

PW1100G-JM エンジン開発

Development of PW1100G-JM Turbofan Engine

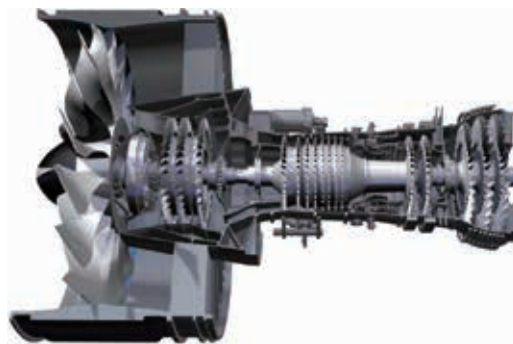
佐藤 篤 一般財団法人日本航空機エンジン協会 PW1000G-JM 部 次長
 今村 満 勇 一般財団法人日本航空機エンジン協会 PW1000G-JM 部 部長
 藤村 哲 司 航空宇宙事業本部民間エンジン事業部技術部 部長

PW1100G-JM エンジンは、エアバス社が開発中の A320neo (New Engine Option) の搭載エンジンの一つに選定された次世代エンジンであり、当社は一般財団法人日本航空機エンジン協会 (JAEC) のもとプログラムに参加し、開発を開始した。本エンジンは、先進ギヤシステムを適用した GTF (Geared Turbo Fan) 形態を採用して高い推進効率を実現し、かつ先進複合材技術や最新要素技術を組み合わせ、燃料消費率・排気ガス・騒音レベルの改善を図っている。本稿では PW1100G-JM エンジンのプログラムと技術を紹介する。

The PW1100G-JM is one of the next-generation turbofan engines selected to power the Airbus A320neo (New Engine Option). IHI participated in the PW1100G-JM program as a member company of the Japanese Aero Engines Corporation (JAEC). The PW1100G-JM adopts the Geared Turbo Fan (GTF) system and delivers improvements in fuel efficiency, emissions, and noise, by applying state-of-the-art composite materials and component technologies. This paper presents an overview of the PW1100G-JM.

1. 緒 言

エアバス社 (フランス : Airbus S.A.S) は、現在運航中の A320 型機のエンジンを最新型に換装することによって、機体側改造を最小限にしつつ燃費 15% 節減、NO_x 排出 2 桁削減、機体騒音 50% 低減を目指す A320neo (New Engine Option) の開発を進めている。第 1 図に次世代中小型民間輸送機 A320neo を示す。PW1100G-JM (第 2 図) は、A320neo 搭載エンジンの一つに選定され、Pratt & Whitney (アメリカ : P&W 社)、一般財団法人日本航空機エンジン協会 (JAEC)、MTU Aero Engines Holding AG (ドイツ : MTU 社) の 3 社で共同事業体 IAE, LLC を設立して、本エンジンの国際共同開発を開始し、当社は JAEC の構成メンバーとして参画している。なお、JAEC は公益財団法人航空機国際共同開発促進基金から助成を受



(提 供 : P&W 社)

第 2 図 PW1100G-JM カットビュー⁽¹⁾
 Fig. 2 PW1100G-JM cutaway view⁽¹⁾

け、本エンジン開発事業を進めている。

PW1100G-JM は、先進ギヤシステムを適用した GTF (Geared Turbo Fan) 形態を採用し、バイパス比を約 12 まで増加させて高い推進効率を実現し、かつ先進複合材技術や最新要素技術を組み合わせ、燃料消費率・排気ガス・騒音レベルの改善を図っている。

本稿では、PW1100G-JM 開発プログラムの概要、および当社が担当した部位の技術的特長を述べる。

2. PW1100G-JM 開発概要

2.1 開発経緯

エアバス社が開発を進めている中小型民間輸送機



(提 供 : エアバス社)

第 1 図 次世代中小型民間輸送機 A320neo
 Fig. 1 Airbus A320neo aircraft

A320neo ファミリー機は、既存の A320 ファミリー機のエンジン（V2500 および CFM56）に換えて最新型のエンジンを搭載することによって、経済性、環境適合性を大幅に向上させるものであり、2015 年第 4 四半期の就航を目指している。これに対し欧米主要エンジンメーカは、それぞれ新しいエンジンを提案し、2010 年 12 月、P&W 社の PW1100G-JM と CFM International 社（フランス Snecma 社とアメリカ GE 社の合弁会社）の LEAP-1A が選定された。

これらの新エンジンの実現には、安全性の確保を前提として厳しい要求に応える最新技術の適用が必要である。P&W 社は、V2500 後継エンジンの位置付けも踏まえ、V2500 国際共同事業のパートナーである JAEC および MTU 社に対し、これまでの実績に対する信頼や保有する最新技術に対する期待からも、開発事業への参画を要請した。これを受け、P&W 社および MTU 社と詳細にわたる協議を行い、同事業へ参画することを決定し、2011 年 9 月に共同事業覚書に調印した。

JAEC は、PW1100G-JM プログラムに V2500 と同じ 23%のシェアで参画し、ファン、低圧圧縮機、低圧シャフトおよび燃焼器の一部を担当している。MTU 社は 18%のシェアで低圧タービンと高圧圧縮機の一部を、P&W 社はそれら以外の部位を担当している。当社は、V2500 プログラムにおいてファンモジュール主要部品などを担当しており、国内では 60%のシェアで参画している。本エンジンにおいては、V2500 同様にファンモジュール主要部品などを担当し、国内で 65%のシェアをもつ。

2.2 市場規模予測

現在、120 席から 220 席クラスの中小型機市場においては、ボーイング 737、エアバス A320 などの既存機種が約 12 000 機運航している。このクラスにおける今後約 20 年間の市場規模は、機齢を考慮した場合、現在運航している 12 000 機のうち約 6 000 機程度の代替需要が考えられるほか、さらにこのクラスの市場成長による新規需要が期待でき、需要全体として 15 000 機以上の規模が想定されている。A320neo は、この市場に投入される機体として現在エアバス社によって開発が進められている。この市場においては今後もボーイング 737 などの既存機種のほか新型機 737MAX の投入もあり、さらに新たな競合機種も開発されると考えられる。

また、エアバス社は機体を一新した A320 の後継機を 2025 年ごろに投入することも検討しており、仮に A320neo

の販売期間を 14 年間（2015 年～2028 年）とした場合、この期間の中小型機の市場規模は保守的にみても 7 000 機程度となる。この市場規模の約 2 分の 1 を A320neo が受注できるとすれば、3 500 機程度の受注獲得が期待され、その半数に PW1100G-JM が搭載エンジンとして選定されるとすれば、3 500 台程度の需要が想定される。

2.3 エンジン諸元

PW1100G-JM の主要諸元を、従来機種の V2500 と比較する形で第 1 表に示す。本エンジンは、V2500 よりもバイパス比を上げることによって大幅な燃費性能向上と低騒音化を実現している。バイパス比を高くすることによってファン径が V2500 より大きくなるが、当社独自技術の先進複合材技術の適用が、エンジンの軽量化に大きく貢献している。

2.4 開発日程

PW1100G-JM の開発日程表を第 3 図に示す。PW1100G-JM の開発は 2011 年度に始まり、設計、開発エンジンの試作および各種開発試験を経て、2014 年第 3 四半期にエンジン型式承認を取得し、2015 年第 4 四半期に就航を予定している。開発試験は、計 8 台の開発エンジンを用いた運転試験と各種要素試験から成り、8 台の開発エンジンは二つのフェーズ（ブロック - 1 およびブロック - 2）に分けられ、ブロック - 1 の設計・試験を通して得られた教訓を、型式承認を得る形態であるブロック - 2 の設計に反映できるよう計画し、開発リスクの低減を図っている。

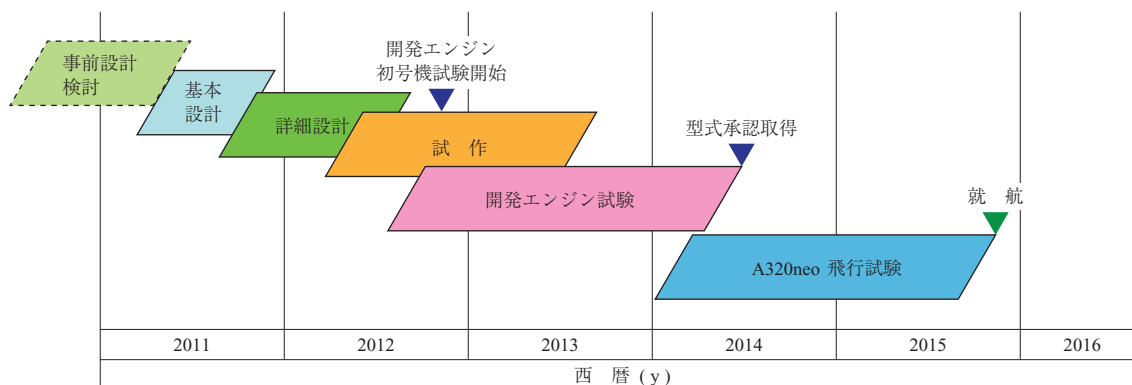
2012 年度に初号機の運転試験が実施されたことを含め、現在までにブロック - 1 の開発エンジン 4 台の試作を完了し、これらを用いた運転試験によって設計の確認・評価を実施中である。また、ブロック - 1 の設計・試験を通して得られた教訓を踏まえた性能向上、質量低減、コス

第 1 表 PW1100G-JM と V2500 の主要諸元比較
Table 1 PW1100G-JM & V2500 specifications

項目	単位	諸元	
エンジン		PW1133G-JM	V2533-A5
搭載航空機		A321neo	A321
離陸推力	lbf (tf)	33 000 (約 15)	33 000 (約 15)
ファン直径	m (in)	約 2.06 (81.0)	約 1.61 (63.5)
バイパス比*1	-	約 12	約 4.5
燃料消費率	%	-16	比較基準
騒音*2	dB	-15 ~ -20	-5

(注) *1: ファンのみを通過し、圧縮機、燃焼器に吸い込まれない空気量と圧縮機、燃焼器に吸い込まれる空気量との比率を示す。

*2: FAR 36 Stage 4 (アメリカ連邦航空局の騒音規制値) を基に示す。



第 3 図 PW1100G-JM 開発日程表
Fig. 3 PW1100G-JM development milestone

ト低減、整備費低減などを取り込んだブロック - 2 の設計も完了し、現在 4 台の開発エンジンの試作および運転試験準備を実施中である。第 4 図に初号機による各種運転試験状況を示す。

3. PW1100G-JM の特長

第 5 図に PW1100G-JM と従来エンジンのエンジン形態比較を示す。下段の従来エンジン形態に対して上段の

PW1100G-JM は、先進ギヤシステムの採用によってファンを低圧圧縮機および低圧タービンと異なる回転数でゆっくりと駆動し、より大きなファンによる高バイパス比・高推進効率・低騒音を実現している。ファンと低圧圧縮機の間先進ギヤシステムをもつことによって、高速で回転させる低圧タービンの径および段数を従来形態のエンジンより縮小・削減することが可能である。

第 6 図に PW1100G-JM のエンジン外観を示す。図を

(a) 地上試験

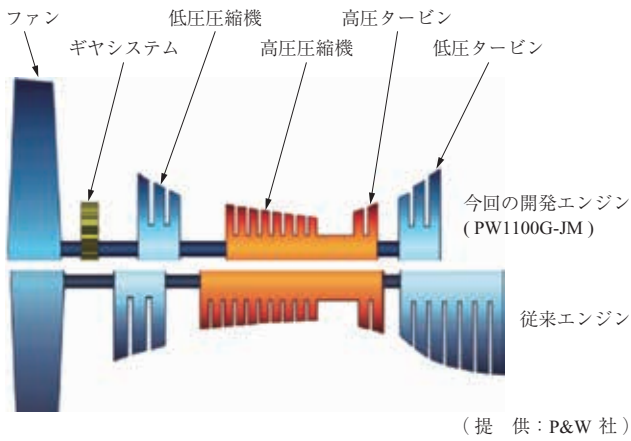


(b) FTB 試験



(提供：P&W 社)

第 4 図 初号機による地上試験および FTB (Flying Test Bed) 試験⁽¹⁾
Fig. 4 PW1100G-JM first engine ground test and FTB test⁽¹⁾

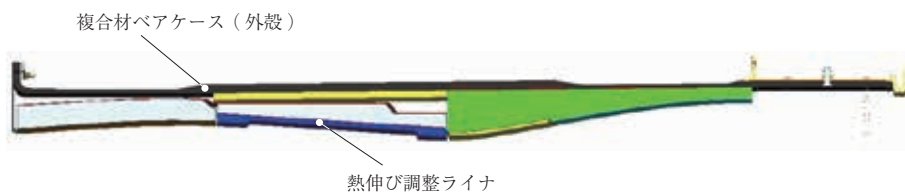


第 5 図 PW1100G-JM と従来エンジンの形態比較⁽¹⁾
 Fig. 5 Comparison of PW1100G-JM and conventional engine configurations⁽¹⁾



第 6 図 PW1100G-JM エンジン外観
 Fig. 6 PW1100G-JM engine overview

見ても分かる通り、ファン部の大きさが、ファンを駆動するコア部に比べて大きい。この大きなファン部の質量を軽減するため、P&W 社の技術によるアルミ中空ファン動翼のほか、当社の複合材技術を適用したファンケースおよびファン出口案内翼が採用されている。なお、これら複合材部品は株式会社 IHI エアロスペースで製造されている。



第 7 図 複合材ファンケースの断面形状
 Fig. 7 Composite fan case cross-section

3.1 ファン部

複合材ファンケースの断面形状を第 7 図に示す。熱伸びが小さい複合材のファンケースに熱伸びが大きいアルミ合金製のファン動翼を組み合わせると、高空の低温条件においてファン動翼先端部の隙間（チップクリアランス）が拡大し、ファン効率を悪化させる要因になる。これを防止するため、外殻の複合材ベアケースの内側にアルミ合金製のハニカム付き熱伸び調整ライナ（TCL：Thermal Conforming Liner）を配した構造を採用している。この TCL は、熱伸びが複合材ベアケースに制限されないように支持されているため、ファン動翼外側のライナは高空（低温）条件下においてファン動翼と同等の熱伸び量となり、飛行時のチップクリアランスを抑制することを可能にしている。ファンケースは、ファン動翼が破断した場合でも飛散物をファンケースの外に飛び出さず、ファンケース内に閉じ込めるコンテインメント性が求められるが、すでに要素試験によって所要のコンテインメント性をもつことを確認済みである。

次に、複合材ファン出口案内翼構造を第 8 図に示す。ファン出口案内翼は、ファン動翼で圧縮されたバイパス流を低損失で整流することで高い効率を維持する機能をもつ。本エンジンのファン出口案内翼は、下流に配置されるパイロンとの干渉を抑制するため、異なる 5 種類のキャンバ角をもつ翼を最適配置している。また構造面では、ファンケースを支持する構造案内翼（SGV：Structural Guide Vane）となっており、大きい飛行荷重およびファンブレードオフ荷重に耐え得るとともに、エンジン全体から要求される剛性を満たす設計とするため、複合材の翼（バーン）の両端（内外径）部を金属製のサポートによって挟み込む構造を採用した。

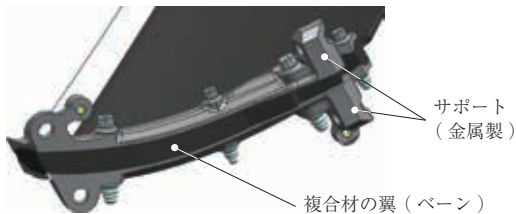
3.2 低圧圧縮機部

本エンジンの低圧圧縮機部は主に、ファンおよび低圧系ロータを異なる回転数で回転させるため、① ギヤシステム（FDGS：Fan Drive Gear System）② ファンおよび低圧系ロータの主軸ベアリング ③ FDGS を支持するフレー

(a) 複合材ファン出口案内翼全体図と外径部および内径部の拡大図



(b) 内径側の翼 (ペーン) 支持部の拡大図 (インナライナを削除して図示)



第 8 図 複合材ファン出口案内翼構造
Fig. 8 Composite fan structural guide vane

ム (フロント・センタ・ボディ) ④ 可変入口案内翼 ⑤ 3 段低圧圧縮機 ⑥ 高圧系ロータの主軸ベアリングを支持しマウントをもつフレーム (インターミディエート・ケース), から成る. 一般的な高バイパス比エンジンは, 低圧圧縮機部と高圧圧縮機部にフレームをもち, そのフレームで低圧系, 高圧系ロータ双方の主軸ベアリングやエンジンマウントを支持するが, 本エンジンは FDGS, ならびにファンおよび低圧系ロータそれぞれの主軸ベアリングを支持するためのフロント・センタ・ボディを, ファンと低圧圧縮機部の間にもっていることが特徴である. さらに, このフロント・センタ・ボディはファン出口案内翼を介してファンケースを支えている.

従来エンジンより回転数が高い低圧圧縮機は, 可変入口案内翼をもつ 3 段から成り, 数値流体力学 (CFD) を用いた三次元翼設計を適用している. 回転部は, 高い遠心力に耐えるため, 通常の高圧圧縮機の回転部に似た構造になっており, いずれの段も動翼部と内側のディスク部を一体化した Integrated Bladed Rotor (IBR) を採用した. 第 9 図に低圧圧縮機第 2 段 IBR を示す.



第 9 図 低圧圧縮機第 2 段 IBR
Fig. 9 Low pressure compressor stage-2 IBR

また, 所要のサージ余裕を確保するため, 低圧圧縮機出口部に可変抽気バルブをもつ. 第 10 図に可変抽気バルブの断面形状を示す. 図に示すとおりインターミディエート・ケースに設けられた抽気ダクトの外径側出口をエンジン軸方向に前後するバルブによって全周開閉する構造である. 基本的には V2500 などで実績がある構造だが, ブロック - 1 の運転試験において本ダクト部に強い音響振動が発生していることが判明したため, P&W 社と協力して複数の候補形態を策定し, CFD やリグ試験を経てダクト長を短縮することが最も低リスクで必要な効果が得られることを確認した. 以上の結果から直ちにブロック - 1 部品の改修を行い, その後の運転試験を安全に遂行するとともに, ブロック - 2, 型式設計にさらなる改善を実施した.

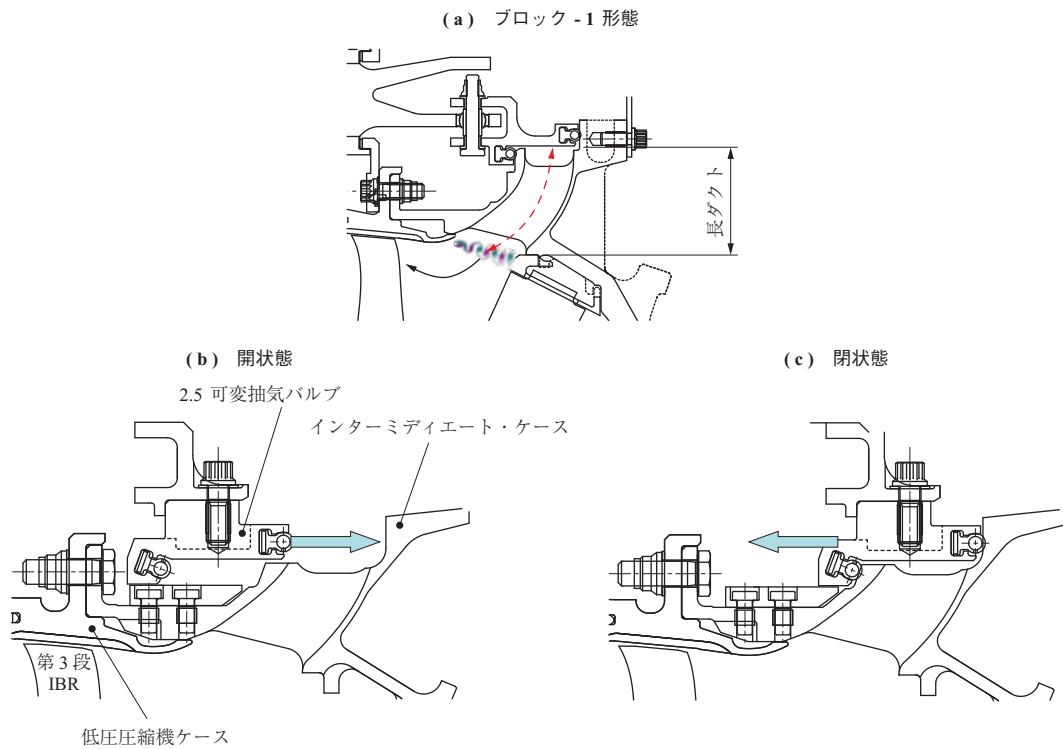
3.3 低圧タービンシャフト

当社は, ファン, 低圧圧縮機部以外では, 従来のエンジン開発・量産でも十分な実績がある低圧タービンシャフトも担当している. このシャフトは, 従来機種で実績がある材質を採用したが, 従来機種と異なる点は回転数が高いことであり, エンジン軸振動の点から製造時にハイスピード・バランスを要求している.

4. 結 言

PW1100G-JM 開発プログラムの概要および当社が担当した部位の技術的特長について紹介した. エンジン型式承認の取得を予定している 2014 年第 3 四半期まで約 1 年であるが, これまで開発は順調に推移している.

本開発は, P&W 社, MTU 社および JAEC の 3 社による国際共同開発事業である. 対等な立場で合弁会社へ参画するプログラムとしては V2500 以来 2 度目となるため, 当社独自の複合材技術をはじめ, これまで培ってきた



第 10 図 可変抽気バルブの断面形状
 Fig. 10 Variable 2.5 bleed valve cross-section

設計・製造技術を発揮しながらさらにステップアップした取組みを推進している。ファン出口案内翼で SGV として世界で初めて複合材を適用したほか、多種多様な技術試験を経て当社独自の材料・設計が採用されたことは世界に存在感を示す大きな機会と考える。

— 謝 辞 —

これまで開発が順調に推移しているのは、多大なご支援をいただいている経済産業省、および当社内の関係する生

産部門、調達部門、設計部門のほか、株式会社 IHI エアロスペースや多くの国内メーカーの力強い協力の成果である。ここに記し、深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) PurePower® PW1000G Engine (オンライン)
 入手先 < <http://www.purepowerengine.com/> > (参照 2013-9-18)