

ビジネスジェット機向け GE Passport 20 エンジンの開発

Development of GE Passport 20 Turbofan Engine for Business Jet Aircraft

半 場 文 浩	航空宇宙事業本部民間エンジン事業部新機種開発部	主査
土 屋 直 木	航空宇宙事業本部民間エンジン事業部新機種開発部	主査 博士(工学)
守 屋 信 彦	航空宇宙事業本部民間エンジン事業部新機種開発部	部長
西 川 秀 次	航空宇宙事業本部民間エンジン事業部新機種開発部	部長 博士(工学)

GE Passport 20 エンジンは、Bombardier 社が開発中の双発大型ビジネスジェット機である Global 7000 および Global 8000 に搭載されるターボファンエンジンであり、2016 年にアメリカ連邦航空局からエンジン型式承認を取得するため開発作業が進められている。当社は General Electric 社のパートナーとして 30% のシェアでプログラムに参画しており、ファン静止部、低圧タービン、ギヤシステムなどの設計・開発・製造を担当している。また、7.4% のシェアで Techspace Aero 社もパートナーとして参画している。本稿では GE Passport 20 エンジンの開発概要と技術的な特長について紹介する。

GE Passport 20 is a turbofan engine that has been selected to power Global 7000 and Global 8000, a large-body, ultra-long range business jet aircraft that is being developed by Bombardier. IHI is participating in GE Passport 20 program as a joint venture partner, having responsibility for the design, manufacturing and assembly for 30% of the engine program, mainly the fan stator, low pressure turbine and gear drive system. This paper presents an overview of the development of the GE Passport 20 engine.

1. 緒 言

ビジネスジェット機は、定期便が就航していない地域への移動、または短時間で効率的に移動する手段として、EU・北米・南米の企業を中心に活用されている。近年では、新興国の台頭によってインド・中国・中東での需要も伸びており、日本国内でもビジネスジェット機を利用しやすい環境の整備が進められるようになった。今後はさらに企業活動のグローバル化が進み、ビジネスジェット機のなかでも長距離をノンストップで移動することができる大型機の需要が高まると予想される。

このような市場状況下において、Bombardier 社(カナダ: BA 社)は高速で航続距離が長く、居住空間の広い次世代の大型ビジネスジェット機である Global 7000 および Global 8000 の開発を進めている。第 1 図に大型ビジネスジェット機 Global 7000 を示す。Global 7000 の就航は 2018 年であり、Global 7000 より航続距離が長い Global 8000 はそれに続いての就航となる計画である。

GE Passport 20 エンジン(第 2 図)は Global 7000 および Global 8000 に搭載されるエンジンとして選定され、General Electric 社(アメリカ: GE 社)および Techspace Aero 社(ベルギー: TA 社)とともに 3 社で国際共同開

(出典: www.bombardier.com)

第 1 図 大型ビジネスジェット機 Global 7000
Fig. 1 Global 7000 business jet aircraft

(提供: GE 社)

第 2 図 GE Passport 20 エンジン
Fig. 2 GE Passport 20 engine

発を進めている。GE 社とのエンジン共同開発プログラムでは、従来は Revenue Sharing Partner(シェアに応じて事業費の負担・収益分配を受ける共同事業者)としての参画であったが、今回は量産時に共同で事業運営を行う GE Passport, LLC (Limited Liability Company) 社を設立し Joint Venture Partner として参画している。そのため、従来以上に事業全体への関与が大きくなっている。

GE Passport 20 エンジン事業における当社のプログラムシェアは 30%であり、主にファン静止部、低圧タービン、ギヤシステムなどの設計・開発・製造を担当している。TA 社は 7.4%のプログラムシェアで低圧圧縮機を、GE 社はそのほかの部位をそれぞれ担当している。

本稿では GE Passport 20 エンジンの開発概要と技術的な特長について述べる。

2. 開発概要

2.1 エンジン諸元

GE Passport 20 エンジンの主要諸元を、既存機種ではほぼ同推力である CF34-10E エンジンと比較したものを第 1 表に示す。GE Passport 20 エンジンが高バイパスターボファンエンジンであり、低圧 3 段 + 高圧 10 段の軸流式圧縮機、低排出ガス燃焼器、高圧 2 段 + 低圧 4 段のタービンの構成になっている。離陸推力、バイパス比、ファン直径は CF34-10E エンジンと類似しているが、高圧圧縮機が 1 段増えているため圧力比は高くなっており、これによって燃料消費率の低減を実現している。

第 1 表 GE Passport 20 と CF34-10E の主要諸元比較
Table 1 GE Passport 20 compared with CF34-10E specifications

項目	単位	諸元	
		GE Passport 20	CF34-10E
エンジン		GE Passport 20	CF34-10E
搭載機体		Global 7000/8000	Embraer 190/195 など
離陸推力	kN	73.4	81.3 ~ 89.0
	lbf	16 500	18 285 ~ 20 000
バイパス比	-	5.6	5.0
ファン直径	mm	1 318	1 346
	in	51.9	53.0
段数 (FAN/LPC/ HPC/HPT/LPT)	段	1/3/10/2/4	1/3/9/1/4

(注) FAN: ファン
HPC: 高圧圧縮機
LPT: 低圧タービン
LPC: 低圧圧縮機
HPT: 高圧タービン

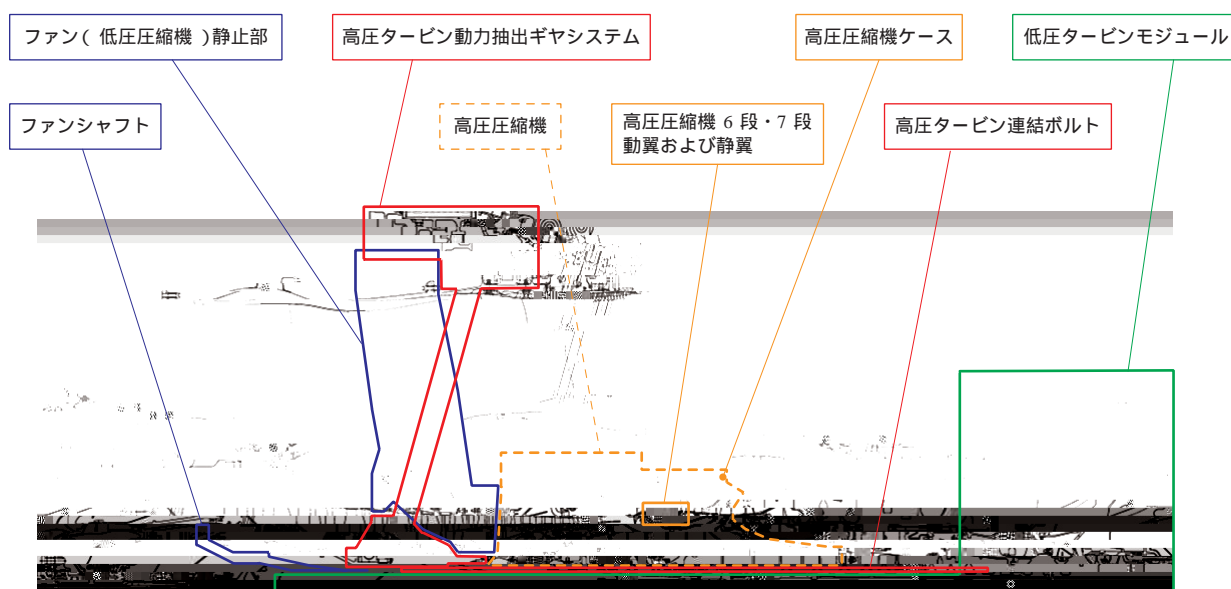
2.2 担当部位

当社が設計・開発・製造を担当している部位は以下のとおりである。第 3 図に担当部位を示す。

- (1) ファンシャフト
- (2) ファン(低圧圧縮機)静止部
- (3) 高圧圧縮機ケース
- (4) 高圧圧縮機 6 段・7 段動翼および静翼
- (5) 高圧タービン連結ボルト
- (6) 低圧タービンモジュール
- (7) 高圧タービン動力抽出ギヤシステム

2.3 開発日程

GE Passport 20 エンジンの開発マイルストーンを第 4 図に示す。2009 年から先行技術開発を進め、2010 年第 4 四半期に Global 7000 および Global 8000 のエンジンと



第 3 図 IHI 担当部位

Fig. 3 GE Passport 20 engine components that IHI is responsible for

西 暦 (y)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
マイルストーン		プログラムローンチ			開発エンジン 初号機試験開始			エンジン型式承認 取得予定		商業運航 開始予定
設 計		概念設計	基本設計	詳細設計	設計評価 / 改良設計				改良設計	
製 作				試 作					量産部品製作	
試 験					開発エンジン試験				Global 7000 飛行試験	

第 4 図 GE Passport 20 エンジン開発マイルストーン
Fig. 4 GE Passport 20 engine development milestones

して選定され、製品開発が始まった。2013 年 6 月には開発エンジンの試作初号機による地上試験が開始され、計 11 台の開発エンジンを用いて各種運転試験および要素試験が行われている(第 5 図)。現在はエンジン型式承認取得直前のため開発のピークを迎えており、2016 年にはアメリカ連邦航空局から型式承認を取得する計画で進められている。

また、Global 7000 および Global 8000 の機体型式証明を取得するための各種飛行試験用に、計 14 台のエンジンを供給する計画である。BA 社では Global 7000 の飛行試験用初号機を製造中であり、すでに GE Passport 20 エンジンが搭載されている(第 6 図)。BA 社は 2016 年に Global 7000 の初飛行を予定している。

(提供: GE 社)

第 6 図 機体に搭載された GE Passport 20 エンジン
Fig. 6 GE Passport 20 engine mounted on the Global 7000 flight-test vehicle

(a) 氷塊打ち込み試験

(b) 着氷試験

第 5 図 GE Passport 20 エンジンの各種地上試験
Fig. 5 GE Passport 20 engine ground tests

(提供: GE 社)

3. GE Passport 20 エンジンの特長

3.1 GE Passport 20 エンジンの特長

通常の旅客機の巡航高度は 11 000 ~ 13 000 m であるが、ビジネスジェット機である Global 7000 および Global 8000 は、通常の旅客機が航行していないため空域の制約が少なく、空気抵抗も少ない高高度(最大 15 500 m)を飛行する。そのため、GE Passport 20 エンジンは高高度での性能も重視した設計となっている。

3.2 ファンブリスク

重量の低減を目的に、ファンブレードとディスクが一体となったファンブリスクを採用している。従来のダブルテーブルジョイントをなくすことによって、ファン回転部の重量を 20%低減させることに成功した。第 7 図にファンブリスクと統合型案内翼を示す。従来設計(第 7 図-(a))と比べてファンブリスクの内側が非常にすっきりしていることが分かる(第 7 図-(b))。また、回転部の重量低減は構造荷重の低減にもつながるため、ファン静止部の重量低減にも寄与している。

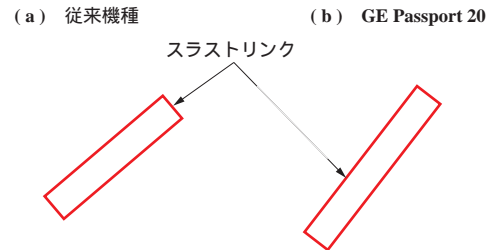
3.3 統合型案内翼

統合型案内翼とは、出口案内翼(Outlet Guide Vane: OGV)にストラット(構造支柱)の機能をもたせたものである。高度な構造解析と空力設計を適用することによってストラットをなくし、ファン静止部重量を 10%削減させることに成功している(第 7 図参照)。また、ストラットがなくなることによる空力損失軽減によって、性能

面でも燃料消費率の改善に寄与している。

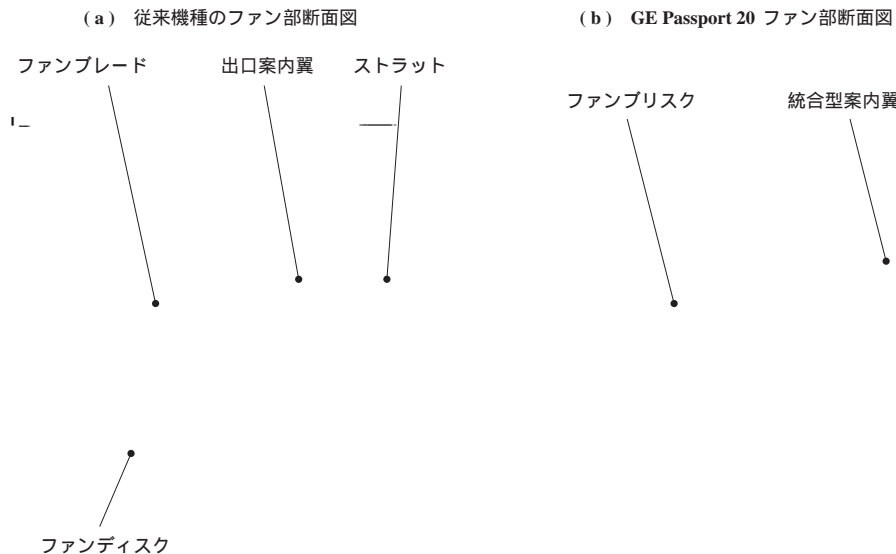
3.4 スラストリンク機構

第 8 図にスラストリンク機構を示す。従来機種種のエンジンでは、スラストリンク(エンジン推力荷重を機体へ伝達する部品)がエンジンのコア部分に接続されている(第 8 図-(a))。このため、スラストリンクがバイパス流路を通ることになり空力的な損失を招いている。GE Passport 20 では、スラストリンクをファンケース外側に接続させることによって空力損失を軽減させて、燃料消費率の改善に寄与している(第 8 図-(b))。このスラストリンク構造では、ストラットにエンジン推力が伝達されるために構造設計が難しく、同サイズのエンジンでは初めての試みである。



(提供: GE 社)

第 8 図 スラストリンク機構
Fig. 8 Thrust link mechanism



第 7 図 ファンブリスクと統合型案内翼
Fig. 7 Fan blisk and integrated guide vane

3.5 高圧圧縮機

全 10 段に対して三次元翼設計を適用することによって、同サイズのエンジンのなかでは世界最高の高圧力比を達成し、燃料消費率を大幅に下げている。

3.6 低圧タービン

Global 7000 および Global 8000 は最大 15 500 m の高高度を飛行するため、従来旅客機のエンジンと比較すると低圧タービン内流れのレイノルズ数は低くなっている。従来の空力設計手法では、高高度すなわち低レイノルズ数での圧力損失が大きくなってしまいうため、三次元多段非定常層流解析を用いた最適化設計を導入し(第 9 図)、高高度で発生しやすい損失を抑えて、燃料消費率の大幅な改善を達成している(第 10 図)。

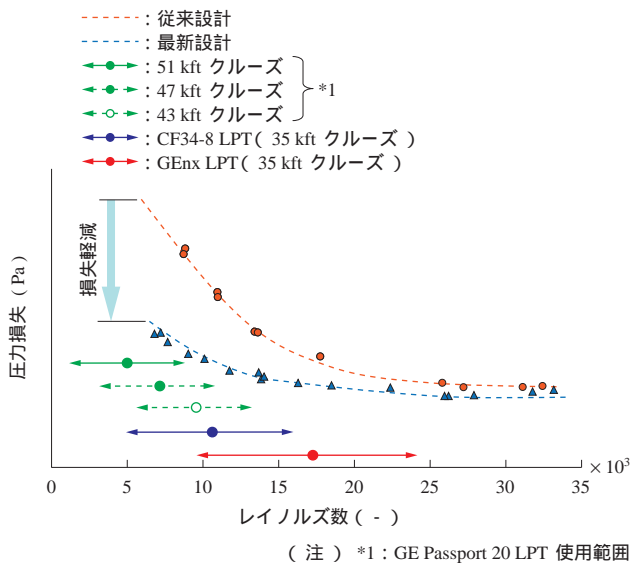
3.7 最新素材技術の適用

GE Passport 20 ではファンケースに樹脂系複合材料を、またミキサノズルなどにはセラミック系複合材料 (Ceramic Matrix Composites : CMC) を採用して、大幅な

(a) 圧力損失の小さい流れ (b) 圧力損失の大きい流れ

第 9 図 三次元多段非定常層流解析結果

Fig. 9 Numerical analysis of 3D unsteady laminar flow in multi-stage LP turbine



第 10 図 低レイノルズ数領域での圧力損失軽減

Fig. 10 Reduction of pressure loss in low Reynolds number regions

重量軽減を図っている。第 11 図に CMC ミキサノズルを示す。

4. テレメトリー計測技術

当社は、Datatel 社(ドイツ)のテレメトリーシステムを応用して、ジェットエンジンの計測向けシステムを開発している。テレメトリーシステムとは、無線によって非接触で計測情報を送信するシステムのことである。

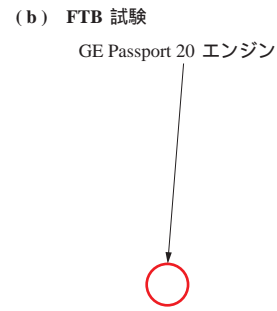
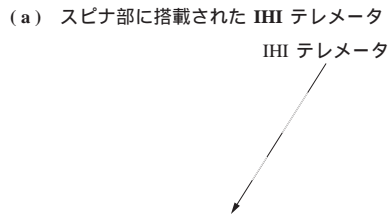
GE Passport 20 の開発では、当社が開発した専用テレメトリーシステムが各種運転試験をサポートしている。ジェットエンジンの回転部品の計測データを取得するために、横風試験、過温度試験、振動試験などに採用され、GE 社製エンジンとしては初めて飛行試験 (Flying Test Bed : FTB) にも採用された(第 12 図)。2014 年 12 月末の初飛行から 2 か月半に及ぶ計 20 回の飛行試験が行われ、成功裏に完遂された。

FTB 試験とはエンジンを本来搭載される機体とは異なる飛行試験機に搭載して、実飛行条件に合わせた飛行状態で行われるエンジン試験のことであり、GE 社は 2 機の B747 型機を FTB 試験用に保有している。当社社員が GE 社の FTB 試験機に搭乗して試験に立ち会うのは初めてであった。

(提供 : GE 社)

第 11 図 CMC ミキサノズル

Fig. 11 CMC mixer nozzle



(c) FTB 試験クルー集合写真

(提 供 : GE 社)

第 12 図 IHI テレメータ搭載の FTB 試験
Fig. 12 Flying Test Bed test with IHI telemeter

5. 結 言

GE Passport 20 エンジンの開発概要と技術的特長について説明した。当エンジンは、お客さまからのニーズである燃料消費率の低減や環境適合性の要求を満足し、次世代を代表するビジネスジェット機用エンジンとなることが期待されている。

また、当社の設計・製造技術だけでなく、当社独自の数値解析手法やテレメトリー計測技術もエンジン開発に採用されることになり、国際共同エンジン開発における当社の貢献度合いはますます大きくなっている。今後もさらに存在感を示せる技術を追求していきたい。

謝 辞

GE Passport 20 エンジンの開発を進めるに当たり、多大なるご協力をいただいた国内外の関係各団体・企業の方々に感謝の意を表します。また、エンジン全体を取りまとめ、本稿にも情報提供いただいた GE 社、多大なるご支援をいただいている経済産業省、一般財団法人日本航空機エンジン協会のご厚誼ごきんぎに対して、ここに記し深謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 比企野広一，守屋信彦，西川秀次：ビジネスジェット機向けエンジン GE Passport 20 の開発
航空技術 No. 719 2015 年 2 月 pp. 46 - 50