

エアラインの運航を支える大型エンジン整備技術

Large Engine Maintenance Technique to Support Flight Operation for Commercial Airlines

田 中 良 彦 永 井 信 一
牛 田 正 紀 白 井 剛



エアラインの大型エンジン整備事業の世界では、エンジン製造メーカーと修理メーカーが、互いのシェア拡大を図って激しい受注競争を展開している。ここでは大型エンジン整備作業の概要を説明し、その中で当社が、エアライン各社から要求されている、高い信頼性、低コスト、短修理期間を実現させる技術として機上性能解析システム及び新修理技術（内視鏡ブレード修理、粉末供給溶接修理、HVOF コーティング）を紹介する。

1. はじめに

近年大型エンジン整備事業は、P&W社、GE社、ロールス・ロイス社などのエンジン製造メーカー（Original Equipment Manufacturer 以下OEM）の進出が活発であり、またルフトハンザ・テクニーク社などの修理メーカー（Maintenance, Repair and Overhaul 以下MRO）も非常に注目している航空機整備事業の中で最も競争の激しい分野である。エンジン整備は航空機整備の全体コストの30%を占めるといわれており、これをどのようにマネジメントしてゆかがエアラインの運航上、重要な課題の一つである。

当社はこれまで日本エアシステム（株）のA300及び日本航空（株）のMD-11に搭載されている大型エンジン、PW4000の整備を実施し、実績は100台以上に及ぶ。PW4000エンジンはP&W社が開発した最新鋭の大型ターボファンエンジンであり、その整備には高度な技術が要求されている。そのため当社はエンジン整備部門、部品製造部門、設計部門、研究所が保有する技術を結集してエンジン整備に取り組み、高い信頼性、低コスト、短い修理期間（Turn Around Time：以下TAT）を実現させている。

本報では大型エンジン整備における当社の取組みについて紹介する。

2. PW4000 エンジン及びエンジン整備工程の概要

PW4000エンジンは1987年6月に運航が開始され、これまでの製作台数が2194台であり、現在なお2050台が運航されている非常に信頼性の高いエンジンである。PW4000エンジンは圧縮機16段、タービン6段の同心2軸型ターボファンエンジンである。図1はそのエンジン構造を示す。

また、PW4000エンジンの整備においては、エンジンが工場内に搬入されてから出荷されるまでの間、図2に示すように分解、洗浄/検査、修理、組立、エンジン試運転を実施し

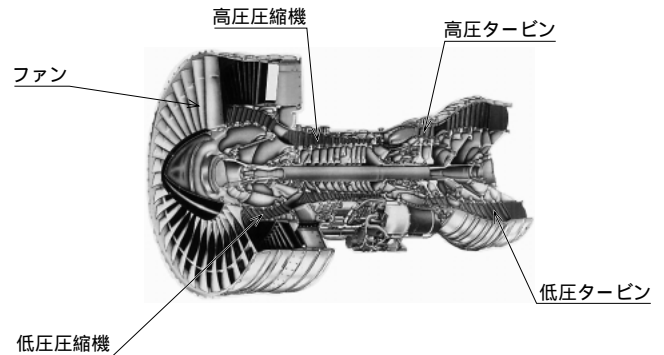


図1 PW4000エンジンの構造 エンジンはファン、低圧圧縮機、高圧圧縮機、高圧タービン、低圧タービン等のモジュールと呼ばれる構成単位ごとに整備される。

ている。

3. 航空機の運航コスト

従来エアライン各社では、いかにして航空機の運航コストを低減させるかが重要な課題となっている。運航コストは機体関連コストとエンジン関連コストに分類される（図3）。エンジン関連コストはエンジン購入コスト、エンジン整備コスト、燃料コスト、その他に分類される。このうち繰り返し発生するのはエンジン整備コストで、工場整備コストがその大部分を占める。したがってこれを低減することが運航コストを低減する上で極めて重要である。エンジンの工場整備コストの構成は他の航空機整備コストと比較すると、交換部品コストが突出して高い（全体の50～60%）という特徴がある（図4）。

さらにOEM新品の価格は年平均3～5%という高い割合で上昇しており、特にP&W社、GE社、ロールス・ロイス社製部品の価格はここ9年で約50%上昇している。つまりエンジン整備コスト低減には、年々上昇していく交換部品コストの低減が必須である。

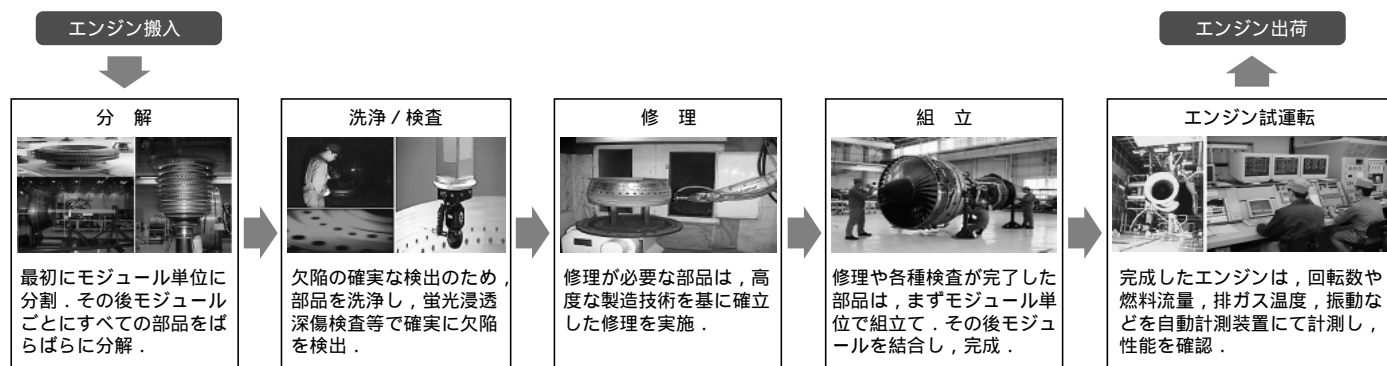


図2 エンジン整備工程 工場にエンジンが搬入されてから出荷までの流れを示す。

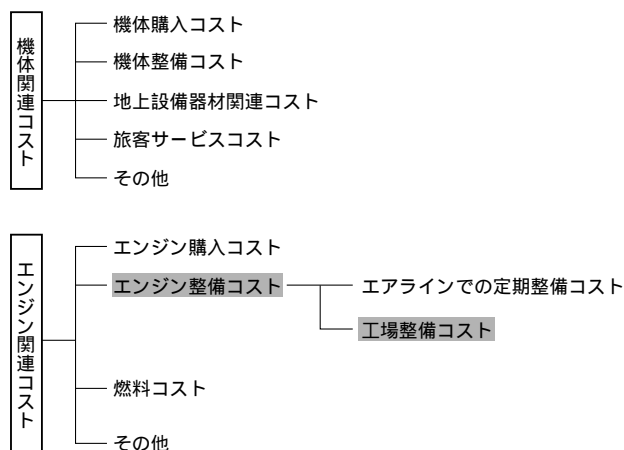


図3 航空機の運航コスト内訳

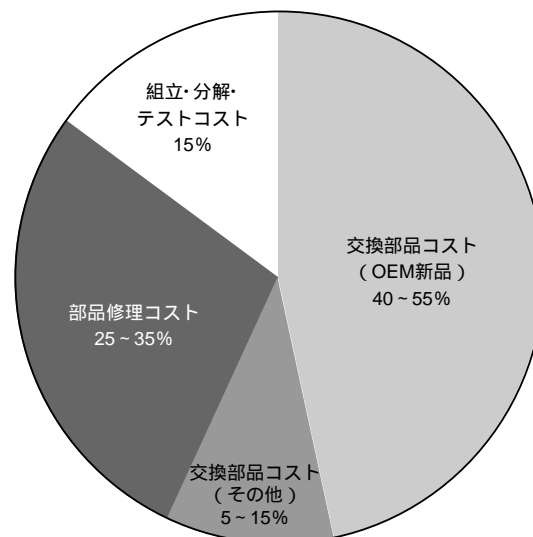


図4 エンジン整備コスト内訳

4. 当社におけるエンジン整備コスト低減への取組み

これまでの、PW4000エンジンの100台以上の整備経験をいかして、当社では次のような種々のエンジン整備コスト低減の取組みを実施している(図5)。第一に、適確なエンジン整備時期及び整備範囲を設定している。高温にさらされる過酷な負荷条件の下で運用される燃焼器や動静翼の部品は、ある一定の劣化レベルを越えると修理不能となる。そこでエンジン整備時期を適確に設定して、部品修理可能な段階でエンジンを整備すると部品寿命の延長及び部品廃却率の低減が実現できる。また、エンジン整備範囲を適確に設定することでエンジン分解範囲を最小限に限定することができ、その結果として、分解によって必ず発生する100%交換部品の増加を防ぐことができる。この目的でエンジンごとに性能データを監視し、適確な整備時期及び整備範囲を設定するシステムを適用している。詳細は第5章にて説明する。

第二に、新しい部品修理技術を開発適用している。新しい部品修理技術を適用することで、部品修理コストそのものが低減できるとともに従来廃却となっていた部品が修理で再使用可能となり、交換部品コストが大幅に低減できる。しかしながら、近年OEMの一部では修理方法を非公開にして独占する動きが強まっており、そのため各MROは各社独自の新しい修理技術を開発することを重視している。それに対して当社では、OEMであるP&W社とパートナーである関係をい

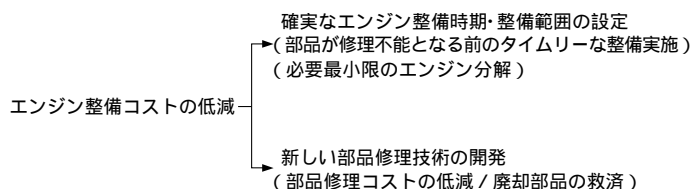


図5 エンジン整備コスト低減の取組み

かして、当社において開発した修理技術を開発した修理技術として認定を受けている。現在、当社で適用している様々な修理技術の詳細は第6章にて説明する。

5. エンジン整備時期・整備範囲の設定

上述したように、当社では適確なエンジン整備時期及び整備範囲を設定するため、PW4000エンジンに対して、機上性能解析システムを適用している(図6)。

このシステムにより、機上で取得したエンジンの性能データをエアライン各社より定期的に入手し、解析を行うことでエンジン全体及び各構成モジュールの性能劣化傾向を監視する。

機上におけるエンジンの性能劣化をタイムリーにとらえて、エンジンの適確な整備時期を決定するとともにモジュ

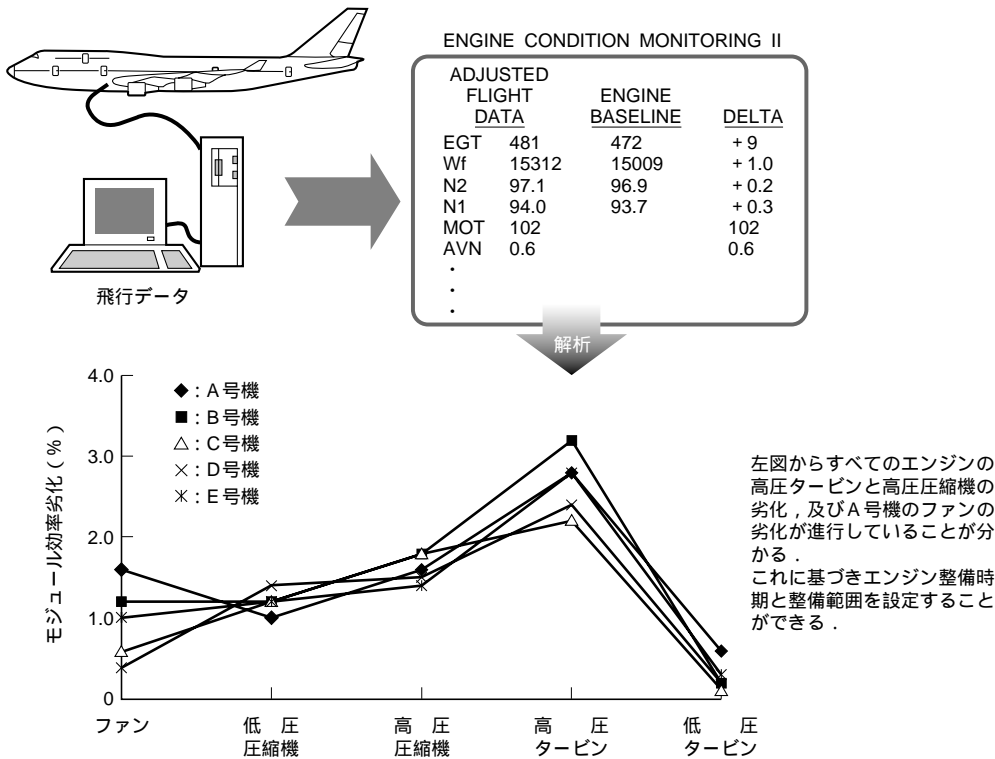


図6 機上性能解析システム活用によるエンジン整備時期/範囲の設定

表1 主要部品修理技術と当社の新しい開発適用例

区分	内容	部品修理技術	
		従来技術の適用例	当社の新しい開発技術適用例
除去	損傷部分を除去する。	手仕上, 切削, 研削	内視鏡ブレード
肉盛	寸法回復のため, 修理材料を母材に付着させる。	TIG溶接, めっき, プラズマ溶射, フレーム溶射	粉体プラズマ溶接, 粉体レーザー溶接, HVOFコーティング
接合	修理用の部品を接合する。	ろう付, TIG溶接, レーザ溶接, 電子ビーム溶接	拡散接合, リニアフリクション溶接
更新	新品部品と同じ処理工程を再度適用する。(被覆, ハニカム, ショットピーニング等)	(劣化処理の除去技術) 化学溶液処理, グリットブラスト	

ル性能データの解析結果よりエンジンに対する適確な整備範囲を設定することができる。

6. 新しい部品修理技術の開発

部品修理技術は大きく分類すると4種類の区分に分類することができる(表1)。当社では各区分で従来技術の適用だけでなく、新しい技術を開発適用して、交換部品コストを低減させている。以下にそれらの事例を紹介する。

6.1 内視鏡ブレード修理技術

内視鏡ブレード修理技術は、エンジン整備における分解範囲を最小限にするため、組立て状態で部品を修理する技術である。エンジン内部の動静翼に基準を超える損傷が発見された場合、通常では部品修理のためエンジン分解を行わなければならないが、この技術を用いると、エンジンを分解しなくて修理を実施することができる。例えばエンジン内部の圧縮機の動静翼に損傷が発見された場合、この修理技術では、内視鏡と超小型グラインダをエンジン内部に挿入することで、

エンジンを分解せず動静翼をブレード修理する。これによりエンジンの分解を最小限にするとともに、分解によって発生する100%交換部品のコストを抑えることができる(図7)。

6.2 粉末供給溶接修理技術

粉末供給溶接修理技術は従来廃却となっていた部品を救済するために適用する新しい技術である。加熱による変形と母材組織の劣化のため、熱影響を受けやすい薄肉部品の摩耗した部分は従来の溶接肉盛修理が適用できない。そこで、当社では熱影響が小さい粉末供給溶接修理技術(粉体プラズマ溶接/粉体レーザー溶接)を開発し、薄肉部品の溶接肉盛修理を可能とした(図8)。

6.3 HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) コーティング修理技術

従来のプラズマコーティング修理では、密着強度が不足しているため、強度が要求される部分の肉盛修理は実施できない。そこで当社では従来のプラズマコーティングよりも密着強度が高く、高密度コーティングが可能なHVOFコーティ

技術特徴

組立て状態で内部部品の修理が可能 → 分解範囲を最小限にすることができる

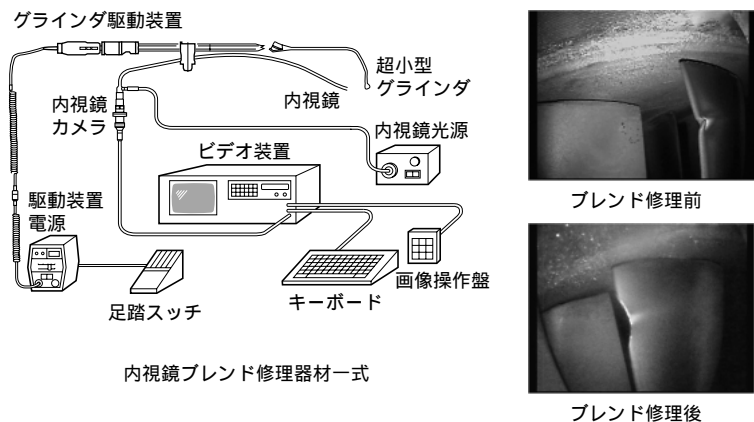


図7 動静翼の内視鏡ブレンド修理技術

技術特徴

粉末供給溶接肉盛修理は熱影響を受けやすい薄肉部品に適用 → 熱影響を受けやすい薄肉部品に適用

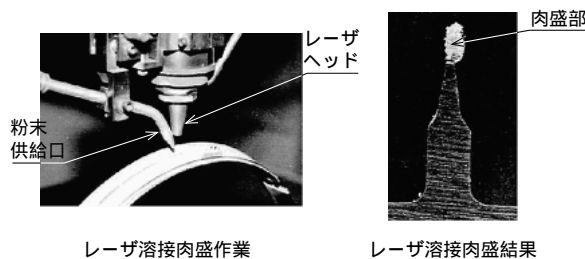


図8 粉末供給溶接肉盛修理技術

技術特徴

HVOFコーティングは一般のプラズマコーティングより密着強度が大きい → 強度が必要な部分の肉盛修理に適用



図9 HVOFコーティング修理技術

ング修理技術を開発し、強度が要求される部分のコーティング肉盛修理を可能とした。また、HVOFコーティングは溶接と違い、母材に対し熱影響が発生しないという特徴もある(図9)。

7. ま と め

エアラインの運航上重要な要素の一つであるエンジン整備の十分なサポートが、大型エンジン整備事業の重要課題である。エアライン各社からは、航空機の運航コスト低減のため、エンジン整備費の低減を要求されており、今回紹介した適確な整備時期及び整備範囲の決定や新しい修理技術の開発適用はそのための大きな柱である。

当社ではエンジン整備部門の長年の経験に加えて、他社にない大型エンジン部品製造部門、設計部門、研究所の技術を結集して、今後もエアライン各社に満足していただける、より高い信頼性、より低いコスト、より短いTATの実現に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) Pratt & Whitney, PW4000 Engine Manual
- (2) 松田紀男(日本航空(株)整備本部品質保証部)“MROマーケットの動向について(その2)”航空技術 2001年3月号
- (3) 松田紀男(日本航空(株)整備本部品質保証部)“MROマーケットの動向について(その1)”航空技術 2001年2月号



田中良彦
名古屋誘導推進システム製作所
工作部主幹



永井信一
名古屋誘導推進システム製作所
工作部主席



牛田正紀
名古屋誘導推進システム製作所
工作部
生産技術課



臼井剛
名古屋誘導推進システム製作所
工作部
生産技術課