

航空エンジンの整備に関する現状と動向

1. 航空エンジンの整備と信頼性管理の動向

1. 1 航空エンジンの整備方式の変遷

従来航空機エンジンは定期的に取り卸しオーバーホールを行っていた。しかしながら、1960年代後半になってオンコンディション・メンテナンスという考え方が出てきて、エンジンの整備方式は変わった。オンコンディション・メンテナンス方式とは、エンジンの運転状態を常に監視し、不具合が発生したら、エンジンを取り卸し必要な整備を行うもので、不具合の無いエンジンでも時間が来れば取り卸して分解検査(オーバーホール)行うハードタイム・メンテナンス方式に比べれば効率的で、より経済的な整備方式と言えた。

1970年代にはワイドボディ機が登場し、バイパス比の大きな JT9D、CF6、RB211等のファンエンジンが開発された。これらのエンジンは、エンジン内部の点検が可能な様に各段毎にボアスコープ・ホールを設けたり、ベアリングの状況を監視できるようにオイルシステムに MCD(Magnetic Chip Detector)を装備する等、オンコンディション・メンテナンスに見合う様に設計されている。しかし、何らかの不具合でエンジンが取り卸され、当該部位だけを修理して再使用した場合、分解検査を行わなかった部位の不具合が原因となり短時間で故障し取り卸されることもあり、これらの不具合内容を分析しながら適切な整備を行っていくために信頼性管理方式も合わせて発展してきた。

エンジンの整備要目は MSG-3(Maintenance Steering Group 3 : メーカー、航空会社及び FAA によって整備要目の初期設定を行う手順書)によって安全性と、経済性の観点より評価され、新機種が導入される度に当該エンジンに見合ったものが初期設定される。これは製造国政府によって承認されるが、更に運航する航空会社は初期設定からその後の運航状況に応じた適切な整備要目を設定管理し、当該国の航空局に承認を得なければならないことになっている。

エンジンの不具合は運航条件、使用環境によって異なり、各航空会社はエンジンの運航中のパラメータ、機体の定例整備時の検査データ、分解検査データ、他社の不具合情報等に基づき、エンジンの整備処置の決定、整備要目の見直し、改修の導入検討、等を行い、信頼性の維持向上を図っている。

オンコンディション・メンテナンス方式を導入して約30年、エンジンの信頼性は確実に

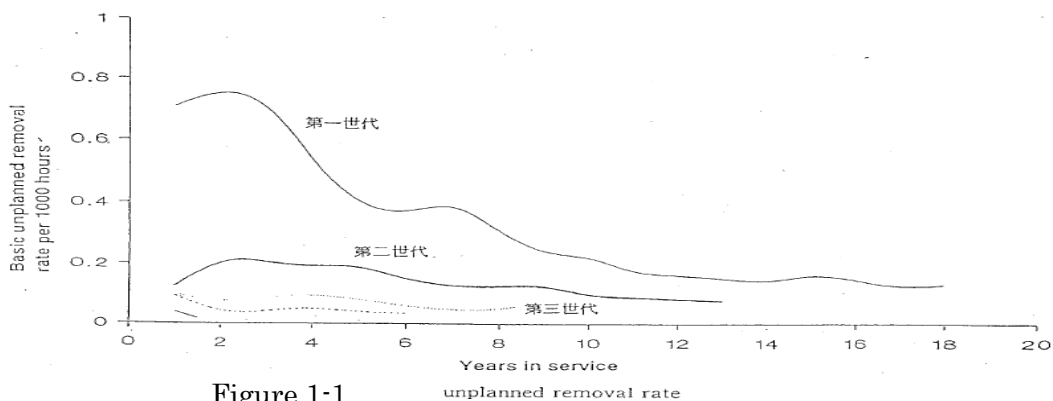


Figure 1-1

unplanned removal rate

に向上してきており、当時 1,000 時間にも満たなかった On Wing Life(エンジンが取り卸されるまでの使用時間)は、5,000~10,000 時間にまで延長され、中には 30,000 時間を越えるエンジンまで出てきている。

更に、第二、第三世代のエンジンは、過去の不具合を改善した派生型のデザインを採用し、開発時により確実なテスト等を実施することによって初期故障が大幅に減少し、導入当初から安定した信頼性を維持している。(Figure 1-1)

この様な観点から、オンコンディション・メンテナンス方式は経済的効果を備えた整備方式として成功を収めたと言えるであろう。

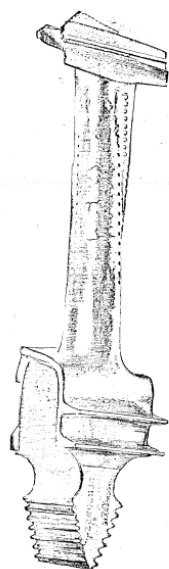
1. 2 信頼性管理プログラムの現状と課題

オンコンディション・メンテナンス方式の基本的な考え方は、信頼性管理プログラムに基づいて故障要因をモニターし、予め定めた基準を超えた場合に適切な整備処置を行い、故障を未然に防ごうとするものである。

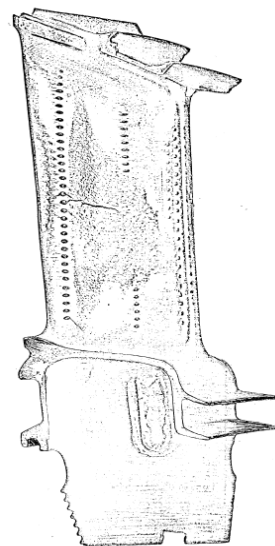
しかしながら、全ての故障要因をモニターできるとは限らない。以下にその事例を示す。

(1) 高圧 Turbine Blade の Thermal Fatigue Crack / Failure (Figure 1-2)

高圧 Turbine Blade は使用サイクルの蓄積によって Thermal Fatigue Crack が発生する。しかしながら、Airfoil に発生する Thermal Fatigue Crack は一般的に Borescope で点検していても気が付くことは難しい。従って Airfoil Separation 等のエンジン故障が発生してから、Crack の起点を確認し、その Crack を十分に識別できる Borescope Equipment を準備し、Crack の発生時期、進行速度、発生部位等から、適切な Borescope の点検開始時期、点検間隔、点検部位を指示することになり、初期の故障の発生を未然に防止できる体制にはなっていない。



←(左図)
Leading Edge(前縁)
に発生する Thermal
Fatigue Crack の例。
ボアスコープで点検
可能であるが、点検部
位を明示しないと見
逃す可能性がある。



←(左図)
Concave Side (腹側)
Trailing Edge に発
生する Thermal
Fatigue Crack の例。
点検部位を明示しな
ければ見逃す可能性
がある。

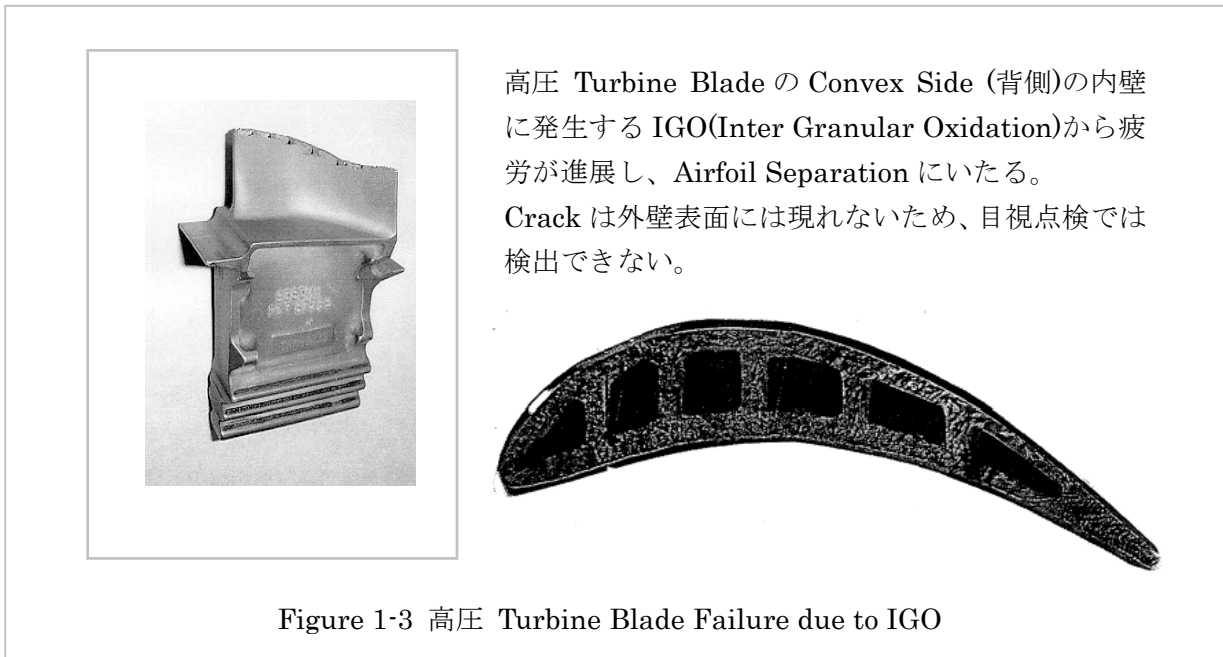
Figure 1-2 高圧 Turbine Blade Thermal Fatigue Crack

(2) 高圧 Turbine Blade の IGO / Failure (Figure 1-3)

Take Off 時の高温にさらされる時間の蓄積によって Turbine Blade Airfoil Cooling Passage の内壁に IGO (Inter Granular Oxidation) が発生し、そこから Crack が進展し

て高圧 Turbine Blade Failure に至る。Crack の起点は Blade の外表面ではないため、目視や蛍光探傷検査でも Crack を検出することは出来ず、機体装着状態のエンジンでは検査によって Crack を発見することは不可能である。

この様な Failure Mode の場合は、Failed Blade の使用時間/サイクルからワイブル分析によって Blade の寿命を見極め、Airfoil Separation に至らないように使用時間/サイクルを定めて Blade を廃棄するプログラムを設定している。



このように、初期に発生する故障を未然に防ぐことが出来る体制にはなっていない。

上記以外にも、不具合の発生から故障に至るまでの時間が短くて不具合の進展状況をモニター出来ない場合や、不具合の状況そのものを確認する手段がない場合などは、故障が発生してから初めてそれらの防止策を検討しなければならない訳である。(Figure 1-4)

これらの問題について、後発の航空会社は先発の航空会社 (Fleet Leader) の状況をモニターすることにより事前に対策を取ることが可能である。

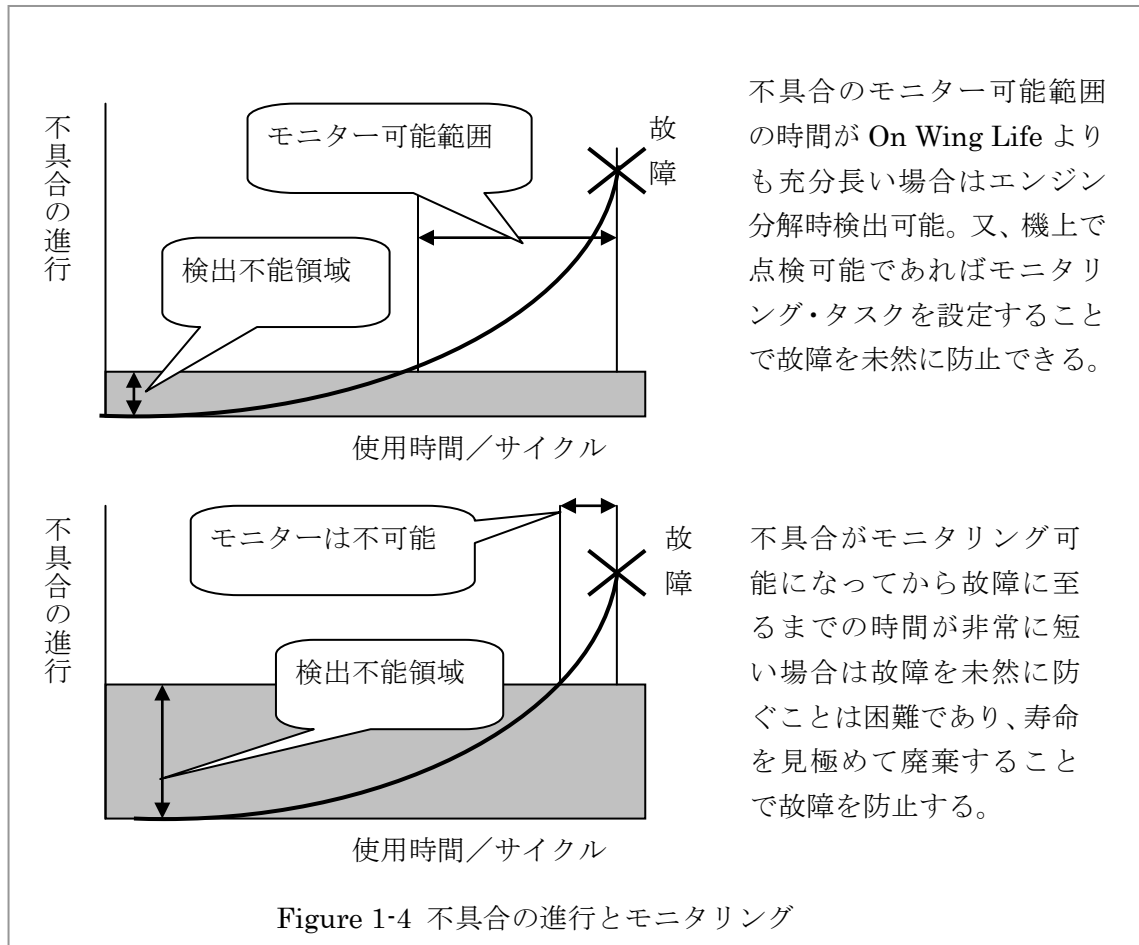
メーカーは対策として改修指示書 (Service Bulletin) を発行するが、航空会社としては、効果が充分ではないケースや、更に別の不具合を誘発するようなケースも経験することが少なからずあり、先発の航空会社は常にこれらのリスクを背負っている。この点、後発の航空会社は先発の航空会社の経験をモニターし、充分実績のある効果的な改修を実施していくことにより信頼性を維持することが可能となる。

このように、先発の航空会社は常に使用時間/サイクルの蓄積によって発生する不具合を初めに経験することになり、その都度技術対策とその生産的インパクトに苦慮している。

以上の観点から判る様に、現在の信頼性管理プログラムでは、経年劣化などに起因する新しい故障要因が顕在化した場合に未然に故障を防止できる体制にはなっていない。

従来信頼性のレベルではこれらの故障はフリート全体に埋もれて大きな問題とはならなかった。しかしながら、次項に述べるように、最近ではフリート全体の高い信頼性の

レベルを前提として新しい航空機が開発されてきているのである。



1. 3 ETOPS の導入と信頼性管理の課題

エンジンの信頼性は確実に向上してきた。これらの背景には、故障要因に対するハードウェアの改修、それらの改善点を取り入れた派生型エンジンの開発、等が効果を出していると考えられる。そしてこれらの信頼性のレベルをベースに ETOPS(Extended Range with Twin Engines Operations)と言う新しい運航方式が生まれた。

従来、双発機は、片発のエンジンが不作動の場合を想定し、60分以内に最寄りの空港に着陸できるような飛行ルートを選定しなければならなかった。従って、洋上飛行は限定され、目的地まで片肺飛行で60分以内に着陸可能な空港のあるルートを選定しなければならず、結果的に大きく回り道をしなければならなかったのである。

ETOPS は、この60分の片肺飛行時間を延長することにより、目的地まで、より効率的な飛行ルート（洋上飛行）を選定出来る様にしようとするものである。ETOPS は、エンジンの IFSD Rate(空中停止率)により、90分、120分、180分と延長され、現在207分まで延長されている。こうして双発機が洋上飛行を行い、航続距離を伸ばすことによって、より経済的な運航が可能となってきたのである。

ボーイングは ETOPS を B767 に導入し、北米・ヨーロッパ路線は次々と ETOPS 運航に切り替わっていった。そして、B777 の開発では就航開始の時点から ETOPS 180分を

適用できる様に新しい試みが導入された。即ち、エンジンの初期故障を徹底的に無くすために、実際の飛行状況をシミュレートした 3000 時間の Engine Test Cell Run、1000 時間の飛行テスト、整備のヒューマンエラーを無くすようなプログラム等を実施することにより、従来 ETOPS 承認の条件としていた 250,000 時間の使用実績の評価を省略することを可能としたのである。十分な使用実績が無い新規開発エンジンに対して就航開始から ETOPS を導入した結果としても、現在まで問題は発生していない。Service Ready と言われるように初期故障を発生させないように開発時点で従来よりも充実したテストを行い、発生した問題点については徹底的に導入までに改善を行うという新しい考え方は功を奏したと言える。

しかしながらその課題としては、前項で述べたように、経年化の新しい故障要因が出てきた場合に果たして ETOPS は維持できるのかと言う問題が残る。

ETOPS 運航を維持するためには、高い信頼性のレベルを確実に維持し続けることが求められており、1-2 項で述べた様に故障が発生してから整備処置を採るような、リアクティブな信頼性管理プログラムでは限界がある。

エンジンの各構成部品の故障要因は何か、何時その故障は発生するのか、そしてその故障対策は現在の整備要目で対応可能なのか、具体的な対策は何か、という観点に立って、再度従来の信頼性管理プログラムで見極められなかった領域を更に追求することが必要になってきているのではないだろうか。

この様な先手の故障対策を進めるためには、航空会社とエンジンメーカーの連携が今まで以上に重要になってくる。最近では航空会社と機体メーカー、エンジンメーカーで構成された WTT(Working Together Team)による活動が盛んになり、お互いの情報交換を密接に行い、不具合対応として効果をあげているが、これらの活動を基盤として、プロアクティブ(Proactive)な新しい信頼性管理プログラムを確立することが必要であると考えられる。

Note:

“プロアクティブ(Proactive)”とは、発生した事象に対して対応策を取る“Reactive”に対応して最近使われている言葉であるが、ここで述べているプロアクティブな信頼性管理プログラムとは、不具合内容、不具合の発生部位、進行速度などを予め見極めるためのプログラムで、不具合を未然に防止するためにタイムリーにアクションを取ることを目的とした新しい信頼性管理方式である。プログラムの詳細は別の機会に述べることとし、ここでは省略する。

1. 4 経済的整備の更なる追及

定格推力よりも低い推力で運航(Derating Operation)すると、エンジンの構成部品へ与える応力は著しく減少する。特に燃焼器や、タービン等のホットセクションの寿命は著しく延長される。又、性能劣化によりエンジンの取り出し要因である EGT(Exhaust Gas Temperature : 排気ガス温度)Margin を大きく取れるため、推力に余裕のあるエンジンを使うことの方が経済的であるとも言える。

Disc や、Shaft 等の Life Limited Parts へ与える応力も著しく減少するが、これらの部品は製造会社/FAA により廃却寿命が一律に規定されており、使用条件によって寿命の延長は出来なかった。

しかし最近のエンジンでは、運航中のエンジンパラメータが全て自動的に記録され、コンピュータで Derate % Level を管理することが可能となったため、FAA はそのレベルに応じた寿命延長を認めるようになってきた。日本の国内線の様に短い路線を頻繁に運航する場合、使用サイクルの蓄積が早いため、寿命到達によるエンジン取り出し、Life Limited Parts の交換頻度が国際線に比べて著しく多いが、Derate % Level による寿命延長が認められることにより多額の整備コストが削減可能になってくる。

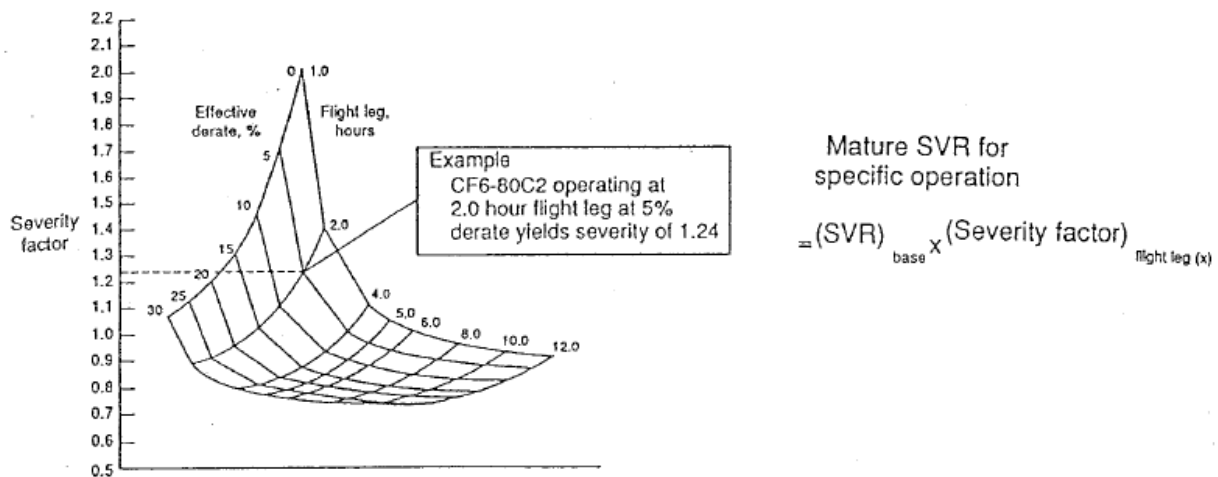


Figure 1-5 Derating Operation による Severity Factor

近年、エンジンは益々大型化し、同型エンジンで各種の定格推力を持つケースが増えてきている。例えば CF6-80C2 エンジン は同一のハードウェアで定格推力にバリエーションを与えている。エンジンの価格は推力の大きいほうが高額であり、同じハードウェアでも定格推力が低ければ価格が安いのが一般的である。但し、部品の価格は全て共通である。価格構成がこの様になっているため、航空会社が低い定格推力のエンジンを高い定格推力で使う場合、FADEC(全デジタル自動制御)の Rating Plug を変更するだけで推力の増加は可能であるが、エンジンメーカーとの契約に基づき差額のコストを支払う必要がある。

しかしながら、同一のハードウェアで何処まで定格推力にバリエーションを持たせることが得策であるのか？ B777 の場合、P&W は結果的に 74000Lbs.~84000Lbs.までのエンジン(PW4084)と 90000 Lbs.以上のエンジン(PW4090)を別のハードウェアとして開発した。この点ロールスロイスは、全ての推力範囲を Trent800 を同一のハードウェアで提案している。高推力のエンジンになれば、よりハイテクの材料を必要とし、高推力に見合うハードウェアの設計を必要とするが、低推力はそこまで必要としない。しかしながら、上述したように推力の減少により、寿命の伸びは予想以上に大きく、結果として整備コストが安くなり、総合的にはバランスする領域が出てくる。

現在ボーイングが提案している新中型民間機 7 E 7 のエンジンは、上記の観点から、エンジンメーカーが、装着するエンジンのハードウェアのバリエーションをどのように設定するかによって整備コストと燃料費がどのように変わるかが、論議の焦点になっている。

即ち、長距離用の航空機に装着するエンジンと日本の国内線に使用する航空機のエンジンはどうあるべきかということであり、長距離用では高推力で低燃費のエンジンが望まれるが、このエンジンを国内線の短距離に使用した場合（低推力用でも）十分に経済的といえるかという課題である。設計推力の中心を何処におくか、二種類のエンジンを開発するべきか、同一ハードウェアで、生産コストを抑えるべきか、Life Limited Parts の寿命を低推力によって何処まで延長可能か、エンジン部品の使用限界をそれぞれの使用条件によって適切に設定できるか、推力に応じた部品の適切な価格設定、等新しい課題がたくさん出てきている。

整備コストに焦点を当てた議論は今後益々活発になるであろう。

2. エンジンメーカーのビジネス戦略と整備の動向

2. 1 大推力のエンジンの開発と競争の激化

B777 はボーイングがエアバスの A340 と競争するために開発した新鋭機であり、国際線仕様の長い航続距離を双発機で経済的に運航出来るように設計された。そして、その派生型では乗客数、航続距離にバリエーションを与え、B777-200, -200ER, -300, -300ER を

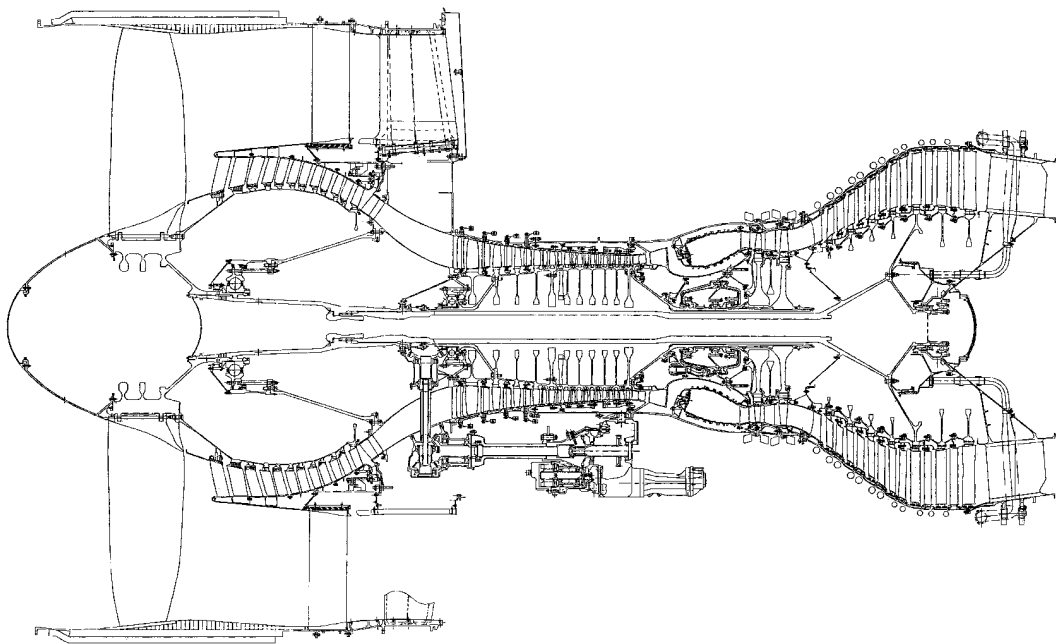


Figure 1-6 PW4074/4077 Engine

開発した。このため、従来4発のエンジンを装備している機体を2発でカバーするため、従来にない高推力（10万ポンドクラス）のエンジンを必要とし、エンジンメーカー3社はこれらの要求に満足するため高額な開発費を投じてエンジンを開発した。P&WはPW4000 Seriesの派生型としてPW4084(PW4074, PW4077: Figure 1-6)、PW4090, PW4098を開発し、ロールスロイスはTrent 700から派生型のTrent 800 Seriesを開発した。GEは、10万ポンドの推力を満足するために全く新しいエンジンを開発し、GE90と

名づけた。

これらのエンジンの開発には膨大な開発費を要したが、更に売り込み合戦は従来にない激しい競争になった。その販売には各社とも値引きや従来にない Warranty/Guarantee 条件の提示等を行い、導入当初利益は得られない状況であったと推察される。

この様な熾烈な競争はエンジンメーカーの存続に影響するとして、GE、P&W は次に開発を迫られた A380 のエンジン開発ではお互いに競争をせず、開発費を抑えるため、Engine Alliance を設立し、GP7000 というエンジンの共同開発を行う事にしたほどである。

更に GE は B777-300ER の機体には競争を避けるためボーイングに装着エンジンを一社に限定するように働きかけ、最終的に GE90-115B(定格推力；115000 Lbs.)が唯一のエンジンとして装備されるようになった。

B777 のエンジン開発によってエンジンメーカー各社は大きな財政赤字となったが、既に航空産業は冷戦の終結による軍事部門の縮小、信頼性の向上に伴う整備用部品の販売低迷などにより、開発費の回収が困難になってきていた。各メーカーはレイオフや構造改革を余儀なくされ、生き残りをかけて、次のような戦略に出てきたのである。

(1) 国際共同開発

メーカーは、付加価値の無い領域をアウトソーシングすることにより、自社の開発費を削減できる。更に共同開発を行う国に対して自らの製品の市場を拡大出来るメリットを得る。IAE 社による V2500、CFMI 社による CFM56 は国際共同開発によって開発されたエンジンである。そして、国際共同開発だけでなく、Risk and Revenue Sharing Partner (RSP)や、下請け生産を盛んに行うようになる。日本は、GE と GE90、CF34-8、-10、ロールスロイスと Trent800 等の RSP や下請け生産を行っている。

(2) アフターマーケット・ビジネスへの進出

機体メーカー、エンジンメーカーは、従来のようにプロダクトを開発・製造・販売するだけでは経営を維持できなくなっており、これを打開するための方策として、自らの能力を最大限に活用できるアフターマーケット・ビジネスに進出することを決めた。

即ち、従来機体・エンジンの整備や、部品修理を行っていた会社を買収するだけでなく、これらの会社を市場から排除し、アフターマーケット・ビジネスを独占するような戦略に出てきているのである。

2. 2 OEM(Original Equipment Manufacturer)のアフターマーケット・ビジネス戦略

米国には昔から、部品の修理、PMA 部品 (Parts Manufacturer Approval 部品。FAA が製造販売を承認した航空機/エンジン用部品) の製造販売を行っている多くのベンダーが存在している。彼らは、独自に部品の修理方法を開発したり、より安い整備用部品を製造することによりオペレータの整備コスト削減に寄与してきた。

OEM もこれらのベンダーを自らの製品をサポートする会社として認知し、彼らの開発した修理方法等を承認し、オーバーホール・マニュアルに掲載した。この様に OEM はエンジンの設計・開発・製造・販売を、ベンダーは修理や、子部品提供のプロダクト・サポートとして共存共栄の関係にあった。しかしながら 1990 年代に入り、航空機・エンジンの熾烈な価格競争が始まり、信頼性の向上によって部品の寿命が延びたため従来のように整備用の部品が売れなくなった事などから、メーカーが開発費の回収に苦慮するようにな

り、事態は大きく変わってきた。

航空会社がベンダーの開発した修理方法を採用し、マニュアル上廃棄となっていた部品を救済したり、より安価な PMA 部品を採用することによって OEM の部品が売れなくなることから、OEM はこれらのベンダーの開発したものを認めることはせず、次の様な提案を航空会社に示すことによってこれらのベンダーを市場から排除しようと言う戦略に出てきたのである。

(1) 整備の包括契約

Powered By Hour、Maintenance Cost Per Hour、Fleet Management Plan 等、メーカーによって呼び名は異なるが、整備コストを使用時間当たり一定額に固定し、航空会社と整備契約を 10~15 年単位で締結しようと言うものである。これによって航空会社はどのような不具合が生じても年間の整備コストを定額に押さえることが出来、予算を立て易いと言うメリットがある。

OEM にとっては、整備ビジネスによって利益を得られると同時に、契約航空会社から、修理ベンダーや PMA 部品の購入を排除することが出来、OEM 部品の販売を維持確保出来ることになる。

当初は整備を外注していた中小の航空会社が対象であったが、自社整備を行っている大手の航空会社も、経営不振により、一部のプロダクトを契約するところが出てきている。

(2) On Site Support/On Site Warehouse

航空会社にとって整備用の予備部品在庫額は大きな負担である。しかしながら、運航やシヨップ整備のために必要最小限を自社の部品倉庫に確保しておく必要がある。

On Site Support、On Site Warehouse と言う考えは、OEM が OEM の部品を使用することを前提に航空会社の部品倉庫に必要な部品を置き、使用した段階で清算を行うと言うものである。

航空会社は自ら部品在庫を持つ必要はなく、部品を必要とするときには直ちに入手できることから、大きなコスト削減になる。OEM は自らの部品を航空会社に置くことにより、自社の倉庫スペースを確保出来ると同時に PMA 部品の排除が可能になる。

(3) 部品の KIT 化販売

整備処置によってコンポーネントを交換する場合、付随した部品やシール等の消耗品を同時に交換する必要がある。これらの部品はパーツカタログで調べ、それぞれ必要なものを倉庫から取り出さなければならない。この手間を省くように予め必要な部品を Kit 化し、セットで販売すれば航空会社は発注の手間と、整備時の手間を省く事が出来るため Kit 購入をする方が便利であるのは言うまでもない。PMA 部品には消耗品が多くあり、Kit 化販売を行うことは PMA 部品の排除にも繋がる。

(4) OEM 部品の値引き

PMA 部品や、DER(Designated Engineering Representative: FAA に代わって Technical Document の承認が出来る資格)による Approved Repair が開発されると、OEM はそれらの部品に対して値引きを提示し、対抗している。オペレータにとっては、OEM 部品を安く購入できることから値引き合戦は大きなメリットになるが、これは OEM のベンダー潰しの戦略でもあり、ベンダーが潰れていった場合、いずれ OEM の独占化により、部品価格の高騰は目に見えている。

(5) ハイテク化による部品修理の独占化

最近の航空エンジンはハイテク化が進み、材料、コーティング等、特殊なものを採用しているため従来の方法では修理が出来ない。特に Turbine Blade、 NGV(Nozzle Guide Vane)等の部品に対する修理方法について各メーカーは Proprietary Repair として修理方法を開示せず、自ら指定した修理工場でのみ修理を受託している。

この結果、航空会社、オーバーホール会社は、これらの部品を全て OEM に送付しなければならず、部品修理ビジネスも OEM に独占化されていく状況である。この先には(1)項で述べた整備の包括契約が控えている。

(6) 図面・テクニカルデータの有料化

航空機・エンジンに関する図面、テクニカルデータは整備作業に必要であり、従来は自由に入手が可能であった。しかしながら、OEM のアフターマーケット・ビジネスへの参入に伴い、これらの入手が困難になったばかりでなく、受託整備を行っている会社は、これらのデータと引き換えにその作業に関わる利益の一部を OEM に支払わなければならないケースまで出てきている。

OEM は、テクニカルデータの流出によって部品の製造や修理開発が行なわれることを阻むために厳しく管理を始めたと同時に、アフターマーケット・ビジネスによって利益を得ている整備会社から Royalty Fee を取る事によって利益を得ようとしている。

2. 3 アフターマーケット・ビジネスの今後の動向

この様な OEM 戦略に真っ向から立ち向かったのは Lufthansa Technick である。同社は、OEM が市場を独占した場合には整備コストの高騰が考えられ、PMA 部品による市場競争があつてこそ価格のバランスが保てる、と各エアラインに呼びかけている。そして自らベンダーと合弁会社を設立し、PMA 部品の開発を行っている。ユナイテッド航空、デルタ航空、アメリカン航空等、大手エアラインもこれらのベンダーに資本参加し、積極的に PMA 部品の採用を行っている。

こうして、従来からアフターマーケットを支えてきたベンダーは、OEM の下請けとして生き残るか、新たな修理方法や PMA 部品の開発を行うことによって OEM と競合していくか、に分かれてきている。

従来 PMA 部品は、整備用の部品市場の 1%~3%程度(価格比)しか市場に出ておらず、その殆どが消耗品であった。

最近では、コピー商品(OEM の図面を入手して作成したもの)から更に改善のために工夫を凝らしたもの、最新の技術力を取り入れ、より信頼性を向上させたもの(Test & Computation による部品開発)が出てきている。又、Compressor Blade や、高圧 Turbine Blade 等の Critical Parts も開発されてきており、今後 PMA 部品製造会社はより高額な部品の開発を手がけ、20%程度の市場を確保しようとする目論みでいる。

これに対し、エンジンメーカーは、Critical Parts の Non-OEM 部品はエンジンメーカーとしてエンジン全体の耐空性を保障できるものではなく、十分な設計基準を満足していない可能性がある、として FAA に対して現在の PMA 制度に対する審査基準を見直すことを訴えている。

しかしながら、現在 FAA はこれらの Critical Parts に対して開発された PMA 部品も、

FAA の定められた基準を満足している限り耐空性に問題ないとしており、当分 PMA 制度に対する基準を改定するような動きはなさそうである。

更に、エンジンメーカーは航空会社に対して **Critical Parts** に対するエンジン全体への影響や、これらに起因してエンジンの重大故障に至った場合、エンジンメーカーは一切責任を負うことは出来ず、**Warranty / Guarantee** 等の補償交渉にも応じられないことを述べ、**Non-OEM Parts** を採用しないように呼びかけている。

欧米の大手航空会社は、これらのエンジンメーカーの要請に屈することなく、自らの判断で PMA 部品/DER Approved Repair を積極的に検討し、採用している。

では、他の航空会社はどのように反応しているのでしょうか？ PMA 制度、DER 制度は米国の制度であり、米国の航空会社は積極的に採用しているようであるが、東南アジアの航空会社には未だに浸透しているとは言えない。Non-OEM の各ベンダーは、積極的に東南アジアの航空会社を訪問しその有効性についてマーケティングを行っているが、反応は今一鈍いようである。大きな理由は、エンジン故障が起きた時の原因探求、補償などをエンジンメーカーから受けられなくなることを心配している。Non-OEM が OEM と同等の技術力、補償を約束できない限り航空会社はリスクを負ってまで Non-OEM Parts を採用しない方針は今後も中々変わらない様である。

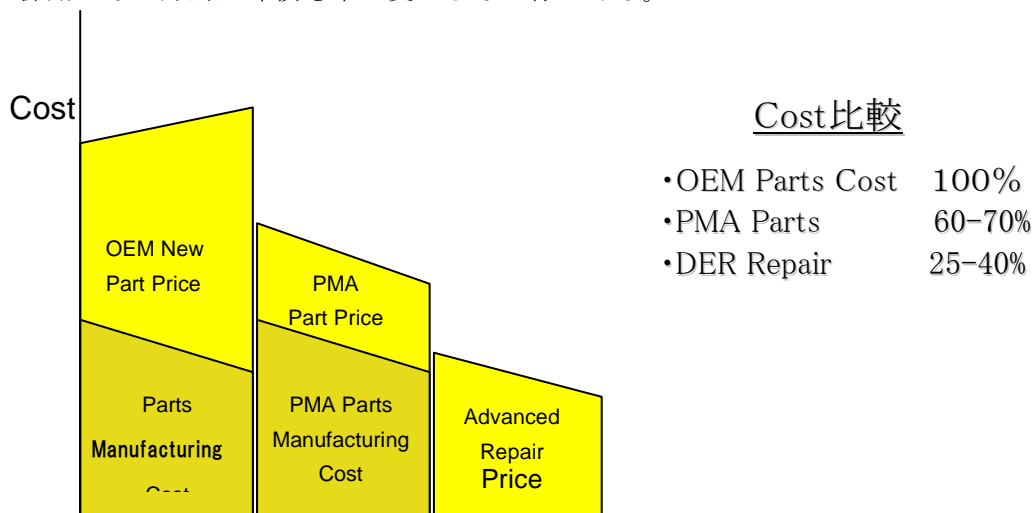


Figure 2-1 部品コストの比較

日本において PMA 部品が正規部品として航空局に認可されたのは 1993 年に入ってからのことである。それまでは OEM 部品だけが正規部品として取り扱われており、航空会社は使用することは出来なかった。又、修理方法に関してもメーカーのマニュアルに従った修理方法以外は認められていなかった。

整備コストを低減しなければ欧米の航空会社と対等に競争できない、そのための方策として欧米の航空会社が採用している PMA 部品や、DER Approved Repair を採用していきたいという航空会社からの規制緩和の要望に基づき 1993 年 2 月 26 日 サーキュラー TCL-153-93 「PMA 部品の取扱い」が発行され(現在のサーキュラーNo.3-009(2001 年 1 月 26 日制定)に移行)、PMA 部品は正規部品として認知された。その後 DER Approved Repair も簡単な審査で採用が可能となったのである。



Figure 2-2 HP NGV Distress (左写真)
マニュアルでは修理方法は無く廃棄となる
状況である。
しかしながら、Repair Vender の開発した
修理方法により再生が可能である。

Figure 2-3 (右写真)
Airfoil Replacement Repair により、新
品同様となる。
DER Approved Repair の例



Figure 2-4 (左写真)

HP NGV
Airfoil
Replacement
Repair Kit

Inner Platform 以外は全て新
品である。
修理価格で新品同等になる修
理方法といえる。

3. 航空会社の整備の動向

3. 1 エアラインの構造改革

1980 年代に米国に始まった規制緩和の波は、航空会社の価格競争を世界中に広め、航空会社は合理化を図ることを余儀なくされ、構造改革が始まった。

前2項で述べたように、航空機・エンジンメーカーがアフターマーケット・ビジネスに進出し、安い整備コストを提供する一方、従来から自社整備体制を基本に行ってきた大手航空会社も整備コスト削減のためにアウトソーシングを検討せざるを得なくなり、安い整

備コストを巡って整備部門の別会社化が考えられるようになった。即ち、整備部門を航空運送業から切り離し、別会社として独立採算できるように構造改革を迫ったのである。

この結果、ルフトハンザ 航空から分かれた整備部門は **Lufthansa Technik** として独立し、世界の航空会社から整備受託をすることによって事業を拡大し、アフターマーケット・ビジネスによって利益を得る会社へと発展していった。即ち、メーカーのマニュアルに従った整備だけではなく、独自で修理開発、信頼性、経済性を追求した機体・エンジンの改修開発を手がけ、他社への売込みを行ったり、PMA 部品製造会社への出資を行うことにより、OEM との部品価格競争を自ら仕掛けて、アフターマーケット・ビジネスの活性化にリーダーシップを取るようになっていった。ドイツには DOA (Design Organization Approval)、POA (Production Organization Approval) という、航空局に代わって組織的に設計や製造の法的承認行ため出来る委任制度がある。**Lufthansa Technik** はこれらの資格を取得し、航空機、エンジンの MRO (Maintenance, Repair and Overhaul) に関する事業を全て実施し、世界最大の MRO プロバイダーとなることを目指している。

英国航空も自社の整備部門に対して構造改革を迫った。同社は、B777/GE90 の選定においてウエルズのエンジンオーバーホール工場を GE に引き取らせ、エンジンのオーバーホール等の整備から手を引いた。その代わり機体改修を行うための事業を拡大した。英国航空は、整備部門にとって必要と判断するものを取捨選択し、利益率の高いもののみ集約し、残りは外注化する道を選んだと言われている。

この様に、**Lufthansa Technik** は MRO ビジネスとして独立採算を狙い、OEM に対抗して何処までアフターマーケット・ビジネスが可能かにチャレンジしており、一方、英国航空は航空会社のコアとして MRO を何処まで残すかという点に着目した構造改革であったといえる。この考え方は他の航空会社にも波及し、スイス航空、ヴァージン・アトランティック航空、ブリテイッシュ・ミッドランド航空、シンガポール航空などが整備部門を別会社化している。

米国の大手の航空会社は、FAR 121 Air Carrier Certificate を取得するために、MRO の実施能力 (Subpart L) を有することが条件となっているので、航空会社として切り離すことは出来ない。しかしながら、構造改革の波に逆らうことは出来ず、整備部門は自社整備のコストメリットを突きつけられ、一部のエンジン整備を OEM の提案する整備の包括契約 (2. 2 (1) 項) や、他の MRO プロバイダーへ外注化せざるを得なくなっている。

日本の航空会社も例外ではない。従来自社整備を基本としていた日本航空、外注整備から自社整備体制を進めてきた全日空も自社整備の優位性とは何かを問われ、人件費の安い外注整備委託や、関連会社の設立を行って人件費の削減に努め、一部の装備品などには OEM の提案する Maintenance Cost Per Hour 等の整備方法を採用し始めている。B777 の導入では、航空 3 社 (ANA、JAL、JAS) が PW4000 を導入したのをきっかけとして、以下の様に航空 3 社で整備協力を行うことにより、各社の投資額を大幅に削減し、スケールメリットによる生産性の向上を目指している。

- ・ 予備エンジンを含む予備部品については、貸借、及びエクスチェンジを前提として計画的に分担して保有する。(在庫部品の削減によるコスト削減)
- ・ エンジン・モジュール及び装備品については設備を分担して保有し、その設備を使用するユニットにつき整備作業を分担する。(作業分担による設備投資額削減、スタッフ、

作業員の効率化)

- ・エンジン・テスト・セルや、ドック作業スタンド等の大型設備の貸借を行う。(設備の共有化による投資額削減)

3. 2 航空会社の整備部門の課題

世界的な規模で進められてきた構造改革の柱は「コア・コンピタンス経営」である。航空会社にとって何がコア業務なのか、航空運送事業にとって整備は不要と言えるのであろうか？

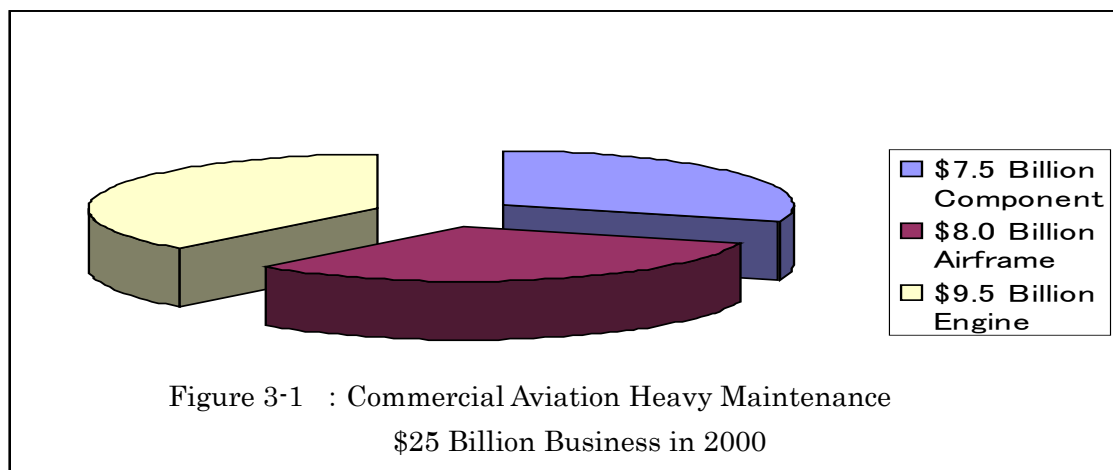
前項に述べたようにルフトハンザ航空は整備部門を切り離れたが、あくまでもグループ経営として **Lufthansa Technik** は傘下であり、ルフトハンザ航空の技術部門と一体となって運用されており、別会社とはいえ従来の組織活動は変わらない関係を維持しているように見える。但し、独立採算制をとるために、従来以上に受託整備に力を入れて世界的規模の **MRO** プロバイダーとして体質強化が図られている。**MRO** プロバイダーとしては、**OEM** のアフターマーケット・ビジネス戦略とも真っ向から対立する形となるが、「**OEM** にとってルフトハンザ・グループはカスタマーである。」ことを掲げ、**Lufthansa Technik** に対する **OEM** の態度に牽制を賭けている。

このような観点から、航空会社の一部として整備部門を維持している場合には **OEM** に対してコスト競争力のある提案が出来るが、整備部門を完全に放棄し外注整備に依存した場合はコストに対する競争力を無くしてしまうことになる。

FAA の航空会社に対する考え方は明確であり、航空会社は全ての整備作業を外注化出来るが、耐空性に関する責任はオペレータが持つこと、と定めている。例えば、1996年にマイアミのエバーグレーズで墜落事故を起こしたヴァリュー・ジェット航空は、整備作業を無秩序に外注化しており、事故の責任は外注会社の作業にあり、同航空の責任では無い、と述べたが、**FAA** の上記の規定に基づき、全ての責任を負わされることとなった。

外注管理能力は何も経験の無い者に備わるのか？自ら問題を把握していなければ外注管理も出来ないのではないだろうか。

エンジン整備は航空機の整備コスト全体の38%を占めており(**Figure 3-1**)、そのうちの大半が部品費である。従って、安い人件費で作業を行う以上に部品費を如何に安く運用出来るかが整備コスト削減の鍵となる。



部品の寿命、不具合発生状況は運航条件、使用環境によって異なり、部品費に大きく影響する。これらの部品に対する整備要目、修理基準、再使用の許容基準はこれらの運航条件によって航空会社の技術部門が定めることが出来る。(メーカーマニュアルはあくまでも参考資料であり、航空会社の責任の下で定めることになっている。)

更に、マニュアルに掲載されていない修理方法の採用、PMA 部品の採否など航空会社は自らの経験と実績に基づきライフタイム・コストを考え整備プログラムを決定できる。

OEM は、本来プロダクトの信頼性を維持するためにコンサバティブな基準で整備マニュアルを作成しており、基本的には部品を売ることによって利益を得ている。

修理会社は、修理を行うため、部品廃却をしないように修理開発を行い、修理コストで利益を得ている。部品のライフタイム・コストを考えて修理を行うかどうかは別の問題である。

OEM の提案している Power by the Hour、Maintenance Cost Per Hour などは、OEM として航空会社と同等のチャレンジを行う整備契約であるが、OEM が利益を得るためには従来航空会社が自ら行っていたショップ整備と運航状況の両方を見極めながら整備プログラムを確立していくことが必要であり、運航を行っていない OEM にとって、航空会社がリスクを負って出来るレベルに到達することは中々困難であり、限界がある。

この様に考えると、エンジン整備において、航空会社が自らの運航条件に見合った整備プログラムを確立する技術力がある限り、自社整備体制、又はグループ企業として効果的な整備体制を敷くことが最もコスト効果のある整備体制と言えるのである。更に航空会社は OEM だけに依存することなく、自らの技術力で修理方法、PMA 部品の採用可否を決定し、OEM との間でコスト競争を維持する事がアフターマーケット・ビジネスの均衡を保つ方法であると言えるのではないだろうか。

しかしながら世界の航空会社は、2001年9月11日の米国同時多発テロに始まった更なる航空不況の波に飲まれ、次々と大手航空会社が経営の危機に直面している。長期的視野にたったコスト削減よりも短期的にコストを抑えない限り生き残れないという現実もあり、これからの整備体制は果たして本来の姿を維持できるかが判らなくなってきている。

これからも OEM のアフターマーケット・ビジネスでは、新たな戦略を持って修理ベンダーや PMA 部品メーカー潰しに拍車をかけるであろうし、各ベンダーは従来以上に高額部品への開発を行い、新たな選択枝を提案するようになると考えられる。航空会社の整備部門はこれらのアフターマーケット・ビジネス戦略の中で自らの技術力を高めていかない限り、生き残る道は無い。

4. 日本の航空産業とアフターマーケット・ビジネス

日本の重工業は、昔から国内航空会社から受託したエンジンや装備品のオーバーホール作業を中心に、MRO ビジネスに参入してきた。しかしながら、その後国内航空会社が自社整備体制を採用するようになり、受注数が減少してきたため、海外の航空会社の受託整備を行うように、そのマーケットを広げていった。特に石川島播磨重工業(株)は、日本が国際共同開発に参画した V2500 エンジンに対する IAE のオーバーホール整備会社に指定されており、海外の多くの航空会社から受注をしている。

但し日本における MRO ビジネスは、基本的には OEM のマニュアルに従った作業であ

り、独自で修理開発や部品製作を手がけてきてはいない。しかも最近のエンジンは、特殊な修理方法で修理方法が公開されない OEM の **Proprietary Repair** が多く存在するため、分解後の検査で修理を必要とする場合は OEM へ送付し修理を行わなければならない。又、国内でこれらの修理を行う場合には **Proprietary Repair** のライセンスを購入し、修理の利益に対して **Royalty Fee** を支払わねばならない仕組みになっている。又、受託するためには OEM のアフターマーケット・ビジネスに対抗して **Powered By Hour/ Maintenance Cost Per Hour** 等の整備包括契約を提示しなければならない。

しかし、部品を OEM よりカタログ価格で購入しては OEM の提示する契約価格に対抗することは出来ない。PMA 部品や、**DER Approved Repair** を採用することで多少は整備コストを抑えられるが、全体的な整備コストは OEM よりも合理的な生産体制を確立するしか削減できる手立ては無いのである。従って、日本に於ける **MRO** ビジネスは決して利益率の高いビジネスにはなっていないのが現状である。

日本の航空産業は、航空エンジンの国際共同開発、**RSP(Risk and Revenue Sharing Partner)**、下請け生産等への参画によって技術力を蓄積し、高品質な部品の設計・開発・製造を実施する能力がある。これらの技術を駆使して、マニュアルには掲載されていない修理方法の開発、より信頼性の高い整備用部品の開発等を手がけることが出来れば、**MRO** ビジネスとして更に飛躍することが出来ると考えられる。

更に航空機・エンジンを開発していない日本の航空産業にとって、世界の航空会社と密接な関係を築き上げることが出来、日本が開発した修理方法、改修用部品等の実績が認められれば、将来日本が航空機・エンジン開発を行った場合のマーケット戦略として大いに貢献することになる。

これらの構想の詳細については、ここでは省略する。

第 2 項で述べたように、OEM がアフターマーケット・ビジネスに参画してきたことから、航空機／エンジンの整備は従来と異なり、今や航空産業界にとってこれからのビジネスの中心となってくる。

国産の航空機／エンジン開発を祈願としてきた日本の航空産業界にとって、最早アフターマーケット・ビジネス抜きには将来の航空産業の発展を考えられない状況になってきている。これからはアフターマーケット・ビジネスを基盤として世界市場へ日本のプロダクトをアピールしていくことが重要なのではないだろうか。

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。