

A320neo型機用エンジンPW1100G-JMの開発について

1. 概要

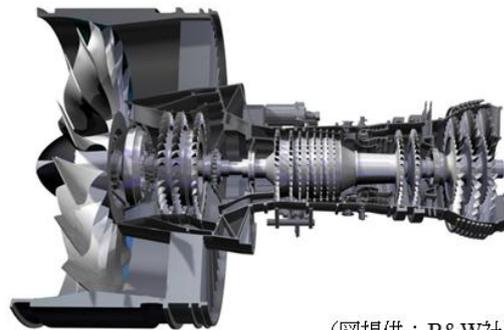
エアバス社（フランス：Airbus S.A.S）は、現在運航中の A320 型機のエンジンを最新型に換装することによって、機体側改造を最小限にしつつ燃費 15% 節減、NOx 排出 2 桁削減、機体騒音 50% 低減を目指す A320neo（New Engine Option）型機の開発を進めている。図 1 に次世代中小型民間輸送機 A320neo 型機を示す。PW1100G-JM（図 2）は、A320neo 型機搭載エンジンの一つに選定され、Pratt & Whitney（アメリカ：P&W 社）、一般財団法人日本航空機エンジン協会（JAEC）、MTU Aero Engines AG（ドイツ：MTU 社）の 3 社が本エンジンの国際共同開発を開始した。なお、JAEC は公益財団法人航空機国際共同開発促進基金より助成を受け、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 JAEC が担当した部位の技術的特長を述べる。



(図提供：エアバス社)



(図提供：P&W社)

図 1 次世代中小型民間輸送機 A320neo 型機

図 2 PW1100G-JM カットビュー

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 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ーは、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り、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。

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、ボーイング社 737 型機、エアバス社 A320 型機等の既存機種が約 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 型機は、この市場に投入される機体として現在エアバス社により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社 737 型機等の既存機種のほか新型機 737MAX 型機の投入もあり、さらに COMAC 社 C919 型機や Irkut 社 MC-21 型機などの新たな競合機種の開発も開始された。

A320neo 型機の想定需要は、販売機体数約 3,500 機（約 14 年間：2015 年～2028 年）として Program Launch された。PW1100G-JM はその半数を占めると想定、すなわち 3,500~4,000 台（スペアエンジンを含む）の販売規模を想定している。一方で、A320neo 型機は既に約 3,800 機の確定受注を獲得し、今後もさらなる需要が見込めるので、想定以上の PW1100G-JM の受注は確実と考えられている。

2. 3 エンジン諸元

PW1100G-JM の主要諸元を、従来機種 V2500 と比較する形で表 1 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り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、日本独自技術の炭素繊維を用いた先進複合材料の適用が、エンジンの軽量化に大きく貢献している。

表 1 PW1100G-JM と V2500 の主要諸元比較

諸元	V2533-A5	PW1133G-JM
搭載航空機	A321	A321neo
離陸推力	33,000 lbf (約 15 ton)	33,000 lbf (約 15 ton)
ファン直径	1.61m (63.5")	2.06m (81")
バイパス比	4.5	12
燃料消費率	(Base)	-16%
騒音 FAR 36 Stage 4	-5dB	-15~-20dB

2. 4 開発日程

PW1100G-JMの開発日程表を図3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年にエンジン型式承認を取得し、2015年度第4四半期に就航を予定している。開発試験は、計9台の開発エンジンをを用いた運転試験と各種要素試験から成る。9台の開発エンジンは二つのフェーズ（Block-1およびBlock-2）に分けられ、Block-1の設計・試験を通じて得られた教訓を、型式承認を得る形態であるBlock-2の設計に反映できるように計画し、開発リスクの低減を図っている。現在までにBlock-1およびBlock-2の全開発エンジンの試作を終え、これらを用いた設計の確認・評価のための運転試験が2012年度から始まり、2014年12月19日にFAA（米国連邦航空局）の型式承認を取得した。またPW1100G-JMを搭載したA320neoが2014年9月に初飛行し、以降、飛行試験が順調に進められている。図4に初号機による各種運転試験状況を、図5にA320neo型機の飛行試験機を示す。

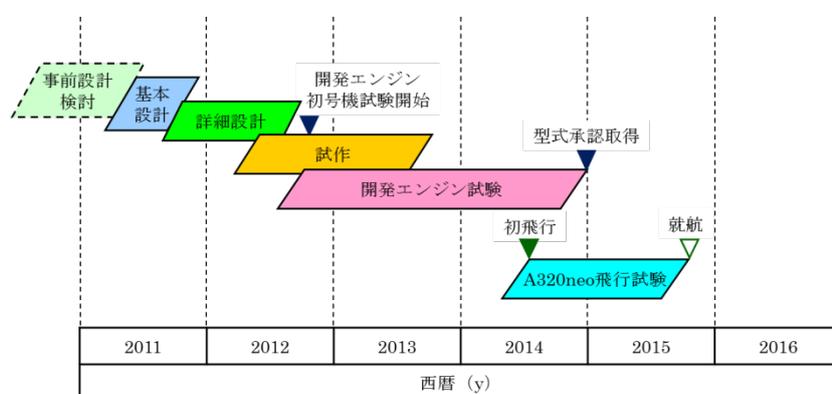
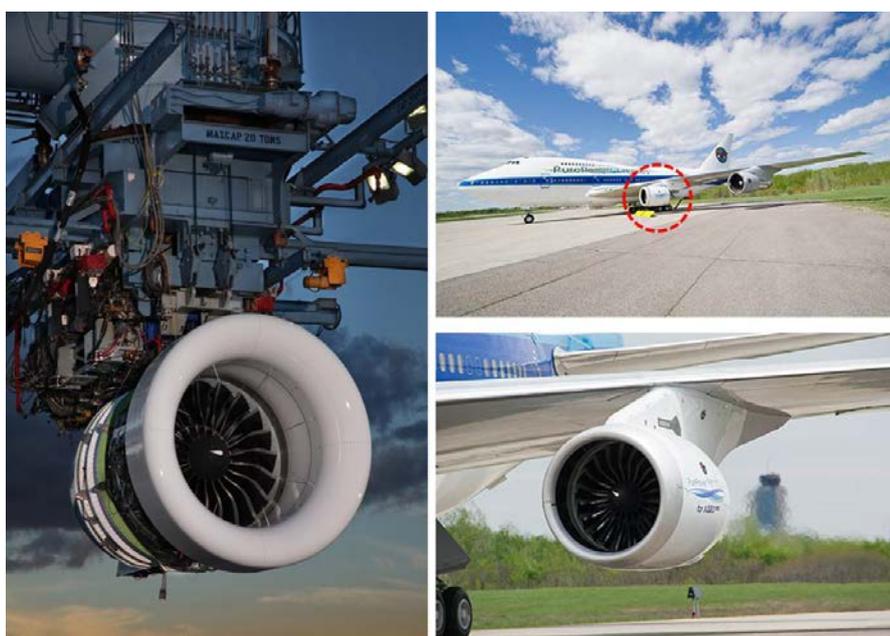


図3 PW1100G-JM 開発日程表



(提供：P&W社)

図4 初号機による地上試験およびFTB（Flying Test Bed）試験



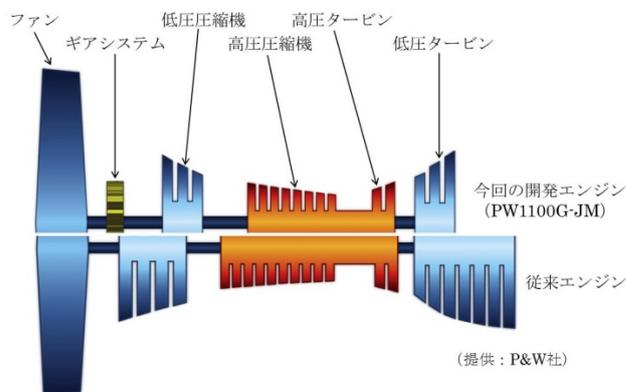
(提供：エアバス社)

図5 PW1100G-JM を搭載した A320neo の初飛行

3. PW1100G-JM の特長

図6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には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。

図7に PW1100G-JM のエンジン外観を示す。図を見ても分かるとおり、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、アルミ中空ファン動翼のほか、日本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。



(提供：P&W社)

図6 PW1100G-JM と従来エンジンの形態比較



(提供：P&W社)

図7 PW1100G-JM エンジン外観

3. 1 ファン部概要

複合材ファンケースの断面形状を図8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、外殻の複合材リング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せず、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、すでに要素試験およびエンジン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。

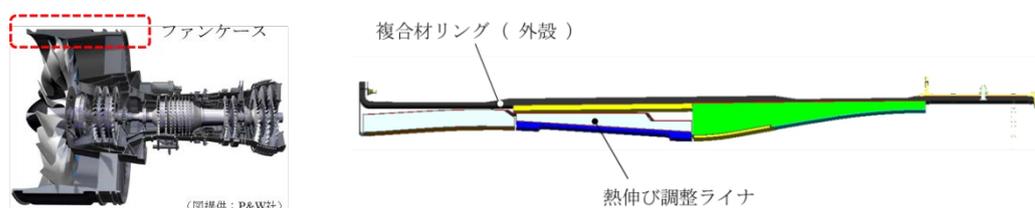


図8 複合材ファンケースの断面形状

次に、複合材ファン出口案内翼構造を図9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種類の翼形状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機能を有しており、大きい飛行荷重およびファンブレードオフ荷重（ファンブレードが飛散した時に生じる荷重）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（ベーン）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。

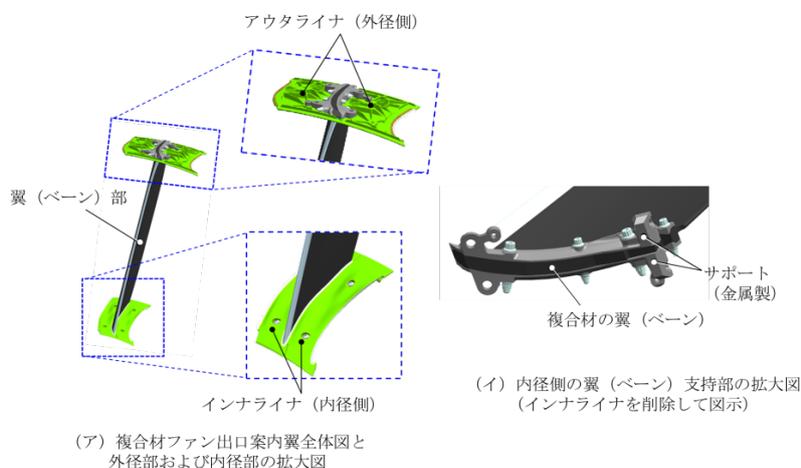


図9 複合材ファン出口案内翼構造

3. 2 低圧圧縮機部

図10に低圧圧縮機部概要を示す。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、③FDGS を支持するフレーム (フロント・センタ・ボディ)、④可変入口案内翼、⑤3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。図11に低圧圧縮機第2段 IBR を示す。

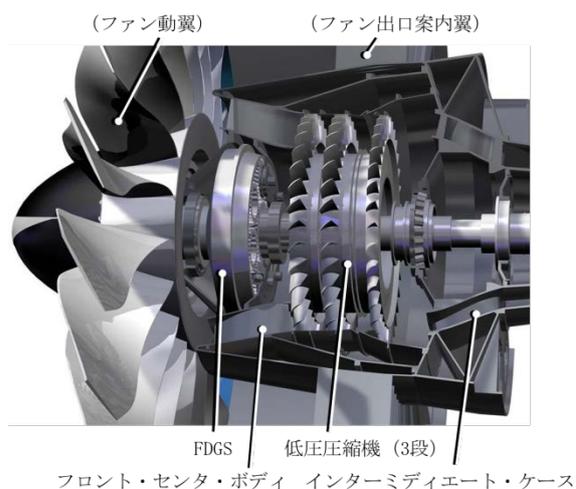


図10 低圧圧縮機部概要



図11 低圧圧縮機第2段 IBR

3. 3 低圧タービンシャフト

JAEC 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、エンジン軸振動からの要求により製造時にハイスピード・バランス (高速回転でのバランス調整) を要求している。

3. 4 燃焼器

JAEC が部品製造とモジュール組立を担当している燃焼器は、燃焼の安定性 (着火・保炎) に定評のある RQL (Rich-burn Quick-quench Lean-burn / 部分過濃燃焼急速冷却)

燃焼方式を採用している。また、燃焼器内部での混合状態を最適化することで低 NO_x 化（現状規制値 CAEP6 に対し約 50% のマージン）および軸長の短縮（重量削減）を実現した。また、高効率冷却方式であるインピンジメント・フィルムクーリング（高温部品内面に冷却空気を噴射衝突させた衝突冷却に加え、高温部品表面に吹き出した冷却空気による膜冷却）方式を導入し、高温環境下でも十分な耐久性を確保している

4. おわりに

PW1100G-JM 開発プログラムの概要および JAEC が担当した部位の技術的特長について紹介した。本エンジンの開発は順調に推移し、2014 年 12 月 19 日にエンジン型式承認を取得した。

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、日本独自の複合材技術をはじめ、これまで培ってきた設計・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 (Structural Guide Vane) 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日本独自の材料・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。

参考文献

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