

論 説

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 —

山 崎 文 徳

目 次

1. はじめに
2. 収益構造の要をなす補用品事業
 - (1) 補用品販売の手段としての市場確保
 - (2) 主なエンジン整備対象として的高温・高圧部位
 - (3) 補用品交換を必要とする技術的根拠
3. 収益構造における整備事業と補用品事業の関係
 - (1) 航空輸送会社における整備の外注化
 - (2) エンジンメーカーにおける整備事業のグローバルな展開
 - (3) 包括的整備契約による補用品市場の囲い込み
4. おわりに

1. はじめに

民間航空機産業は、自動車や家電産業と比べて独自の特性をもつ。民間航空機産業は、第1に民間機・軍用機・宇宙などの部門を有する航空宇宙産業であり、第2に部品点数が300万点に及ぶ総合的な加工組立産業、第3に巨額の開発費を回収して損益分岐点に達するまでに10年以上がかかるハイリスク・ハイリターン産業、第4に部品の交換や整備が収益性を左右するアフターマーケットが重要な産業なのである¹⁾。

航空機エンジンは、機体や制御システムとともに航空機を構成する主要な要素である。その開発費は航空機に匹敵する規模であるが、航空機の1つの部品であるために、販売価格は相対的に低く、値下げ圧力も強い。つまり、エンジンメーカーは航空機産業の中でもとくにハイリスク・ハイリターンを強いられるのである。しかし、エンジンは過酷な使用環境下でも絶対的な安全性と技術の確実性が求められることから、エンジン販売後のアフターサービス、あるいはプロダクト・サポートがとくに重要である。そのため、航空機エンジンには巨大なアフターマーケットが成立している。

エンジンは、分業構造においても相対的な独自性がみられる。航空機の最終組立はボーイング (The Boeing Company) やエアバス (Airbus SAS) といった機体メーカーが担い、それらを頂点にして機体構造や制御システムのサプライヤが分業構造を形成している。制御機器メー

1) 山崎 (2009), 220 ~ 223 ページ。

カーと比べると、エンジンは、開発・製造への機体メーカーの関与が相対的に小さく、搭載エンジンは航空輸送会社が選択するので、機体メーカーではなく航空輸送会社が顧客である。代表的なエンジンメーカーは、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 3 大メーカーである。

民間航空機産業に関する研究は、とりわけ日本国内では少なく、航空機エンジンに関するものはほとんどみられない。国外では、Newhouse (1982) 及び同 (2007) が航空機とエンジンの開発と販売における特徴や、機体メーカーとエンジンメーカーの関係を分析している。Gunston (1997) や Peter (1999)、Connors (2010) は、ジェットエンジンの開発を歴史的に論じている。これら国外の研究においても、たとえばニューハウスはアフターマーケットの重要性は指摘するが、その内容は十分に論じていない。他産業の研究では、長内・榊原 (2012) がコマツを取り上げ、情報通信技術の利用などにより、アフターマーケット業務を収益源にしていることが論じられている。

そこで本論文では、民間航空機エンジンメーカーにとって、アフターマーケットが主な収益源であり、補用品事業を柱としながら、整備を収益源にすると同時に補用品収入の手段としていることを明らかにする。それによって、エンジン販売で儲けるというよりは、アフターマーケットで確実に儲けるために新製のエンジンを販売し、市場シェアを確保するという航空機エンジン事業の特殊性を明らかにする。また、これまで筆者は、山崎 (2011a) にまとめたように、航空機産業 (メーカー) の製品類型や製造技術、分業構造、市場構造、政治・社会構造などに着目し、航空輸送業 (ユーザー) との関係を論じてきたが、それに加えて本論文では、アフターマーケットにおける航空機整備産業との関係に言及する。なお、本論文で表現するアフターマーケットとは商品販売後に繰り返し発生する需要のことであり²⁾、補用品販売や整備 (MRO: Maintenance, Repair & Overhaul) が行われる。また、補用品とは、製品を補修するために代替・交換される部品であり、就航時の航空機などに取り付けられる新製のエンジンに組み込まれる新製部品と区別する³⁾。

以下では、第 2 節で、収益構造において補用品事業が要になっていることを説明してから、補用品が必要になる技術的根拠を、中核技術である高温・高圧部位の特徴から明らかにする。

2) 『米国流通用語事典』によれば、アフターマーケット (購入後需要) とは「商品の購入後に発生する商品またはサービスの需要」と定義される (西山, 2009, 6 ページ)。航空機産業においては、機体メーカーが航空輸送会社に対して、航空機を運航するために必要な整備や操縦に関するマニュアル、部品の提供、技術的支援を行う一連の業務をプロダクト・サポートとも言う。前間によれば「この業務は、エアラインの信頼を得ると同時に、それ以後に新規開発する機体も引き続き買ってもらえるようにする上でもきわめて重要な意味を持っている」(前間, 2000, 137 ページ)。

3) 筆者がエンジンメーカーや機体メーカー、制御機器メーカーから行なったヒアリング調査では、最初からエンジンに組み込まれている新製品と、整備時に交換される補用品という表現以外に、前者を新品や新規部品、量産品、後者を内部部品やメンテナンス用部品と表現されることがあった。また、補用品と区別して予備品という言葉も使われており、本稿では予備品を補用品に含めて考える。

第3節では、整備事業の外注化の理由を航空輸送会社とエンジンメーカーの双方の視点から考察し、整備事業が補用品収入の面からも重要であることを明らかにする。論述に際しては、エンジンメーカーや航空輸送会社、業界団体に対するヒアリング調査の内容を参考にしながら、日本のエンジンメーカーが国際共同開発に参加するV2500エンジンの事例を多く用いている。

2. 収益構造の要をなす補用品事業

製品開発や技術革新という視点からは、航空機やエンジンという製品の技術的変遷が注目されやすいが、航空機エンジンメーカーの収益構造にとってはアフターマーケットが決定的に重要である。一般的に製造業では、製品を開発・製造して市場を獲得することで収益を得ると考えられるが、航空機エンジンメーカーの場合、アフターマーケットで儲けるために市場を確保しているとみることもできる。以下では、補用品販売が収益の要をなし、その手段として新製エンジン販売が機能していることを明らかにする。そして、エンジン整備の対象部位を示した上で、交換を必要とする技術的根拠を明らかにする。

(1) 補用品販売の手段としての市場確保

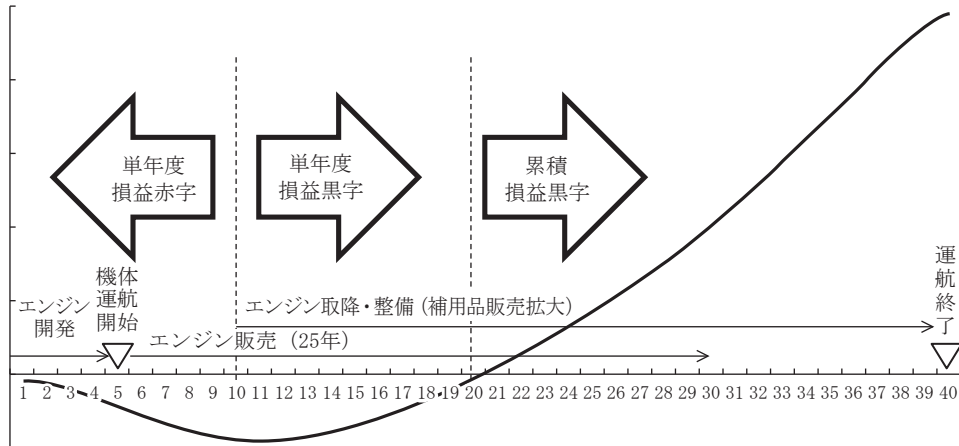
民間航空機エンジン事業の収支カーブモデルを図1に示す。航空機産業では、開発に膨大な時間と資金が必要になり、投資を回収して利益を上げるためには長期間にわたって製品を販売し続けなければならない。日本航空機開発協会によれば、航空機開発にはボーイング777で40～50億ドル（1990年価格）、エアバスA380で107億ドル（2004年価格）が必要であったが、世界最大推力で777用のGE90エンジンが開発費20億ドル（90年見積費用）であり、エアバスA320のV2500エンジンは日本が担当する23%の開発事業費だけで1194億円（80～95年度）であった⁴⁾。

就航時点では、エンジンの累積生産量は少なく、値下げ販売のため単年度でも赤字が続く。順調に販売数が増えて4～7年が経過すると、エンジンを取り降ろして整備に入るようになり、アフターマーケットの収入が発生する。それによって、収益は単年度赤字から単年度黒字に転換する。さらに、2度目のエンジン取り降ろしを迎えるころにはアフターマーケットが拡大し、開発から20年を迎えるころには損益分岐点をこえて累積黒字に転換する。ニューハウスによれば、15年以上の航空機の寿命を通じて、航空輸送会社は、最初に購入する搭載エンジンと予備部品価格の2～3倍の金額をアフターマーケットで支払う。したがって、多数のエンジ

4) 日本航空機開発協会（2013）、VII-30ページ。日本航空機エンジン協会（2011）、148～149ページ。「GEの大型機エンジン、石播が開発参加」『日本経済新聞』1990年7月12日付。日本航空機エンジン協会（2011）、149ページ。「航空機エンジンの国際共同開発」『日本経済新聞』2011年6月19日付。GEが開発する777の後継機向けエンジンの開発も3000億円規模とみられている（「新素材で航空エンジン」『日本経済新聞』2013年6月18日付）。

ンが売れて補用品を販売することによって高収益が実現できるのである。ただし、派生型エンジンは開発資金と期間が原型ほどはかからないので、収支カーブの潜り方は浅くなる。たとえば、原型の GE90 エンジンの開発費 20 億ドルに対して、大型化した派生型エンジンの GE-104B は 5 億ドル前後の開発費と見積もられた⁵⁾。

図 1：民間航空機エンジン事業の収支カーブモデル



出所：日本航空機エンジン協会におけるヒアリング調査（2013年2月21日実施）の提供資料を一部筆者修正。

3大メーカーの1つである P&W では、収益 (revenue) の半分以上が補用品販売を含むアフターマーケットから得られている。また、2011年の RR のサービス収益は民間機部門における 89 億ドルの売上の 60% 弱にあたる 51 億 3 千万ドルである⁶⁾。日本最大のエンジンメーカーである株式会社 IHI では、2012 年度の民間航空機エンジン事業の売上高約 1500 億円のうち、補用品事業と整備事業が約 600 億円を占める⁷⁾。

アフターマーケットの中でも補用品は基本的な収益源である。航空輸送会社が航空機を購入するとき、航空機全体の価格のうちエンジン価格は 16～30% 程度を占める⁸⁾。エンジン価格は

5) Newhouse, 1982, p.53 (邦訳, 123 ページ)。「旅客機用大型エンジン, GE, 石播などへ開発打診」『日本経済新聞』1999年5月30日付。

6) UBM Aviation (2013), p28.

7) 「航空機エンジン, 整備に中古部品, IHI」『日経産業新聞』2013年4月24日付。

8) ニューハウスによれば、航空機価格の 25～30% がエンジン価格である (Newhouse, 2007, p.111)。全日空が 1980 年に購入を決めたボーイング 767-200 は 1 機約 96 億円, CF-80 エンジンは 1 基 7 億 5000 万円の価格であった。したがって、エンジン 2 基の価格は航空機の 16% にあたる (「全日空, B767 のエンジンに GE の CF6-80 を採用」『日経産業新聞』1980年1月29日付及び「全日空, ボーイング社と 767-200 型機 40 機購入契約に調印」『日本経済新聞』1980年4月2日付)。英国航空 (BA) は、91年にボーイング 777 を 30 機で 68 億 5000 万ドル, それと別に 14 億ドル分の GE90 エンジンを発注した。したがって、1 機あたり 2 億 2833 万ドルに対してエンジン 2 基で 4667 万ドルの計算になり、エンジン価格は 20% を占めることになる。ただし、ここでは予備エンジンを考慮していない (「三菱重など開発に参加, B777」『日本経済新聞 (夕刊)』1991年8月22日付)。

しばしば値下げされ、ニューハウスによれば、1980年代初頭はエンジン価格から平均30%が値引かれ、91年頃のP&Wは約50%の値下げをしていた⁹⁾。新製エンジンの価格が値下げされるために、新製エンジンに組み込まれた新製部品は、補用品よりも安く売られることになる。しかし、新製部品と補用品は同じ生産ラインで作られるため、価格の違いは利益率の差に反映する¹⁰⁾。GEの大型機用エンジンGE90は、95年の就航から18年を迎え、年間20億ドルのエンジン販売に対して、補用品販売は17.5億ドルの売上に達している¹¹⁾。利益率に差があることをふまえれば、補用品の利益額は新製品を上回っていることも十分考えられる。

具体的に、V2500エンジンにおける市場の獲得と売上高の推移を概観する。

エアバスA320やボーイング737及びMD-80/90といった小型双発機用に搭載するエンジンでは、3大メーカーが国際共同開発を行う2つの陣営に分かれている。1つは、GEとフランスのスネクマ(Snecma S.A.)の合弁により1972年に設立されたCFMI(CFM International)であり、CFM56エンジンを生産する¹²⁾。もう1つは、CFMIに対抗して83年に設立されたIAE(International Aero Engines AG)であり、P&Wや日本航空機エンジン協会(Japanese Aero Engines Corporation: JAEC)、ドイツのMTU(MTU Aero Engines AG)などの合弁事業によりV2500エンジンを生産する。日本航空機エンジン協会は、V2500開発のために、通商産業省(現・経済産業省)の指導の下に、IHI(当時は石川島播磨重工業株式会社)、川崎重工業株式会社、三菱重工業株式会社を中心に81年に設立された¹³⁾。

小型機用エンジンは、生産数が非常に多く、メーカーにとってはボリューム帯である¹⁴⁾。1980年以降に就航した航空機エンジンでは、2004年は全29,348基のうち30%(14,336基)、2012年は全44,587基のうち65%(24,006基)を小型機用が占めている。この製品帯の特徴は、CFM56の圧倒的なシェアであり、93年から2012年にかけて、CFM56は57%(3,270基)から74%(17,712基)にシェアを増やしている。ただし、全くの独占ではなく、V2500は、93年は5%(260基)と低迷していたが、2012年には19%(4,622基)とシェアを増やしている。搭載機種でみると、2012年には、CFM56はボーイング737の11,708基すべてに採用され、エアバスA320ではCFM56が58%(6,004基)、V2500が42%(4,416基)とシェアを分けあつ

9) Newhouse (2007), p.112. 90年代に値下げが求められたのは機体でも同様であり、ボーイングはエアバスに対抗し、1994年頃から平均値下げ幅をそれ以前の10%から18~20%に上げ、時には30%にまでした(Newhouse, 2007, p.125)。

10) 現実に顧客に対して設定されているのは新製のエンジン価格と補用部品価格であり、新製部品価格というものには存在しない。そのため、ここでいう新製部品の価格とは、新製エンジン価格に占める当該新製部品に相当する金額である。

11) UBM Aviation (2013), pp26-28.

12) GEがB-1爆撃機用に開発したF101エンジンのコアを使用してCFM56エンジンを開発した。

13) 日本航空宇宙工業会(2012), 134~135, 196ページ。日本航空機エンジン協会のホームページより(<http://www.jaec.or.jp/panfhist.pdf>, 2013年7月25日閲覧)。

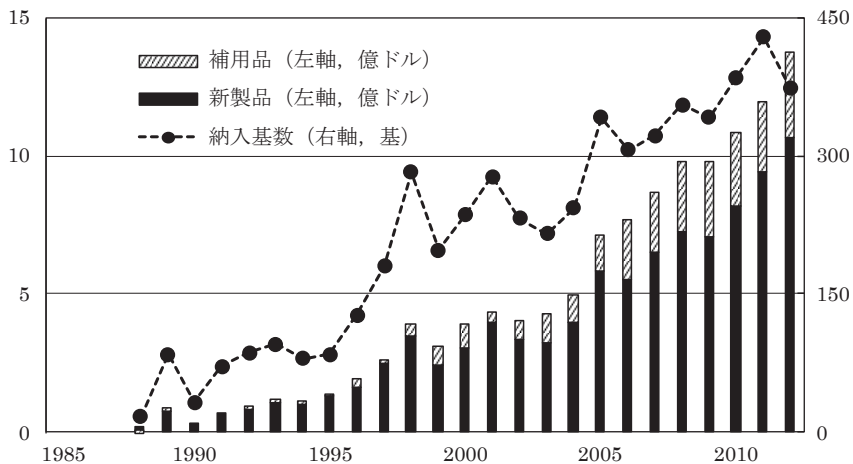
14) 航空機とエンジンの製品類型は山崎(2010)や山崎(2011a)を参照されたい。

ている¹⁵⁾。こうして、V2500 は、JT8D や CFM56、CF6 といった歴代のベストセラーエンジンに匹敵する販売数に達した。

日本航空機エンジン協会によれば、2012 年 12 月時点で、V2500 は 7,008 基を受注し、5,352 基を納入している。年間 400 ～ 500 基の生産数なので、2015 ～ 16 年までは確実に生産が続く¹⁶⁾。エンジンメーカー B 社は、補用品が必要でない部位 C と、回転体のようなライフ・リミテッド・パーツ (Life Limited Parts: LLP) と呼ばれる寿命制限のある部位 D を担当しており、後者は一定期間使われると交換用の補用品が必要になる。B 社では、部位 D の新製品と補用品が同じ生産ラインで作られており、新製品のみを作る部位 C の年間生産量との数量差が年間の補用品生産数と考えられる¹⁷⁾。

図 2 に V2500 の納入数と日本担当部位の売上高の推移を示す。最初の 10 年間(1988 ～ 97 年)の累積納入数は 841 基、年平均では 84 基で 11 億ドルの売上高と売れ行きは低調であったが、

図 2 : V2500 の納入数と日本担当部位の売上高の推移 (年度別, 億ドル)



注 : 売上高は、IAE から各 Party への収入配分がなされることによって得られる。ここでの売上高は、日本航空機エンジン協会 (JAEC) を構成する株式会社 IHI, KHI (川崎重工業株式会社), MHI (三菱重工業株式会社) の売上高の合計である。なお、IAE からの収入配分としては新製部品と補用品は区別されていないので、補用品比率は JAEC から提供された理論計算の値を用いている。

出所 : 日本航空機エンジン協会におけるヒアリング調査 (2013 年 2 月 21 日実施) の提供資料より筆者作成。

15) 2012 年 (有料) 及び 2004 年は Jet Information Services のホームページ (<http://www.jetinventory.com/Expand3.aspx>, 2013 年 10 月 7 日及び 9 月 11 日閲覧), 1993 年のデータは、アメリカ運輸省 (DOT) の Research and Innovative Technology Administration の National Transportation Library の World jet Airplane Inventory (<http://ntl.bts.gov/DOCS/461.html>, 2010 年 5 月 16 日閲覧) を元に筆者が算出した。同じ内容の冊子媒体資料が Jet Information Services (2013) である。エンジン数は、機材数にエンジン基数を乗じて算出したため、予備エンジンは含まれていない。なお、V2500 は MD-80/90 向けにも 206 基、CFM56 は A340 向けにも 916 基が搭載されている。

16) 日本航空機エンジン協会におけるヒアリング調査より (2013 年 2 月 21 日実施)。

17) エンジンメーカー B 社におけるヒアリング調査より (2013 年 4 月 16 日実施)。

次の10年間（98～2007年）は年平均264基納入で51億ドル、累積納入数は3,476基に達した。2005年からは売上高と納入基数が一段と増しており、2008年からの5年間（2008～12年）は年平均375基納入で111億ドルの売上高である。ここで注目すべきは、98～2007年から2008～12年にかけて、平均納入基数は1.4倍に増えたが、平均売上高は2.2倍に増えたことである。ここから、新製エンジンの納入基数の増加率以上に売上高が増大しており、この売上高の伸びを支えたのが補用品販売であることが推測できる。就航から20年をこえた今日、売上高に占める補用品の割合は25%程度に達している。25年間で5,000基以上を販売して市場を獲得できたからこそ、補用品も売れるのである。

したがって、収支カーブを黒字に転換させるためには補用品販売が不可欠であり、そのためには新製のエンジンを販売して、ライバル企業よりも多くの市場シェアを確保する必要がある。新製エンジンの市場獲得が補用品販売を保証し、補用品販売がエンジン事業の収益性の鍵を握るのである。

（2）主なエンジン整備対象としての高温・高圧部位

エンジン事業の収益性を支える補用品販売であるが、ジェットエンジンの膨大な部品のすべてが同じ割合で補用品に交換されるわけではない。エンジンの中でも、回転体や高温・高圧部位は疲労が激しく、安全性を確保するためには修理や補用品との交換が必要になる。このような航空機エンジンの技術特性は、ビジネスの観点からはエンジン部位による補用品販売の機会と規模の違いをもたらす。

エンジンを構成する部品の寿命は、大きく2つの考え方で管理されている。

まず、疲労破壊しないという前提の部位は、エンジンの運転状態を常に監視し、不具合が発生したらエンジンを取り降ろして整備を行うオン・コンディション・メンテナンス方式がとられている。この方式は、不具合がなくても時間がくれば取り降ろして分解検査（オーバーホール）を行うハードタイム・メンテナンス方式よりも効率的かつ経済的である¹⁸⁾。エンジンは、電子制御のもとでのパラメータの変化などを通じてパフォーマンスの低下が確認されると、エンジンの各所に開けられた点検孔からボアスコープという内視鏡のような検査具を用いて、問題のあるモジュールや部位が特定される。

もう1つはライフ・リミティッド・パーツであり、エンジンシャフトや、それに繋がっている圧縮機、タービンのディスク、その集合体であるローターもしくはドラムなどの回転体が該当する。これらは定められた飛行時間もしくは飛行サイクルをこえた運航が認められず、

18) 財航空機国際共同開発促進基金の報告書「航空エンジンの整備に関する現状と動向」より (http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H15_doukochosa/h15-4-4.pdf#search='JAL+%E7%87%83%E7%84%BC%E5%99%A8+DER', 2013年10月6日閲覧)。

寿命の前に交換しなければならない。飛行サイクルとは、エンジンが離陸時に最大推力を必要とするため、1度の離着陸を1サイクルと数えて管理する考え方である。金属疲労は外観検査や非破壊検査では破壊の直前まで判別ができないので、設定した時間やサイクルに達するまでに部品の廃棄や交換が定められている。

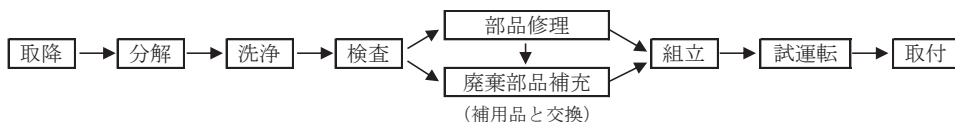
なお、タービンブレードの劣化は金属疲労ではなく、コーティングや母材金属の減少等を検査で確認することで、廃却限界を満たすか否かを見極めることができる。したがって、タービンブレードは疲労が激しい部位ではあるが、ライフ・リミティッド・パーツにする必要がない部品なのである。

エンジンを取り降ろす期間は使用環境などで異なるが、平均的には、航空機が就航してから4～7年で1回目のエンジン取り降ろしと整備が行われる。機体にエンジンを取り付けられたオン・ウイングの状態では修理ができない場合や、ライフ・リミティッド・パーツの寿命が近づくと、エンジンを取り降ろされるのである。現実には、不具合が発生してエンジンを取り降ろすよりも、飛行時間によってエンジンの取り降ろしや整備がなされることが多い。

一般的にエンジンは、ファン、低圧圧縮機 (LPC)、高圧圧縮機 (HPC)、燃焼器、高圧タービン (HPT)、低圧タービン (LPT)、ギアボックスという7つのモジュールから成るが、1回目の取り降ろしでは高圧圧縮機、燃焼器、高圧タービンというエンジンコアが主な整備対象である。1回目の整備からさらに4～7年が経過した2回目の整備では、エンジンコアに加えて低圧圧縮機や低圧タービンも整備対象になる。

エンジン整備は、図3のような工程を経る。機体から取り降ろされると、エンジンは整備工場 (整備ショップ) に運ばれる。これをショップ・ビジット (shop visit) という。問題のないモジュールはそれ以上分解されず倉庫に保管されるが、問題のあるモジュールは、単品のレベルまで分解されてから洗浄、検査され、問題の部位が特定される。たとえばエンジンメーカーA社における双発小型機用エンジンの整備では、分解された部品数の8割が検査に合格して倉庫に保管され、残り2割の修理や補用品交換を待つ¹⁹⁾。修理には、やすりで削るだけの簡単なものから、すり減ったブレードの先端を溶接や溶射で肉盛りし、再び形を削って作り直すという高度なものまである。特殊な修理や巨額な設備投資が必要な場合は、メーカーが指定する修

図3：航空機エンジンの整備工程



出所：国内のエンジンメーカーや航空輸送会社へのヒアリング調査にもとづいて筆者作成。

19) エンジンメーカーA社におけるヒアリング調査より (2013年8月30日実施)。

理専門会社に送られる。修理が無理ならば、廃棄部品となって補用品と交換される。修理や交換が終わるとエンジンが組み立てられ、試運転を経て機体にエンジンが取り付けられる。

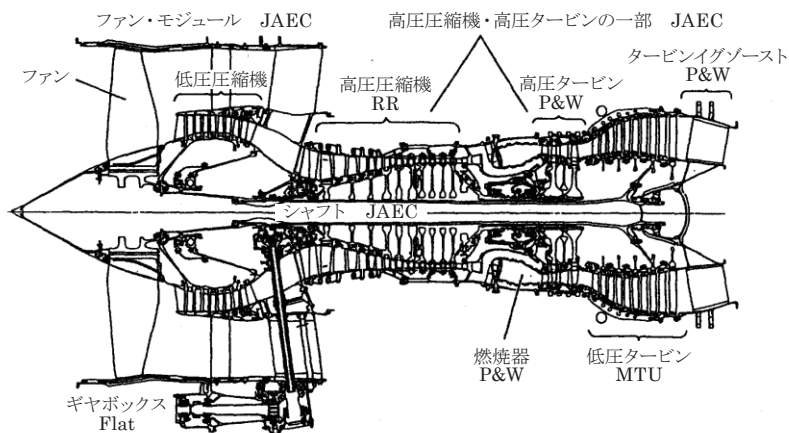
不具合の原因となった部位や、寿命に近づいた部品が整備の対象になるが、修理や補用品交換の発生頻度が高く、主な整備対象になるのが高圧圧縮機、燃焼器、高圧タービンというエンジンコアなのである。

(3) 補用品交換を必要とする技術的根拠

エンジンコアが主な整備対象となるには、それだけの技術的な理由がある。

図4に示すように、ターボファンエンジンは、主にファン、圧縮機、燃焼器、タービンなどから成り立つ。吸い込まれた空気は、圧縮されてから燃料の噴射によって高温高圧ガスとなり、タービンを回転させると同時に膨張し、排気ノズルで大気圧まで膨張する。ガスの通過によって高速で回転するタービンは、ファンや圧縮機を回す軸に接続されて駆動力を供給する。ファンからバイパス排気（ファンのみを通過）とコア排気（エンジンコアを通過）に流れる空気流の比率をバイパス比といい、これが大きいほどプロペラに近づき、小さいほどターボジェットエンジンに近づく。バイパス比の大きな最近のターボファンエンジンは、ファンだけで推力の多くを発生させており、エンジンコアの主な役割はファンの駆動といえる。

図4：V2500 エンジンの断面図



注：高圧圧縮機とギヤボックスの分担はP&W AEIに引き継がれている。
出所：日本航空宇宙工業会（2000），100 ページ。

エンジンコアは、燃焼器と高圧タービンは高温に、高圧圧縮機や高圧タービンでは高速回転にさらされるため特殊な金属が用いられる。とりわけ高圧タービンは、燃焼器で生じる高温高圧ガスにさらされ、かつ高速で回転するために、高温強度を備えた耐熱合金が用いられる。たとえば、世界最大の推力を生むGE90-115Bでは、最大温度は1,000度を超え、高圧タービン

は毎秒最大 188 回転 (毎分 11,292 回転) する²⁰⁾。したがって、エンジンにおいて最も疲労が激しく、補用品が必要とされる部位は、燃焼器に一番近い 1・2 段目のタービンプレードなのである。エンジンの大きさによって異なるが、1 段目のタービンディスクには 60～100 枚程度のブレードが取り付けられており、名刺よりも小さな 30g 程度のブレード 1 枚に 1.5 トンを上回る遠心力がかかる。

このブレードには、精密鑄造によるニッケル合金の単結晶中空翼が用いられ、1 枚 70～200 万円の費用がかかる²¹⁾。1 枚 100 万円とすると、1 段目のタービンプレードをすべて取り換えると 6 千万円～1 億円の費用がかかる計算になる。航空輸送会社にとっては最も部品費用がかかる部位なのである。

したがって、高価な補用品が必要とされる理由は、航空機の技術特性に求められるのである。自動車や鉄道、船舶といった交通機関に比べても、航空機はエンジンの停止や機体の損傷、システムの不具合が即座に深刻な重大事故につながりうるため、航空機やエンジンは航空当局によって強度、構造、性能が設計、製造、完成後の各段階で審査され、耐空性基準に合格して型式証明 (Type Certificate) を取得しなければならず、また部品の交換や修理方法も厳格に定められている。航空機エンジンは、とくに回転部分や高温部分は高温強度が求められる過酷な環境におかれるが、そのような環境の下でも絶対的な安全性と技術の確実性が求められる。そのため、高価であっても部品を一定の時間間隔で交換することが技術的に必要なのである。

補用品事業の収益性においても、エンジンコア、とりわけ高圧タービンの開発と製造は重要である。そのため、エンジンの共同開発では、どの部位を担当するかが補用品を含む事業収入にとって重要であり、基本的には 3 大メーカーがエンジンコアを担当し、日本企業はそれ以外の部位を担当することが多い²²⁾。図 4 に示したように、V2500 では、P&W が 32.5% の参加比率 (プログラムシェア) で高圧タービンと燃焼器、タービンエグゾーストを、P&W AEI (スイス) が 33.5% で高圧圧縮機とアクセサリーギアボックスを、日本航空機エンジン協会は

20) FAA による GE90 の Type Certificate Data Sheet (第 13 回改訂版, 2007 年 3 月 8 日取得) より ([http://www.airweb.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgMakeModel.nsf/0/c3dde38cb50b3100862572a60049bec3/\\$FILE/E00049EN.pdf](http://www.airweb.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgMakeModel.nsf/0/c3dde38cb50b3100862572a60049bec3/$FILE/E00049EN.pdf), 2013 年 10 月 6 日閲覧)。

21) 吉中 (1994), 39～40 ページ。ブレードの費用は、「危機と闘う・テクノクライシス第 3 回『しのびよる破壊 航空機エンジン』」(NHK スペシャル, 2006 年 7 月 11 日放送) を参考にした。

22) V2500 では、担当部位の違いによる補用品収益が、参画比率にしたがって分配されている。V2500 の収入分配は、コスト見合い部分と利益見合い部分から構成される。新製エンジンの販売では両方が分配されるが、担当外の補用品が売れると、参加比率ごとに収益見合い部分のみが分配される。なお、コスト見合い部分は、開発当初の為替レート (日本円は 233 円 / 1 ドル) を基礎に 5 ヶ国で為替変動を吸収したが、1995 年の急速な円高に対して P&W からクレームが付き、収益見合い部分と同様に、基本的にはドル建ての収益配分に変更された (IHI, 2007, 134 ページ)。ただし、量産効果や製造方法の改良などによってコストが削減できれば自らの収益になるので、やはり補用品が多く出る部位を担当することは、収益の面でも重要であると考えられる (日本航空機エンジン協会におけるヒアリング調査 [2013 年 2 月 21 日実施] より)。

23%でファンと低圧圧縮機、シャフト、MTUは11%で低圧タービンを担当している²³⁾。国際分業におけるこのような関係は、V2500の後継のPW1100G-JMや、787用のGENxとTrent1000、リージョナルジェット機用のCF34でも基本的には同じである。

エンジンコアは、主な整備対象であると同時に、航空機エンジンという製品の中核技術である。使用環境が過酷で開発と製造が難しく、技術的蓄積が重要な部位である。その維持・管理には多額の費用がかかるが、航空機全体の安全性や経済性への影響が大きい部位なので、コストがかかっても整備によって技術の確実さを保証しなければならない。それゆえに、エンジンコアは技術競争力と利益の源泉であり、特定のエンジンメーカーによって担当されている。

3. 収益構造における整備事業と補用品事業の関係

エンジンメーカーは、従来から補用品事業を収益構造の要としながら、整備事業も行なってきた。ところが、LCC（Low Cost Carrier：低コスト航空輸送会社）だけでなく大手航空輸送会社もエンジン整備を外注化する中で、エンジンメーカーもグローバルな整備市場をめぐって激しく競争している。以下では、航空輸送会社における整備の外注化と、それを受注するエンジンメーカーにおける整備事業の特徴を分析し、整備契約方式の変化によって両者の関係が変化していることを明らかにする。

(1) 航空輸送会社における整備の外注化

IATA（International Air Transport Association：国際航空運送協会）による民間航空機の整備（MRO）市場の推移を表1に示す。整備の内容は、主にフライトとフライトの間に行うライン整備（運航整備）と整備工場内での整備に分かれ、後者はさらに機体の重整備と、機体から構成部品を取り外した装備品整備及びエンジン整備に分かれる。その中でも本稿が対象にするエンジン整備の割合は大きく、2009年の整備市場は、エンジン整備が最大の40%（185億ドル）、重整備・改造が22%（99億ドル）、装備品整備が20%（90億ドル）、ライン整備が18%（83億ドル）であった。エンジン整備は、2002年の104億ドル（28%）を基準にすると、2009年は金額が1.78倍で40%の割合に増えており、2020年には割合は40%と変わらないが金額は2.5倍の260億ドルになると予測されている。2011年における大型機用エンジンの部品販売を除

23) 国内では、IHIが13.75%の比率でファンケース後段やファンフレーム、シャフト、ファンモジュールを、川崎重工業が5.8%でファンケース前段と低圧圧縮機の動静翼とディスク、三菱重工業が3.45%で低圧圧縮機のブリードダクトや低圧タービンディスク、高圧タービンケースを担当している。開発当初は高圧圧縮機をRR、ギアボックスをイタリアのフィアットが担当したが、フィアットは1996年、RRは2012年に合弁事業から撤退した。ただし、両社とも当初担当部位の供給は続けている。RRの保有株式はP&Wが取得したが、アメリカの国内税法との関係などから、取得分はスイス法人のPW AEIが担当している。その後、P&W AEIの保有分もパートナー間で分担され、分担比率も変化している（UBM, 2013, p.43及びJAECホームページ、<http://www.jaec.or.jp/panfv25.pdf>, 2013年10月6日閲覧）。

く整備事業は、RR の Trent700/800 が 12 億ドル、GE の GE90 が 11 億ドル、P&W の PW4000 が 26 億ドルと合計 49 億ドルに達した²⁴⁾。

表 1：民間航空機の整備市場の推移 (10 億ドル)

	重整備・改造		装備品整備		エンジン整備		ライン整備		合計
	金額	割合	金額	割合	金額	割合	金額	割合	
2002	12.0	32%	6.9	18%	10.4	28%	8.5	22%	37.8
2003	10.7	30%	6.7	19%	10.5	29%	8.2	23%	36.1
2004	11.6	31%	6.9	19%	10.1	27%	8.5	23%	37.0
2005	11.5	30%	7.2	19%	10.7	28%	8.9	23%	38.3
2006	10.0	26%	7.4	19%	13.5	35%	8.0	21%	38.8
2007	8.6	21%	7.9	19%	17.1	42%	7.3	18%	41.0
2008	9.6	21%	8.7	19%	18.8	42%	8.1	18%	45.1
2009	9.9	22%	9.0	20%	18.5	40%	8.3	18%	45.7
2010	8.7	21%	7.8	18%	18.0	43%	7.8	18%	42.3
2015	10.1	20%	9.8	20%	21.2	42%	9.0	18%	50.1
2020	13.8	21%	13.2	20%	26.0	40%	12.2	19%	65.3

注：2010 年以降のデータは予測である。

出所：IAT A's Maintenance Cost Task Force (2011), p.3.

エンジンの整備市場が大きいだけでなく規模が拡大する理由は、航空輸送会社による自社整備から、グループ会社による整備やメーカーへの外注化が進んだことにある。また、外注化の範囲は、機体・エンジン・装備品の整備から、そのマネジメントまで及んできた²⁵⁾。

日本航空株式会社は、グループ会社の株式会社 JAL エンジニアリングで整備を行っており、機体は成田航空機整備センターと羽田航空機整備センター、装備品は成田部品整備センターと羽田部品整備センター、エンジンは成田のエンジン整備センターに拠点をもち、定時運航のために予備部品を約 25 万点、簿価 300 億円を保有している²⁶⁾。全日本空輸株式会社 (以下、全日空) は、自社の整備センターを中心に、ライン整備と機体、装備品、原動機の整備会社と物流を担う 5 社が連携して整備を行なっている²⁷⁾。

ただし、両社ともグループ会社ですべての整備を行なっているわけではない。日本航空は、たとえば大型双発機 777 の GE90 エンジンの整備を GE に外注し、小型双発機 737 の CFM56

24) 数値は航空コンサルティング企業である ICF SH&E の MRO 市場モデルリング・ツールにもとづく (UBM Aviation, 2013, p26)。なお、地域別の整備市場は、2008 年の 440 億ドルのうち、北米が 35% (154 億ドル)、西ヨーロッパが 26% (114 億ドル) と多くを占めた (機械振興協会経済研究所, 2011, 12 ページ。原出所は Tom Tran [2009] PMA Market Outlook, Impact of the Recession, from presentation for 9th Annual MARPA conference [30 September] である)。

25) 松田 (2001a), 24 ページ。

26) 愛知県・名古屋市・中部航空宇宙産業技術センターが主催して名古屋市で開催された第 1 回航空宇宙産業海外展開支援セミナーにおける株式会社 JAL エンジニアリングの講演より (2013 年 9 月 27 日開催)。

27) ANA グループのホームページより (http://ana-recruit.com/group/c_box03.html, 2013 年 10 月 6 日閲覧)。

エンジンは、2000年にGEエンジンサービスと10年間の長期契約を結んだ。これは、日本航空グループで約200億円を支払い、10年間で約100基の整備を委託する契約であった²⁸⁾。全日空も、2011年に777用のPW4000エンジンの整備を一部委託する契約をP&Wと結んだ。同社では、整備費用がエンジンだけで年間約100億円かかっていたが、補用品在庫の削減や部品管理業務の効率化によって年間20億円以上のコスト削減が見込まれた²⁹⁾。とくに全日空は、従来の外注先は国内のIHIが多かったが、最近は国外にも発注している。

エンジン整備が外注化される理由としては、第1に、技術の問題がある。エンジン技術が複雑で高度になるにしたがって、その整備や修理には専門的な知識とともに、高額の設定投資が必要になるので、整備が外注化されてきた³⁰⁾。

第2に、航空自由化とともに、低価格を追求し、整備を外注化するLCCが台頭してきた。アメリカでは、1978年に航空規制緩和法が成立して、路線参入と運賃に関する規制が撤廃された。新規に参入した企業は、短距離路線に特定の小型機を大量に投入し、人件費の抑制やサービスの簡略化によって低価格を追求した。機体はリースで整備を外注化することで、保有と整備を分離して運航に特化することがLCCの特徴である。2004年にはアメリカ全体でリース機は半分近くに達した³¹⁾。本稿で主に取り上げるV2500は、小型機A320に搭載され、エンジン整備を外注化するLCCのような顧客が多いエンジンである。

第3に、LCCの台頭や航空自由化によるコストの抑制圧力の下で、既存の大手航空輸送会社も整備コストの抑制を余儀なくされた。LCCに対抗する大手航空輸送会社は、ハブ・アンド・スポーク型の路線網を構築する一方で、自らもトータルなコストの抑制に迫られたのである。IATAによれば、2008年の航空輸送会社の運航コストの内訳は、燃料費31%、運航費24%、整備(maintenance)11%、航空機所有(A/C ownership)10%、販売費(Distribution)8%、手数料(charge)7%であり、整備費のインパクトは決して少なくなく、その多くを占めるエンジン整備でコストの抑制が求められた³²⁾。より安い外注先となると、国内にとどまらず国外メーカーにも発注することになり、エンジン整備市場はグローバルに拡大してきたのである。

28) 「GE、主力航空エンジン、アジアで初めて分解点検を完了」『日経産業新聞』2005年9月16日付。ただし、整備を行なっている場所は、GE90が新東京国際空港（成田空港）内の日本航空の設備、CFM56はGEエンジンサービスのマレーシア工場とされた。

29) 「エンジンの整備、米社に一部委託」『日本経済新聞』2011年2月10日付。2013年7月時点で全日空は、機体の重整備（ドック整備）では、全体の作業工数の半分程度をアジアなど海外に外注している（全日本空輸株式会社におけるヒアリング調査、2013年7月31日実施より）。

30) UBM Aviation (2013), p.31.

31) リース機の割合は、アメリカン45%、ユナイテッド41%、USエア76%、コンチネンタル65%、サウスウエスト23%、ジェットブルー37%に達した（Newhouse, 2007, p.73）。

32) IATA (2011), p.16.

(2) エンジンメーカーにおける整備事業のグローバルな展開

エンジン整備の外注化は、受け入れる主体の存在によって実現する。整備を受け入れたのは基本的にはエンジンメーカーであることから、外注化の要因と特徴はエンジンメーカーの側からも説明しなければならない。

第 1 に、エンジンメーカーにおけるエンジン寿命を延長させる技術開発が、補用品事業以外の収益源を必要にした。補用品事業は、エンジンメーカーにとっては収益源であるが、航空輸送会社にとってはコスト要因である。それゆえ、整備間隔の延長につながる部品の寿命延長が航空輸送会社の技術的要求になり、エンジンメーカーにとってはそれに応じる技術開発が、補用品の販売機会を減らしかねないというジレンマにつながる³³⁾。

V2500 の派生型開発でも、エンジン寿命の延長が一貫して追求されてきた。1988 年に型式証明を取得した V2500-A1 は、当初は高温部のタービンの劣化による寿命が最大 8,000 時間であったが、92 年に耐久性が改良されて寿命が 50% 増した。V2500-A1 の推力増大型が、ファン径を 0.5 インチ長い 63.5 インチにし、低圧圧縮機の段数を 1 段増やして 4 段にした A320 ファミリー用の V2500-A5 と MD-90 用の V2500-D5 である。それぞれ 92 年に型式証明を取得した。99 年には、V2500-A1 に改良が加えられて寿命がさらに 25% 増し、順次整備の際に取り替えられた。一方、2004 年には、ライバルである CFMI が CFM56 の改良計画を発表し、燃料消費率の 1% 改善、エンジン運航時間 (Time on Wing) の 20% 延長、NO_x の 2004 年新環境基準 (CAEP4) に対して 15% マージンの確保に取り組んだ。対抗して IAE は、V2500 SelectOne を開発し、燃料消費率を 1% 改善し、寿命を 20% 延長させた。続いて V2500 SelectTwo や V2500 SelectThree も開発されており、メンテナンス費用の抑制なども目標にされている³⁴⁾。

第 2 に、政治的要因があげられる。エンジンメーカーは、機体メーカー以上に民生部門と軍事部門の関係が強い。3 大メーカーはそれぞれ軍用エンジンメーカーでもあり、1989 年から 96 年にかけて GE の兵器販売額は 63 億ドルから 18 億ドルに減り、兵器販売比率も 11% から 2% に落ち込んでいる。同様に、P&W の兵器販売額は 25 億ドルから 19 億ドル、兵器販売比率は 36% から 30% に減少した。ソ連崩壊を前後して、アメリカの軍事費は 87 年の 3948 億ドルから 97 年の 2845 億ドルと 28% 削減された。同じ期間に、軍事調達費は 1130 億ドルから 502 億ドルと 44% に、軍用機の調達額は 461 億ドルから 154 億ドルと 33% にまで減少したことが、エンジンメーカーの軍事部門の収益に直結したと考えられる。これが一因となり、民生部門における収益の増大、そのための整備事業への本格的な参入が図られたのである³⁵⁾。

33) Kandebo (1998), p85. UBM (2013), pp.30-38.

34) 日本航空機エンジン協会 (2011), 22 ~ 26 ページ。UBM (2013), pp.40-42.

35) 松田 (2001a), 25 ページ。メーカーの兵器販売額は SIPRI (1998), pp.261-266 及び SIPRI (1990), pp.326-329, 軍事費と軍事調達費は OMB (2007), pp.55-60, 軍用機の調達費は AIA (1991), pp.22-23 及び AIA (2005), pp.20-21 より。

エンジンメーカーが整備事業に力を入れるようになった象徴的な例は、1995年のGEエンジンサービスの設立である。GEはその後、96年にブラジルのセルマ(Celma)を買収し、マレーシア航空との合弁会社をクアラランプールに、ノーダム(Nordam)との合弁会社をウェールズに設立した。97年にはグリニッチ航空サービス(Greenwich Air Service)を買収して整備事業を拡大した³⁶⁾。

こうして、1990年代半ばからは航空輸送会社のエンジン整備が外注化され、エンジンメーカーを中心に、航空輸送会社の整備部門や独立系メーカーも整備主体となり、整備市場の獲得が争われた³⁷⁾。

V2500の整備事業に着目すると、全世界に15程度の整備工場が存在し、エンジンの開発を分担したP&WやMTU、IHIに加えてルフトハンザ・テクニーク(Lufthansa Technik AG)などが主な整備主体である³⁸⁾。

その中でも最大手はMTUである。MTUの本社はミュンヘンにあるが、MTUメンテナンスはハノーバーを拠点にV2500やCFM56-7を整備している。もう1つのV2500の整備拠点は、2003年に中国南方航空(China Southern Airlines)と共同で中国の珠海(Zhuhai)に設立したMTUメンテナンス珠海である。V2500保有数が276基の中国南方航空や254基のジェットブルー(JetBlue Airways Corporation)、228基のLATAM(LATAM Airlines Group S.A.)³⁹⁾と独占的な長期契約を結ぶこともあり、2012年に整備されたすべてのV2500のうち、MTUの2拠点で35%を扱った。累積では3,000基以上のV2500を整備してきた⁴⁰⁾。

P&Wは、1996年に設立したジョージア州のコロンブス・エンジンセンター(Columbus Engine Center)、ニュージーランド航空と合弁のクライストチャーチ・エンジンセンター(Christchurch Engine Center)、2009年にトルコ・テクニーク(Turkish Technic)と合弁で設立したトルコ・エンジンセンター(Turkish Engine Center)でV2500を整備する⁴¹⁾。

IHIは、瑞穂工場において、かつてはP&WのJT8Dや、大型機用のGEのCF6、RRのRB211も整備していた。P&Wによって12,000基以上が生産されたJT8Dエンジンの整備は、

36) Kandebo (1998), p.85.

37) エンジンメーカーは、OEM (Original Engine/Equipment Manufacturer) とも呼ばれている。

38) エンジンメーカーA社におけるヒアリング調査より(2013年8月30日実施)。15ショップには、A社他に、P&Wの3工場、MTUの2工場、RR、ルフトハンザ・テクニーク、EGATなどがある。

39) 出所は脚注15と同じである。LATAMはブラジルのTAM航空とチリのLAN航空が2012年に合併してできた。なお、V2500の保有数は2012年のものであり、予備エンジンは含まれていない。V2500を多数保有する他の主要企業には、ユナイテッド航空(304基)やブリティッシュ・エアウエイズ(260基)がある。MTUメンテナンス珠海ではCFM56の整備も行う。

40) UBM (2013), pp.43-44及びMTUのホームページより(http://www.mtu.de/en/company/corporate_structure/locations/index.html, 2013年10月5日閲覧)。

41) UBM (2013), p44。3拠点すべてでV2500-A5を整備し、クライストチャーチではV2500-A1とV2500-D5の整備も行う。

全日空が 1964 年に導入した 727 や防衛庁の C-1 輸送機に始まり、73 年に東亜国内航空（その後の日本エアシステム、現在は日本航空に統合）が導入した DC-9 や MD-80 シリーズ、日本航空の 727 など、国内すべての航空輸送会社から受注した。整備数は、全日空グループが 1,492 基（～2000 年）、東亜国内航空は 700 基以上に達した。CF6 エンジン、全日空からモジュールで 1,490 基（79～94 年）、日本エアシステムから 509 基（82～2006 年）を受注した。93 年には、南西航空（現在の日本トランスオーシャン航空）から 737 用の CFM56 の整備を受注した。かつての IHI によるエンジン整備事業は、国外企業からの受注もあったが、大半は国内企業の整備であり、整備機種は多品種にわたったのである⁴²⁾。

2000 年代に入ってから、IHI は整備機種を整理して V2500 と CF34 に特化し、国外企業からの受注も増やしてきた。それぞれ年間 120 基と 60 基を受け入れる能力を整備し、V2500 は累積で 1,500 基以上を整備してきた。機材の回転率を上げるために短納期を求める航空輸送会社に対しては、瑞穂工場では、2009 年に約 5 億円で部品管理棟「ロジスティックセンター」を設置して、数万点に及ぶ部品をモジュール単位で管理する仕組みが導入された。これによって平均 58 日の納期を 50 日に短縮するよう試みられた。2010 年には、ネックとなる洗浄工程の混雑緩和により、平均 60 日という V2500 の納期を 2～3 割短縮することが試みられた。2011 年には、アメリカの修理専門会社 ICR (International Component Repair) との合弁会社 IHI-ICR が設立され、V2500 の燃料温度を制御する FDRV (Fuel Diverter and Return Valve) の修理拠点が初めてアメリカに作られた⁴³⁾。

メーカーの他にも、航空輸送会社の整備部門が独立的に整備事業を行う典型がルフトハンザ・テクニク (Lufthansa Technik AG) である。もともとはルフトハンザ航空 (Deutsche Lufthansa AG) の V2500 の整備を行っていたが、1995 年に分離され、他社のエンジンも積極的に整備するようになった。拠点であるハンブルク (Hamburg) や、ダブリン (Dublin) の LTAI (Lufthansa Technik Airmotive Ireland) で年間 70～90 基の V2500 を整備している⁴⁴⁾。また、台湾のエバー航空 (Eva Airways) と GE の合弁である EGAT (Evergreen Aviation Technologies) のような独立系メーカーも存在する。

エンジンメーカーによる整備は、その生産機種と整備機種が必ずしも同じではないことが特徴的である。そのため、MTU や IHI の整備部門は独立系メーカーと分類されることもある。しかし、生産機種の整備であれば、整備や修理の認可を得やすく、担当部位について深い技術

42) IHI (2007), 146～153 ページ。防衛庁のエンジンを入れると、さらに多品種である。

43) 「航空機用エンジン、IHI、整備期間 15% 短縮」『日経産業新聞』2009 年 7 月 20 日付。「航空機エンジン整備・修理、IHI、2～3 割早く」『日経産業新聞』2010 年 12 月 16 日付。「IHI としては初となる米国での民間航空機エンジンの修理拠点を設立」(2012 年 10 月 10 日付の IHI プレスリリースより、http://www.ihico.jp/ihico/all_news/2012/press/2012-10-10/index.html, 2013 年 10 月 12 日閲覧)。

44) UBM (2013), pp.44-45 及びルフトハンザ・テクニクのホームページより (<http://www.lufthansa-technik.com/ltai>, 2013 年 10 月 14 日閲覧)。

的知識をもつのでライバルよりも優位に立てる⁴⁵⁾。そうした理由もあり、IHIは生産を分担する機種に整備事業を特化させ、グローバルな整備市場からの受注を増やしていると考えられる。

(3) 包括的整備契約による補用品市場の困い込み

航空輸送会社のエンジン整備の外注化と同時に、整備契約方式も変化している。従来はエンジン整備時に人件費や修理費用、補用品費用などを航空輸送会社が支払う実費支払契約（Time & Material）が中心であったが、飛行時間当たり定額支払の包括契約（Power By The Hour: PBTH）が増えている。包括契約は5年や10年という長期の単位で結ばれる。飛行時間当たり定額には、エンジンの取降計画や整備内容の管理、部品などの費用がすべて含まれ、問題なく飛行した時間分だけ支払われる。したがって、金額は契約時に定められ、実際の整備費用には連動しない。

“The MRO Yearbook 2013”によれば、RRは、すべてのTrentエンジンの90%でトータルケア（Total Care）と呼ばれる包括契約を結んでいる。この契約方式は、1995年にキャセイ・パシフィック航空のA330-300のTrent 700で導入された。GEは、GE90-115Bを所有する40社のうち約30社、GE90-94Bを所有する16社のうち10社とオン・ポイント（On Point）と名付けられた包括契約を結んでいる。GEは95年にGEエンジンサービスを設立してから包括契約をセールスの前面に出してきた⁴⁶⁾。この包括契約（PBTH）は、これ以前にも航空輸送会社では行われており、たとえば84年には日本航空がライニング・タイガーの747貨物機15機のJT9Dエンジンの整備を受注した⁴⁷⁾。整備の外注化が進むとともに、エンジンメーカーが行う整備でも包括契約が増えてきたのである。

外注化とともに包括契約が増えてきた理由は、航空輸送会社とエンジンメーカー双方に求められる。

航空輸送会社では、整備費の平準化と抑制が求められた。エンジン整備は数年おきに1回断続的に発生し、費用もその都度変化して事業計画も立てにくい。コスト抑制圧力の下では、大きな負担である。そこで、包括契約であれば整備費を固定化でき、さらには将来の修理の発生見通しと比較してメーカーの提案額が安ければ経費削減となる。IHIでは、1982年から整備を受注していた日本エアシステム（JAS）のCF6エンジンについて、客先からの要望によつ

45) UBM (2013), pp.43-44.

46) UBM Aviation (2013), pp26-28. 1995年当時は、GEの包括契約はオン・ポイントではなく、MCPH（Maintenance Cost Per Hour）と呼ばれていた（松田，2001c，39ページ）。1994年からコンチネンタル航空の副社長を務めた鶴田国昭によれば、777のエンジンGE90について、業界に先駆けて10年間の長期契約、時間単位の整備費用方式がコンチネンタル航空からGEに提案された（鶴田，2009，179～181ページ）。他にも、2001年の段階で、アメリカン航空は保有する102機の中型双発機757のRB211エンジンについて、10年間の包括契約を結んでいた（松田，2001d，24ページ）。

47) 松田（2001c），39～42ページ。

て 2000 年代に包括契約に移行した。この契約によって、「JAS はエンジン整備費を年間を通じて平準化できるほか、整備管理の件費を削減でき」、IHI は「長期にわたる仕事量の確保と計画的な棚卸部品管理ができる」として両社のメリットが強調されている⁴⁸⁾。

また、部品在庫コストの削減や、故障リスクの回避というメリットも得られる。図 2 には V2500 の新製部品と補用品の売上高比率を示しており、エンジンの運航と同時に補用品がわずかに売れたことがわかる。航空輸送会社は、整備が発生する前から一定数の補用品を事前購入し、在庫していたのである。

自社内に技術者を抱えて整備能力をもつ大手企業は、今でも実費支払契約を結ぶ傾向にあるが、運航に特化する LCC の多くは包括契約を結んでいる。ただし、大手の航空輸送会社でも、導入当時から自社整備の体制を整えてきた古いエンジンに比べると、新しいエンジンの方が包括契約を結びやすい。

一方、エンジンメーカーにとっては、包括契約であれば資金の回収を早く始められる。通常は、エンジンを販売してから補用品が売れ出すまで数年がかかり、その間は資金を回収できないが、包括契約であればエンジンの運用とともにアフターマーケットの収入が得られ、図 1 の収支カーブの底が左にずれてくる。ただし、整備費用の見積もりが正確でなければ航空輸送会社かエンジンメーカーのどちらかが損をするので、その金額は互いの経験やノウハウにもとづいて交渉がなされる。そのため、契約内容や金額も顧客によって異なる。包括契約でありながら、飛行時間当たり定額の支払額を貯めておき、整備に入った時にまとめて支払う契約も存在し、その場合は資金の回収時期を早められない⁴⁹⁾。

エンジンメーカーにとってより重要な理由は、補用品事業を妨げる要因に対抗して、確実に収益を得るために包括契約が機能していることである。つまり、エンジン整備のマネジメントを自らの管轄下におくことで顧客を囲い込み、補用品事業を確実に実行するというのである。補用品事業を妨げる要因には、非純正品や中古品が使用される場合と、修理による場合がある。

第 1 に、補用品販売は非純正品の流通によって妨げられる。非純正品メーカーであっても、PMA (Parts Manufacturer Approval) という FAA (Federal Aviation Administration : アメリカ航空局) の製造者承認プロセスに合格すれば、非純正品を低価格で供給できる。アメリカには約 1,800 の PMA 業者があり、約 16 万品目の PMA 部品が存在するといわれる⁵⁰⁾。ルフトハンザ・テクニクの資料によれば、2001 年当時の業界の平均的なエンジン整備費用は、補用品に相当するマテリアル・コスト (整備材料費、予備部品減価償却費) が 50 ~ 60%、部品修理が 20 ~

48) IHI (2007), 148 ページ。

49) 日本航空機エンジン協会におけるヒアリング調査より (2013 年 2 月 21 日実施)。

50) 中村 (2012), 317 ~ 319 ページ。渡辺 (2001), 30 ページ。非純正品を扱う企業は、基本的にはアメリカ企業に限られる。

30%、組立・分解・試験 15%と見積もられた。しかも、エンジン整備費の多くを占める補用品の価格は、P&WとGE、RRの純正品についてみると年平均で3~5%上昇し、1991年からの9年間で50%も上昇した。マテリアル・コストの内訳は80~95%が純正の補用品で、5~15%は余剰部品、1~3%が非純正品のPMA部品である。そのため、純正の補用品の負担が非常に大きく、品質に問題がなければ、航空輸送会社が純正品よりも25~40%安いPMA部品を使おうとするのも無理はない⁵¹⁾。それに対してエンジンメーカーは、包括契約を結べば自身の管理下で純正の補用品を使用できる。

第2に、中古部品も補用品販売の妨げになる。とくに、V2500のように運用開始から20年以上が経過し、今後5~6年で新製エンジンの販売が終わる見込みのエンジンは、多くの中古部品が流通する。機体から降ろされるエンジンも増え、エンジンを分解して中古部品が販売されやすくなるのである。そこで、新製のV2500の販売時に、包括契約の1時間当たりの単価と新製エンジン価格をセットにした値段交渉がなされている。IAEは、アフターマーケットの利益を守るためにアフターマーケット・ガイドライン (Aftermarket Policy Guideline) を見直し、2007~11年の新規商談では80%以上のエンジンが包括契約をとまう受注となった⁵²⁾。

さらに、エンジンメーカーが中古部品を管理する動きもある。IHI瑞穂工場は、リース会社や部品会社から中古部品を購入したり、整備工場などにある予備エンジンを分解して、純正品の半額程度で中古部品を顧客に提供することで、低価格でエンジンを整備できる体制を整えようとしている⁵³⁾。V2500では、2003年頃からアフターマーケットを取り巻く環境が変化し、PMA部品や中古部品を用い、DER修理を行う低価格エンジン整備会社 (3th Party Shop) が台頭してきたのであり、その対抗策がとられたのである⁵⁴⁾。

第3に、修理による部品寿命の延長も補用品販売の妨げになる。不具合があった場合、通常はエンジンメーカーのマニュアルにもとづき、認定された修理方法や修理工場を利用するか、修理が無理であれば補用品と交換する。しかし、メーカーの認定がなくても、航空局が認定するDER (Designated Engine Repair) であれば、その管轄範囲内で、特定の航空輸送会社の特定のエンジン部位という限定された範囲で修理が行なえる。たとえば、MTUは、自身の担当でないV2500のドラムの修理方法をEASA (European Aviation Safety Agency: 欧州航空安全機関)

51) 松田 (2001b), 25~30 ページ。三菱重工業によれば、エンジン整備費用の内訳は補用品 (純正品) 40~55%、補用品 (純正品以外) 5~15%、修理 25~35%、組立・分解・試験 15%である (田中他, 2003, 102~103 ページ)。ルフトハンザ・テクニークはアメリカのHEICOに資本参加してPMA部品を積極的に活用しようとした (松田, 2001b, 30 ページ)。

52) 日本航空機エンジン協会 (2011), 34 ページ。IAEでは長期整備保守契約 (Fleet Hours Agreement) と呼称された。現在は、「V-Services」という商標で顧客展開されている。

53) 「航空機エンジン、整備に中古部品、IHI」『日経産業新聞』2013年4月24日付。

54) 日本航空機エンジン協会 (2011), 34 ページ。

によって認定された⁵⁵⁾。

4. おわりに

筆者はこれまでの研究で、航空機産業を対象に、製品類型の形成と変遷、製造技術、市場構造、分業構造、政治・社会構造などに着目し、航空機産業（メーカー）と航空輸送業（ユーザー）の関係にも言及してきた。さらに本論文では、製品販売後のアフターマーケットを対象とした航空機整備産業について論じた。民間航空機産業の分析において、とくにエンジン事業の収益構造を明らかにするためには、航空機産業（メーカー）と航空輸送業（ユーザー）、航空機整備産業との関係をみななければならないからである。この3者の関係は、以下の4点にまとめられる。

第1に、新製のエンジンや部品に着目すると、エンジンメーカーが供給者であり、航空輸送会社が顧客である。ただし、航空機全体の開発や仕様の決定、最終組立を行うのは機体メーカーであることから、航空機開発においてエンジンは副次的な要素にならざるをえない。また、機体への搭載をめぐるエンジンメーカー同士の競争もあるため、航空自由化後はとくに新製エンジンの価格に対する値下げ要求が強くなってきた。

第2に、補用品事業に着目すると、ここでも基本的にはエンジンメーカーが供給者で航空輸送会社が顧客である。絶対的な安全性と技術の確実性が求められる技術特性から、とくにエンジンは頻繁な補用品の交換が必要なのである。しかし、エンジン整備に占める補用品コストが約半分を占めるため、航空輸送会社はそのコストを抑制しようとする。純正品ではなく中古部品やPMA部品を使ったり、修理によって補用品の交換が回避されるのである。そのため、エンジンメーカーは航空輸送会社と対立的な関係性も持ち合わせており、PMA業者や中古部品を分解・販売する業者との競合関係もみられる。さらに、機材の回転率を上げようとする要求も加わって、エンジンとその部品に寿命の延長が求められ、メーカーがそれに応じ、それが補用品販売の機会を奪いかねないことになる。

第3に、エンジン整備に着目すると、航空輸送会社がエンジンメーカーの顧客であるという場合と、両社が競合関係にあるという場合がみられる。エンジンが高度で複雑化するとともに、航空自由化によってLCCが出現し、大手航空輸送会社もコストを抑制せざるをえなくなったことで、航空輸送会社は国外を含めたエンジンメーカーにエンジン整備を外注化してきた。他方でエンジンメーカーは、主に国内の航空輸送会社からの多品種なエンジンを整備する従来のあり方から、整備機種を整理してグローバルな整備市場を奪い合うようになってきた。1995年のGEエンジンサービスの設立に象徴されるように、補用品事業以外にも収益源を確

55) UBM Aviation (2013), p44. ヨーロッパでは、DERと異なりJAR-21 Design Organization Approval (JAR-21 DOA) という制度があるが、基本的な考え方は同じである (松田, 2001b, 30 ページ)。

保するために、エンジンメーカーは整備事業を積極的に行うようになってきたのである。一方で、同じ95年に分離されたルフトハンザ・テクニクのように、航空輸送会社の整備部門が独立的に他社のエンジン整備を引き受け、エンジンメーカーと市場を奪い合うことで、両社が競合する場合もみられる。

第4に、エンジン整備の契約方式に着目すると、航空輸送会社とエンジンメーカーが利害を一致させる場面がみられる。航空輸送会社によるエンジン整備の外注化は、従来の実費支払契約から、エンジンの整備計画や補用品交換を含めた飛行時間当たり定額の支払契約(包括契約)をとる傾向にある。包括契約のもとでは、航空輸送会社のエンジン整備費が平準化され、抑制されると同時に、エンジンメーカーにとってはアフターマーケットが早い時期から成り立ち、PMA部品や中古部品といった非純正品の普及や、修理による補用品交換の回避を阻止することもできる。

さらに興味深いことに、飛行時間に対してエンジン整備費用が発生して、飛行しなければエンジンメーカーにとっては整備費用が発生せず、航空輸送会社にとっては運航による収入が得られないため、故障が少なく、長寿命の技術開発が、エンジンメーカーと航空輸送会社の双方にとっての経済的メリットになりうる。航空輸送会社による整備や実費支払契約では、整備や修理の発生が航空輸送会社にとってコストになり、エンジンメーカーにとって収益になるが、包括契約であれば利害をともにする場合がみられる。

エンジンメーカーにとって、補用品販売は従来からの収益源であり、アフターマーケットが収益構造において不可欠であることは変わらない。しかし、1990年代半ばからの環境変化に対して、エンジン整備の包括契約によってアフターマーケットで確実に補用品収益を上げようとしているのが、今日のエンジンメーカーの特徴なのである。

ただし、エンジンメーカーにとっては、アフターサービスもしくはプロダクト・サポートが単にアフターマーケットとしてのみ重要なのではない。本論文では言及できなかったが、新製品の開発や改良、販売という面で、プロダクト・サポートが窓口になっている。サプライヤの場合は、補用品販売はできても、航空輸送会社と向き合ってプロダクト・サポートを行うことはできない。初期不良や不具合に対応したり、新たなニーズをつかむためにも、多数の顧客とのルートを直接もてるかどうかは大きな違いがある。このようなプロダクト・サポートの機能は、エンジンだけでなく、航空機を独自に開発する際にも重要なことであり、航空機産業における一般的な特性でもある。

なお、本論文ではエンジンの一般的なアフターマーケットについて論じたが、現実のエンジンには製品類型が存在し、その運用の担い手も大手航空輸送会社やLCCなどさまざまである。整備費用はエンジンの大きさによっても異なり、平均的な1回の整備で、CF6やGE90のような大型機用エンジンは10億円、V2500やCFM56のような小型機用エンジンで2億円程度

になる⁵⁶⁾。したがって、エンジンの製品類型をふまえてアフターマーケットの構造を論じることや、整備事業の担い手を分類し、それぞれの視点からアフターマーケットについて論じることが今後の研究課題である。

参考文献

参考文献

- AIA, Aerospace Industries Association of America (1991) *Aerospace Facts and Figures 1990-91*, Los Angeles : Aero Publishers.
- (2005) *Aerospace Facts and Figures 2004-05*, Los Angeles : Aero Publishers.
- Connors, Jack (2010) *The engines of Pratt & Whitney : a technical history*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Gunston, Bill (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)。
- IATA's Maintenance Cost Task Force (2011) *Airline Maintenance Cost Executive Commentary*, International Air Transport Association (http://www.iata.org/whatwedo/workgroups/Documents/MCTF/AMC_ExecComment_FY09.pdf#search=IATA+maintenance+cost, 2013年10月5日閲覧)
- Jet Information Services (2013) *World jet inventory Year-End 2012*, Utica, NY : Jet Information Services, Inc..
- Kandebo, Stanley W. (1998) "Engine Services Critical To GE Strategy," in *Aviation Week & Space Technology*, Feb. 23, pp.85-91.
- Newhouse, John (2007) *Boeing versus Airbus : the inside story of the greatest international competition in business*, New York : A.A. Knopf.
- (1982) *The sporty game*, New York : Knopf (航空機産業研究グループ訳『スポーティーゲーム : 国際ビジネス戦争の内幕』学生社, 1988年)。
- Office of Management and Budget, OMB (2007) *Historical tables Fiscal year 2003: budget of the United States government*, Washington, D. C. : U. S. Government Printing Office.
- 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..
- SIPRI, Stockholm International Peace Research Institute (1998) *SIPRI yearbook : world armaments and disarmament*, Stockholm : Almqvist & Wiksell.
- (1990) *SIPRI yearbook : world armaments and disarmament*, Stockholm : Almqvist & Wiksell.
- UBM Aviation (2013) *The MRO Yearbook 2013: aircraft technology's annual publication for the MRO professional*, UBM Aviation Publications Limited (<http://edition.pagesuite-professional.co.uk/launch.aspx?referral=other&refresh=8m0M15Bt3Hc1&PBID=022e91e7-473c-4d37-b2f7-9761ce1fa10b&skip=>, 2013年10月5日閲覧)。

「IHI 航空宇宙 50 年の歩み」 編纂委員会 (2007) 『IHI 航空宇宙 50 年の歩み』 石川島播磨重工業。
 長内厚・榊原清則編著 (2012) 『アフターマーケット戦略 : コモディティ化を防ぐコマツのソリューション』

56) 全日本空輸株式会社におけるヒアリング調査より (2013年7月31日実施)。

ン・ビジネス』白桃書房。

機械振興協会経済研究所（2011）『航空機及び同部品産業の市場・技術動向と中小企業の参入可能性に関する調査研究』機械振興協会経済研究所（機械工業経済研究報告書 H22-5-1A）。

田中良彦・永井信一・牛田正紀・白井剛（2003）「エアラインの運航を支える大型エンジン整備技術」『三菱重工技報』第 40 巻第 2 号，3 月，102～105 ページ。

鶴田国昭（2009）『資材管理が経営を変える：米巨大エアラインを再建した達人が語る資材管理の極意』日本資材管理協会。

中村洋明（2012）『航空機産業のすべて』日本経済新聞出版社。

西山和宏（2009）『米国流通用語事典』中央経済社。

日本航空宇宙工業会（2012）『平成 24 年版 世界の航空宇宙工業』日本航空宇宙工業会。

—————（2000）『平成 12 年版 日本の航空宇宙工業』日本航空宇宙工業会。

日本航空機エンジン協会（2011）『航空機エンジン国際共同開発 30 年の歩み』日本航空機エンジン協会。

日本航空機開発協会（2013）民間航空機関連データ集（http://www.jadc.or.jp/7_Aircraft.pdf，2013 年 10 月 7 日閲覧）。

日本貿易振興機構〔JETRO〕（2012）『欧州の航空機器・部品に関する輸出マーケティング調査』（www.jetro.go.jp/jfile/report/07000986/report.pdf，2013 年 10 月 6 日閲覧）。

前問孝則（2000）『最後の国産旅客機 YS-11 の悲劇』講談社+α 新書。

松田紀男（2001a）「特集 MRO マーケットの動向について（1）」『航空技術』第 551 号，2 月，20～26 ページ。

—————（2001b）「特集 MRO マーケットの動向について（2）」『航空技術』第 552 号，3 月，24～31 ページ。

—————（2001c）「特集 MRO マーケットの動向について（7）」『航空技術』第 557 号，8 月，36～42 ページ。

—————（2001d）「特集 MRO マーケットの動向について（9）」『航空技術』第 559 号，10 月，22～27 ページ。

山崎文徳（2011a）「民間航空機における技術と産業の社会的発展：イノベーション論の技術論的検討を視野に入れて」『立命館経営学（立命館大学）』第 50 巻第 1 号，5 月，87～105 ページ。

—————（2011b）「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化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。

—————（2010）「民間航空機の市場構造の変化と技術展開」『社会システム研究（立命館大学）』第 21 号，9 月，59～94 ページ。

—————（2009）「アメリカ民間航空機産業における航空機技術の新たな展開：1970 年代以降のコスト抑制要求と機体メーカーの開発・製造」『立命館経営学』第 48 巻第 4 号，11 月，217～244 ページ。

吉中司（1994）『エンジンはジェットだ！』オーム社。

渡辺進（2001）「エアラインにおける部品修理と部品製作の開発」『航空技術』第 551 号，2 月，27～30 ページ。

