部品を供給し、IHIはファンモジュールを担当した。後継のPW1100Gでは、三菱重工業が燃焼器モジュールを担当した。

その一方で川崎重工業は、RRのサブ・コントラクターに始まり、RSP方式による中低圧圧縮機の部品生産から結合部品としてのドラム、そして中圧圧縮機モジュールを供給するようになった。三菱重工業は、P&Wによって事業移管されてから燃焼器生産に特化し、GEやRRとの関係も築きながら部品供給を経て燃焼器モジュールを担当するようになった。IHIは、RRやP&Wのサブ・コントラクターやマニファクチャリングRSPとなる一方で、小型から大型までのGEエンジンに8～27%のRSP方式で参画し、低圧タービンモジュール組立を担当するようになった。

製品群別にみると、中小型エンジンでは合弁事業の形態がとられる場合もあるのに対して、利益率の高い大型エンジンではRSP方式にとどまり、日本企業の参画比率も高くない。相対的にみれば、量産されている中小型エンジンで日本企業は高い参画比率で参入ができています。

当初は主に貸与図によるサブ・コントラクターだったが、1980年代半ばから承認図によるRSP方式の部品パートナーから結合部品パートナー、モジュール・パートナーへと段階的に日本企業が成長し、担当する部位を中心に共同で設計・開発するデザイン・インができるようになってきたのである。このような日本企業の成長は、航空機及びエンジン市場の拡大という歴史的背景の中で段階的に実現され、生産工程の改善とともに参画比率、生産規模、生産設備が拡張されてきた。

第二に、航空機エンジンの技術的な特性からは長期継続的取引関係が有効であり、参入した日本企業が特定の部位で技術を蓄積し、型式認証のプロセスにも習熟したことで欧米企業の国際分業を支えた。未参入企業にとってみれば参入障壁が形成されたとみることができる。

航空機エンジン生産では、複雑で高度な部品を数百から数千の規模で生産する必要がある。そのため、日本企業は相対的に難易度の低い部品の製造から参入し、次第に同じ部位の類似部品や結合部品の開発・製造にも関与することで技術を蓄積し、モジュール全体を担当するまでに成長できたのである。いったん航空機産業に参入すると、担当箇所では技術を改良、成熟させたり、運航後の不具合に対応する経験値を蓄積し、類似の部位を担当するサプライヤーは研究開発を継続し、技術的にも先行優位の立場に立てるのである。

また航空機生産では、厳しい耐空性や安全性、環境性などを満たして型式承認や型式証明を取得しなければならない。そのためには、すべての設計図面が連邦航空規則（FAR）の要件を満たすことをFAAに認定された技術者によって証明される必要があり、かつ証明された設計図面にしたがってつくられた製品であることも認可されなければならない。独特の認可・証明のプロセスが存在することで、欧米のエンジンメーカーは新たなプログラムでも既存のサプライヤーに類似部品の分担を打診し、長期継続的な関係を形成する傾向がみられる。部品をつくれるというだけでは航空機産業に参入することは難しいのである。

第三に、欧米企業は中核的な技術であるエンジンコアは自らが担当し、日本企業には周遍的な技術を担当させることで主導的立場を維持している。

高圧圧縮機、燃焼器、高圧タービンから構成されるエンジンコアは、圧力や温度条件が最も厳しく、エンジンの性能を左右する重要な部位である。とくに、高圧タービンはアフターマーケットにおいても重要な収益源である。燃焼器の製造は三菱重工業が担うものも多いが、燃焼技術の開発はエンジンメーカーが担っている。部分的にサプライヤが部品製造を担当することはあっても、基本的には欧米企業がエンジンコアを担当しているのである。

航空機エンジン事業における参入障壁は、エンジンメーカーのサプライヤになる場合の参入障壁と、エンジン全体を生産するエンジンメーカーになる場合の参入障壁という二つの意味で理解する必要がある。

第四に、開発と販売のプロセスにおいて、概念・基礎設計という設計の初期段階と、試験や型式承認というシステム統合段階、アフターマーケットの段階で欧米企業は主導性をもつ。エンジンメーカーの技術競争力の源泉は、エンジンの開発・製造・運用・保守を通じた経験や実績、技術の蓄積にある。それらをふまえて安全性と経済性を考慮する設計を行い、中核技術を含むすべての部材に設計思想を反映させ、最終的に部品やシステムを統合、組み立てる。その意味では、国際分業のパートナーは、エンジン全体からみれば一部分の開発・製造を担当し、その範囲での技術的蓄積を得られるに過ぎず、エンジンメーカーに代わるのは容易ではない。

ある技術をつくれるということ、安全性や経済性をふまえて設計・開発・生産し、また運用・保守してその技術の確実性を実証するということはまた別の話である。その確実性を保証するための型式承認を認めるのは欧米の航空当局であり、長期にわたって欧米のエンジンメーカーは航空当局と協力しながら型式承認を取得して技術を蓄積してきた。重要な技術やプロセスを保持していることが市場における欧米企業の優位を保証しているということもできるが、欧米の航空当局で定められる規制などの社会的な制度が技術の独占を保証してきたとみることもできる。技術的あるいは制度的な要因によって市場における独占的な地位が保証され、それゆえに積極的に外注化（アウトソーシング）が展開されているとみることもできるのである。

最後に、今後に残された研究課題として、開発プロセスや担当部位において欧米企業が主導性を発揮できる根拠を明らかにすることが挙げられる。そのためには、欧米企業の視点から分析するとともに、中核技術としてのエンジンコアを欧米企業がどのように技術開発し、製造しているのかを明らかにする必要がある。

注

- 1 株式会社 IHI の1960年から2007年までの社名は石川島播磨重工業株式会社である。1969年に川崎重工業株式会社、川崎車輛株式会社、川崎航空機工業株式会社が合併して川崎重工業株式会社となった。1964年に新三菱重工業株式会社と三菱造船株式会社、三菱日本重工業株式会社

- が合併して三菱重工業株式会社となった。その後、2014年に民間航空機向けのエンジン事業が分社され、三菱重工航空エンジン株式会社が設立された。
- 2 齊藤 (1998), 5 ページ. 齊藤 (1999), 193~195ページ. 浅沼 (1997), 222ページ. 「関係的技能」は、「サプライヤーが蓄積してきた基本的な技術的能力の基礎の上に、特定の中核企業との反復的な相互作用を通じての学習が付加される」ことで形成される。
 - 3 植田 (2000), 13~14ページ. 浅沼 (1997), 192~193ページ.
 - 4 山崎 (2013), 414ページ.
 - 5 平塚 (2008), 257ページ.
 - 6 日本航空宇宙工業会 (1987), 35ページ. 日本航空宇宙工業会 (2003), 74ページ. 日本航空宇宙工業会 (2016), 36ページ.
 - 7 「IHI 航空宇宙50年の歩み」(2007), 127ページ. 日本航空宇宙工業会 (2003), 75ページ. 日本航空機エンジン協会編 (2011), 12ページ. 開発費用は総額13億ドルに達するとも見積もられていた (「ロールスロイス, 日米欧の大型ジェット開発で上昇機運」『日経産業新聞』1982年8月10日付).
 - 8 日本航空機エンジン協会編 (2011), 4~5, 12~13, 17ページ. 松木 (2000), 348ページ. RJ500のために日英は、1980年4月に **Rolls-Royce & Japanese Aero Engines LTD (RRJAEL)** を設立した。ただし、Avioは1996年にIAEを離脱してRRのサプライヤとして部品供給を行っている。さらにRRは2012年6月にIAEを離脱し、そのシェアを取得した**P&W AEI (P&W Aero Engines International**, スイスに設立) のサプライヤとして部品供給を継続している。その結果、参画比率は**P&W AEI**が33.5%, **UTC (P&W)**が32.5%, **JAEC**が23%, **MTU**が11%となり、**P&W**の影響力が強くなった (日本航空宇宙工業会, 2015, 131~132ページ, 日本航空機エンジン協会編, 2011, 13ページ).
 - 9 山崎 (2013), 410ページ.
 - 10 川崎重工業 (2017), 13ページ. 7つのカンパニーの名称と2016年度の売上は、モーターサイクル&エンジン (3130億円), 航空宇宙 (3299億円), ガスタービン・機械 (2419億円), プラント・環境 (1608億円), 精密機械 (1552億円) 車輛 (1371億円), 船舶海洋 (1032億円) である。
 - 11 「石播・川重, RB211エンジン部品生産が苦境に」『日経産業新聞』1982年11月27日付. 「石播・川重, 英ロールス・ロイスからジェットエンジン部品の下請け生産受注」『日本経済新聞』1980年1月17日付. 契約内容は、エンジン部品やファンケースなど約50品目を10年間にわたって生産するというものであった (川崎重工業, 2013b, 14ページ).
 - 12 明石工場史編纂委員会編 (1990), 286ページ. 「ジェットエンジン, “三兄弟” 結束に乱れ」『日経産業新聞』1985年9月7日付.
 - 13 明石工場史編纂委員会編 (1990), 285~286, 289ページ. 西神工場の特徴は、部品の無人搬送

車による自動供給やセル間の自動搬送化, 全工程にわたる管理システムと生産システムの融合とされた. 当初は産業用ロボットの組立用に工場用地が確保されていたが, 1980年代前半にロボット市場の成長が伸び悩んだため, 工場の建設計画が延期され, 1988年にジェットエンジン用に用地を転用し, 西神工場を建設することが決められた(「川重, 神戸にエンジン工場」『日経産業新聞』1988年12月14日付, 「川重, 産業用ロボット量産工場の建設計画を延期」『日経産業新聞』1983年6月20日付). 1996年には, 明石工場が担当していた航空機エンジン部品生産を西神工場に移管し, 両工場それぞれの研究開発部門は明石工場に集約した(「川崎重工業, 研究部門, 明石工場に集約」『日経産業新聞』1996年7月18日付). 2003年には Trent900で丸紅のサブコントラクターとなり, 順調に RR のサプライヤーとしての事業を拡大させてきた. 丸紅は RR エンジンの販売日本代理店であり, Trent700/800から参画を始めた(日本航空宇宙工業会, 2003, 78ページ).

- 14 「ジェットエンジン部門, 川重, 5カ月で多能工育成」『日経産業新聞』1997年2月7日付, 「変わる航空機生産現場世界水準への離陸(1)加工」『日経産業新聞』1996年8月15日付, 「川重, 航空機エンジン部品, 加工時間5分の1に短縮」『日経産業新聞』1995年12月1日付.
- 15 「川崎重工業西神工場」『日経産業新聞』1998年8月6日付, 「川崎重工, ジェットエンジン効率生産」『日経産業新聞』1998年1月28日付, 「ジェットエンジン部門, 川重, 5カ月で多能工育成」『日経産業新聞』1997年2月7日付.
- 16 日本航空機開発協会(2017), 2~3ページ.
- 17 川崎重工業(2013a), 1ページ. 川崎重工業(2008), 5ページ. 「航空機エンジン各社, 需要増に乗り積極投資」『日経産業新聞』2006年10月26日付. 航空機エンジン, 効率生産, 川重, 神戸の工場に30億円『日経産業新聞』2017年12月20日付. 2016年時点の外注比率は5割で, 85社の外注先が存在していた(「川重, 航空エンジンに180億円投資, 国内2工場を拡充」『日本経済新聞』2016年5月26日付).
- 18 「エアバス用新エンジン, 川重, 開発に参画」『日経産業新聞』2009年1月8日付.
- 19 2013年4月16日に実施した川崎重工業株式会社西神工場におけるヒアリング調査及び川崎重工業(2008), 7ページより. ブローチ加工は, 荒加工, 中仕上げ, 仕上げと複数回の加工が連続的に実施されるが, 難削材であるチタンを加工するため, 加工時間がかかる上に, 一定の枚数の加工後に刃物を研磨したり, 交換しなければならない. なお, ディスクおよそ20枚分を加工したら再研磨をし, 7~8回の再研磨でブローチ加工に用いる刃物は廃棄される. ドラム溶接では, 軸がずれないように溶接加工前は各段の芯を合わせ, 加工時も押さえ込みながら溶接する必要がある. 中圧圧縮機モジュールのパワーは, バレル缶1杯分の空気を0.01秒でコップ1杯分に圧縮できると表現される.
- 20 IHI(2017), 7, 13, 14ページ. 須貝(2015), 6ページ.
- 21 「石播も生産に参加, ロールス・ロイス旅客機エンジン」『日経産業新聞』1988年12月21日付, 「石

- 播，開発参加に難色」『日経産業新聞』1988年12月19日付）。2018年4月9日に電子メールで得た株式会社 IHI からの回答より。
- 22 「英ロールス製航空機エンジン，石播も開発に参加へ」『日経産業新聞』1998年12月8日付。
 - 23 日本航空宇宙工業会（2003），66～72ページ。1970年に RR と TF40（T-2練習機や F-1戦闘機），1978年に GM のデトロイト・ディーゼル・アリソン事業部（DDA）と T56（P-3C 対潜哨戒機），1978年に P&W と F100（F-15戦闘機）の技術提携契約を結んだ。
 - 24 山崎（2017），77ページ。
 - 25 「石播，『GE90』開発に参加」『日経産業新聞』1990年7月13日付。当時の GE は，防衛庁の次期支援戦闘機（F-2）のエンジン受注をめぐって P&W と競合していたことから，「日本で最大のシェアをもつ石播を参加させ，商戦を有利に導きたいと考えたのでは」という見方もみられた。
 - 26 「IHI 航空宇宙50年の歩み」（2007），137，140ページ。「国際共同開発に参加している最新型ジェットエンジン『GENx』搭載のボーイング787の初飛行が成功（2010年6月17日）」『IHI プレスリリース』（https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2010/aeroengine_space_defense/2010-6-17/index.html，2018年5月5日閲覧）。GKN は2012年にスウェーデンのボルボ（Volvo Aero）を買収した。
 - 27 「英ロールス製航空機エンジン，石播も開発に参加へ」『日経産業新聞』1998年12月8日付。
 - 28 山崎（2017），77ページ。堀部他（2003），162ページ。館野（2000），365ページ。館野（2000）によれば，777用には，他社が既存エンジンの派生型を用意したのに対して，GE90は新規エンジンであったため推力増強要求に対応しやすかった。
 - 29 山崎（2017），77ページ。
 - 30 「単機能機フル活用」『日経産業新聞』1994年10月25日付。「IHI，航空部品に『IQ ファクトリー』」『日経産業新聞』2017年7月3日付。「石播，呉第2工場を増強」『日経産業新聞』1994年7月10日付。
 - 31 「IHI 航空宇宙50年の歩み」（2007），2，6，8～9ページ。
 - 32 「航空機エンジン，福島に新棟増設，IHI，中核部品を生産」『日経産業新聞』2007年10月22日付。
 - 33 『日本経済新聞』2001年7月3日付，『日経産業新聞』2004年10月26日付，『日経産業新聞』2007年5月28日付。2013年9月2日に実施した株式会社 IHI 相馬工場におけるヒアリング調査及び，2018年4月12日に電子メールで得た株式会社 IHI からの回答より。2013年現在，相馬第一工場では年間約80万枚のブレードを生産，年間目標は100万枚とされた（IHI，2013a，12ページ）。
 - 34 「相馬工場に物流拠点，IHI，在庫管理を合理化」『日経産業新聞』2009年8月5日付。
 - 35 「石播，P&W 社に生産協力」『日本経済新聞』1990年7月17日付。館野（2000），366ページ。依田他（2009），127～128ページ。

- 36 堀部他(2003), 166~167ページ。この素材は787向けの **GENx** にも用いられた。なお、大同特殊鋼は **IAE** の **V2500** や **P&W** の **JT9D**, **PW4000**, **PW2000**, **RR** の **RB211**, **Trent800**, **Trent700**, **Trent1000**, **GE** の **GE90**, **GENx**, **Passport20** などのエンジンシャフトを供給している。
- 37 **IHI** (2013a), 10ページ。一般に加工する部品は長くなるほど精度を保つことが難しくなることに加えて、シャフトには陸上機械に比べて3~5倍の加工精度が必要とされる。しかも、「中空になっている内側の肉厚は必要に応じて削られており、複雑な曲線を描いている」(「シャフトは“独占”」『日経産業新聞』1992年3月17日付)。**IHI** では、従来は手作業で行われていたシャフトの塗装工程を自動化することで、熟練工が1日に2本程度しか塗布できなかったものが1本2時間程度にまで時間を短縮した(**IHI**, 2013b, 21, 23ページ)。
- 38 「大同特殊鋼、高速鍛造機を導入」『日経産業新聞』1986年10月30日付、「石播、**P&W** 社に生産協力」『日本経済新聞』1990年7月17日付、依田他(2009), 127~128ページ及び2013年2月21日に実施した大同特殊鋼澁川工場におけるヒアリング調査より。
- 39 **V2500**の後継である **PW1100G** は、従来のエンジンとは構造が異なるギアド・ファンエンジンである。そのため、**IHI**がファンケースと**SGV**からなるファンケース、フロント・センター・ボディ、低圧圧縮機をサブ組立し、**P&W**が担当するファン・ドライブ・システムと組み合わせられてファン・モジュール部になる(2018年4月5日に日本航空機エンジン協会(**JAEC**)から電子メールで得た回答より)。なお**IHI**では、瑞穂工場で低圧圧縮機部モジュールの組立、相馬第一工場でファンケースモジュール用**SGV**(**Structural Guide Vane**)の製造、相馬第二工場で低圧圧縮機用**IBR**(**Integrated Bladed Rotor**)の製造、呉第二工場でシャフトと低圧圧縮機用大型部品の製造、**IHI**エアロスペース富岡事業所でファンケースモジュールの製造・組立を実施する体制が整えられた(https://www.ihl.co.jp/ihl/all_news/2015/aeroengine_space_defense/2015-5-27/index.html, 2018年4月2日閲覧)。
- 40 三菱重工業(2015), 2ページ。三菱重工業は、グループとして2016度の売上高は3兆9140億円で、4つのドメイン別にみるとエネルギー・環境(1兆4704億円)、交通・輸送(5153億円)、防衛・宇宙(4706億円)、機械・設備システム(1兆4380億円)であった。(三菱重工業, 2017, 4, 11, 30ページ)。名古屋誘導推進システム製作所は、1972年に名古屋航空機製作所の小牧北工場として操業を開始し、1989年に独立して現在の名称になった(三菱重工業のホームページ, <https://www.mhi.com/jp/company/location/nagoyaguidew/index.html>, 2018年5月7日閲覧)。
- 41 「生産時間5%短縮、三菱重工、航空機エンジンでメド」『日経産業新聞』1996年2月29日付、「**P&W**向けエンジン部品、三菱重工が生産拡大」『日本経済新聞』1992年4月11日付。**JT8D-200**では、三菱重工は**P&W**の技術、販売力の使用料(いわゆる「のれん代」)として十数億円を支払った。分担比率は**MTU**が11%、ボルボ6%、三菱重工3%だった(「三菱重・**P&W**

- 組む」『日本経済新聞』1984年4月18日付).
- 42 鈴木（2000），375ページ。「大型民間機用エンジン燃焼機，三菱重が分担生産，米社会意」『日経産業新聞』1993年5月11日付。これ以降，三菱重工業では大型エンジンの燃焼器に関する研究開発も開始された（長谷川・島内，2000，390ページ）。
- 43 「P&W 向けエンジン部品，航空機エンジンでメド」『日経産業新聞』1996年2月29日付。
- 44 吉中（2010），138ページ。
- 45 Reed（2005），p. 94.
- 46 吉中（2010），140～141ページ。
- 47 「航空機エンジンの燃焼器，穴開け加工時間9分の1」『日経産業新聞』2015年9月17日付。
- 48 Gunston（1997），p. 31（邦訳，40ページ）。
- 49 「三菱重工がIHIに委託，航空エンジン部品生産」『日本経済新聞』2014年12月27日付。「タービンブレード増産，三菱重工航空エンジン」『日経産業新聞』2015年1月23日付。
- 50 吉中（2010），138～139ページ。
- 51 藤村他（2008），156ページ。
- 52 日本航空宇宙工業会（2015），72ページ。
- 53 2020年に初号機が納入される予定の777Xに搭載されるGE9Xエンジンは，2016年7月時点で3000基弱の需要があり，カタログ価格は3500万ドル（約36億円）であった（「航空エンジン，日本勢飛躍，IHI，参加比率上げ」『日本経済新聞』2016年7月13日付）。
- 54 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会（JAEC）におけるヒアリング調査より。
- 55 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会（JAEC）におけるヒアリング調査より。
- 56 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会（JAEC）におけるヒアリング調査より。
- 57 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会（JAEC）におけるヒアリング調査より。
- 58 2018年4月25日に日本航空機エンジン協会（JAEC）から電子メールで得た回答より。
- 59 「『7E7』エンジン，川重などと開発」『日経産業新聞』2004年10月25日付。「ロールス・ロイス新型エンジン，川重・三菱重など開発参加」『日本経済新聞』2008年12月27日付。「協業で研究開発強化」『日経産業新聞』2007年10月18日付。
- 60 鈴木（2000），374ページ。
- 61 2018年4月25日に日本航空機エンジン協会（JAEC）から電子メールで得た回答より。
- 62 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会（JAEC）におけるヒアリング調査より。
- 63 吉中（1990），223ページ。
- 64 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会（JAEC）におけるヒアリング調査より。
- 65 吉中（1990），222ページ。吉中（2010），242～243ページ。
- 66 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会（JAEC）におけるヒアリング調査より。
- 67 吉中（2010），248～249ページ。

- 68 吉中 (2010), 239~240ページ.
- 69 2016年2月5日に実施した日本航空機エンジン協会 (JAEC) におけるヒアリング調査より.
- 70 山崎 (2013), 420~422ページ.

参考文献

- Connors, Jack (2010) *The engines of Pratt & Whitney: a technical history*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Gunston, Bill (2006) *World encyclopaedia of aero engines: from the Wright brothers to the present day*, 5th ed., the United Kingdom, Sutton Publishing Limited (見森昭・川村忠男訳『世界の航空エンジン (第3版)』グランプリ出版, 1996年).
- (1997) *The development of Jet And Turbine Aero Engines*, Patrick Stephens Limited (高井岩男監修・訳『ジェット&ガスタービン・エンジン その技術と変遷』酣燈社(別冊航空情報), 1997年).
- Newhouse, John (2007) *Boeing versus Airbus : the inside story of the greatest international competition in business*, New York: A.A. Knopf.
- Peter, James St. (1999) *The History of Aircraft Gas Turbine Engine Development in the United States : a tradition of excellence*, Atlanta, GA: International Gas Turbine Inst..
- Reed, Stanley, Diane Brady and Bruce Einhorn (2005) *Rolls-Royce, At Your Service*, BusinessWeek, Issue 3959, November 14, 99. 92-94.
- Sabbagh, Karl (1996) *21st century jet: the making and marketing of the Boeing 777*, New York : Scribner.
- IHI (2017) 『IHI 統合報告書2017』株式会社 IHI.
- (2013a) 「見えない資産複雑な形状のブレードを精巧に量産する技術とその生産ラインを構築」『IHI 技報』第53巻第4号, 8~15ページ).
- (2013b) 「株式会社 IHI ジェットエンジンを支える IHI のオンリーワン技術: シャフト塗装の自動化」『IHI 技報』第53巻第4号, 20~23ページ.
- 「IHI 航空宇宙50年の歩み」編纂委員会編集 (2007) 『IHI 航空宇宙50年の歩み』石川島播磨重工業. 明石工場史編纂委員会編 (1990) 『明石工場50年史』川崎重工業株式会社明石工場.
- 浅沼万里 (1997) 『日本の企業組織 革新的適応のメカニズム: 長期取引関係の構造と機能』東洋経済新報社.
- 井上利昭 (2000) 「JAEC における旅客機用エンジンの国際共同開発」『日本ガスタービン学会誌』第28巻第5号, 9月20日, 357~361ページ.
- 植田浩史 (2000) 「サプライヤ論に関する一考察: 浅沼万里氏の研究を中心に」『季刊経済研究』第23巻第2号, 9月, 1~22ページ.

- 川崎重工業（2017）『Kawasaki Report 2017』川崎重工業株式会社。
- （2013a）『川崎重工業株式会社ガスタービンビジネスセンター西神工場』川崎重工業株式会社。
- （2013b）「また、新しいエンジンの国際開発に参画 民間航空機用エンジン事業」『Kawasaki News』第172号，14～15ページ。
- （2008）「最新鋭旅客機用エンジン『Trent1000』，量産へ」『Kawasaki News』第152号，Autumn，1～7ページ。
- 佐藤篤・今村満勇・藤村哲司（2013）「PW1100G-JM エンジン開発」『IHI 技報』第53巻第4号，28～33ページ。
- 斉藤栄司（1999）「『基盤産業としての金型産業』再論：日本的生産システムにおける金型生産の意味と事業規模・取引関係について」『経済学雑誌』第100巻第3号，12月，182～200ページ。
- （1998）「金型産業研究試論：その技術的特質，小規模経営および長期継続的取引の理論的考察」『中小企業季報』1997年第4号，1月，1～11ページ。
- 須貝俊二（2015）「航空宇宙事業本部が目指すものづくり」『IHI 技報』第55巻第2号，6～11ページ。
- 鈴木洋一（2000）「PW4000大型ターボファンエンジン開発への参加」『日本ガスタービン学会誌』第28巻第5号，9月20日，372～375ページ。
- 館野昭（2000）「GE90エンジン」『日本ガスタービン学会誌』第28巻第5号，9月20日，362～366ページ。
- 日本航空宇宙工業会（2017）『平成29年版 世界の航空宇宙工業』日本航空宇宙工業会。
- （2016）『平成28年版 日本の航空宇宙工業』日本航空宇宙工業会。
- （2015）『平成27年版 世界の航空宇宙工業』日本航空宇宙工業会。
- （1987）『日本の航空宇宙工業戦後史』日本航空宇宙工業会。
- 日本航空宇宙工業会「日本の航空宇宙工業50年の歩み」編纂委員会（2003）『日本の航空宇宙工業50年の歩み』社団法人日本航空宇宙工業会。
- 日本航空機開発協会（2017）『平成28年度版 民間航空機関連データ集』（<http://www.jadc.jp/data/associate/>，2018年3月27日閲覧）。
- 日本航空機エンジン協会編（2011）『航空機エンジン国際共同開発 30年の歩み』財団法人日本航空機エンジン協会。
- 長谷川清・島内克幸（2000）「三菱重工業（株）におけるエンジン開発」『日本ガスタービン学会誌』第28巻第5号，9月20日，387～390ページ。
- 平塚真二（2008）「民間航空機用エンジン産業について」『日本ガスタービン学会誌』第36巻第4号，7月20日，252～257ページ。
- 藤村哲司・西川秀次・守屋信彦・今村満勇（2008）「GE_{Enx} エンジンの開発」『IHI 技報』第48巻第

3号, 9月, 153~158ページ.

堀部恭平・川平浩司・酒井淳・榊純一(2003)「GE90-115B エンジンの開発」『石川島播磨技報』第43巻第5号, 9月, 161~168ページ.

松木正勝(2000)「国産ジェットエンジンの開発」『日本ガスタービン学会誌』第28巻第5号, 9月20日, 346~351ページ.

三菱重工業(2017)『MHI Report 2017: 三菱重工グループ総合レポート』三菱重工業株式会社.

—————(2015)『名古屋誘導推進システム製作所』三菱重工業株式会社名古屋誘導推進システム製作所.

—————(2013a)『名古屋誘導推進システム製作所2013』三菱重工業株式会社名古屋誘導推進システム製作所.

—————(2013b)『Annual Report 2013』三菱重工業株式会社.

山崎文徳(2017)「民間航空機用ジェットエンジンメーカーによる市場競争の構造」『立命館経営学』第56巻第1号, 5月, 69~88ページ.

—————(2013)「民間航空機エンジンメーカーの収益構造とアフターマーケット: 補用品事業と整備事業(MRO ビジネス)の関係」『立命館経営学』第52巻第2・3号, 11月, 405~427ページ.

—————(2011)「民間航空機メーカーの技術競争力と分業構造の変化: ボーイングのシステム・インテグレーションとシステムの一括外注化」『経営研究(大阪市立大学)』第62巻1号, 5月, 49~79ページ.

吉中司(2010)『ジェット・エンジンの仕組み: 工学から見た原理と仕組み』講談社.

—————(1990)『数式を使わないジェットエンジンのはなし』酣燈社.

依田朋文・大矢耕二・神谷輝明(2009)「産業機械分野」『電気製鋼』第80巻第1号, 119~129ページ.

The Structure of International Division of Labor in the Commercial Aircraft Engine Manufacturers

YAMAZAKI Fuminori*

Abstract

Japanese suppliers support the competitiveness of Western companies in the international division of labor in terms of commercial aircraft engine manufacturing. Meanwhile, the leadership position is maintained by engine makers and Japanese companies cannot replace them for several reasons. First, the reason why Japanese companies have grown from subcontractors into module partners is that long-term trading is required in terms of technology, and Japanese companies have accumulated technology for specific parts. The unique approval and certificate process has also requested the formation of long-term continuous relationships between suppliers and engine manufacturers. Second, Japanese companies cannot be involved in engine core development, which is important both technologically and in terms of profit. Western companies have leadership in this domain. Third, Western companies lead in terms of the early stages of design (concept and basic design), system integration (test and type certificate) and aftermarket (product support).

Keywords

design-in, approved drawing, module, Kawasaki, Mitsubishi, IHI

* Correspondence to: YAMAZAKI Fuminori
Associate Professor, Faculty of Business Administration, Ritsumeikan University
2-150 Iwakura-cho, Ibaraki-City, Osaka 567-8570 Japan
E-mail: yama2012@fc.ritsumeikai.ac.jp

