

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

| | | |
|--------|--------------------------|-----------|
| 山口 悟 志 | 航空・宇宙・防衛事業領域民間エンジン事業部技術部 | 主査 |
| 半場 文 浩 | 航空・宇宙・防衛事業領域民間エンジン事業部技術部 | 主査 |
| 土屋 直 木 | 航空・宇宙・防衛事業領域民間エンジン事業部技術部 | 主幹 博士（工学） |
| 守屋 信 彦 | 航空・宇宙・防衛事業領域民間エンジン事業部技術部 | 部長 |

GE Passport 20 エンジンは、Bombardier Aerospace 社が開発した双発大型ビジネスジェット機である Global 7500 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 4 月にアメリカ連邦航空局からエンジンの型式承認を取得し、2018 年に就航した。IHI は General Electric Company 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、Safran Aero Boosters 社も 7.4% のシェアで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 7500 and Global 8000, a large-body, ultra-long range business jet aircraft that was developed by Bombardier Aerospace. IHI has participated in the 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や短時間での効率的な移動手段として、ヨーロッパ・北アメリカ・南アメリカ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。

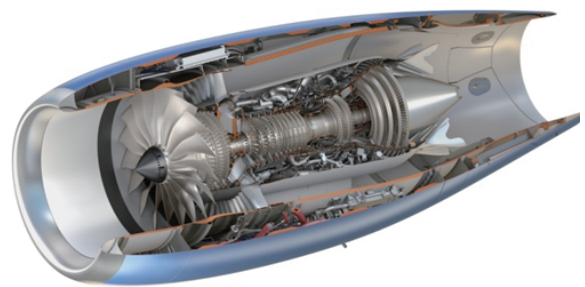
このような市場状況下において、Bombardier Aerospace (BA 社、カナダ) は高速で航続距離が長く、居住空間の広い次世代の大型ビジネスジェット機である Global 7500 および Global 8000 を開発した。第 1 図に大型ビジネスジェット機 Global 7500 を示す。Global 7500 は 2018 年 12 月に運航を開始し、より航続距離が長い Global 8000 はそれに続いての就航となる計画である。

第 2 図に GE Passport 20 エンジンを示す。GE Passport 20 エンジンは、2010 年に Global 7500 および Global 8000 に搭載されるエンジンとして選定され、General Electric



(出 典 : www.bombardier.com)

第 1 図 大型ビジネスジェット機 Global 7500
Fig. 1 Global 7500 business jet aircraft



(提 供 : GE 社)

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

Company (GE 社、アメリカ) および Safran Aero Boosters (SAB 社、ベルギー) とともに 3 社で国際共同開発が進められた。IHI は、GE 社とのエンジン共同開発プログラムにおいて、従来はレバニユーシェアのパートナー（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合弁会社 GE Passport, LLC を設立して、合弁事業のパートナーとして参画しており、従来以上に事業全体への関与を深めている。

GE Passport 20 エンジン事業における IHI 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。SAB 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

第 1 表に、GE Passport 20 エンジンの主要諸元を示す。既存機種でほぼ同推力である CF34-10E エンジンと比較している。GE Passport 20 は高バイパス比ターボファンに分類されるエンジンであり、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、最新技術の適用により全体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た。

2.2 担当部位

IHI が設計・開発・製造を担当している部位は以下のと

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 | | Global 7500/8000 | Embraer 190/195 |
| 搭載機体 | 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 |

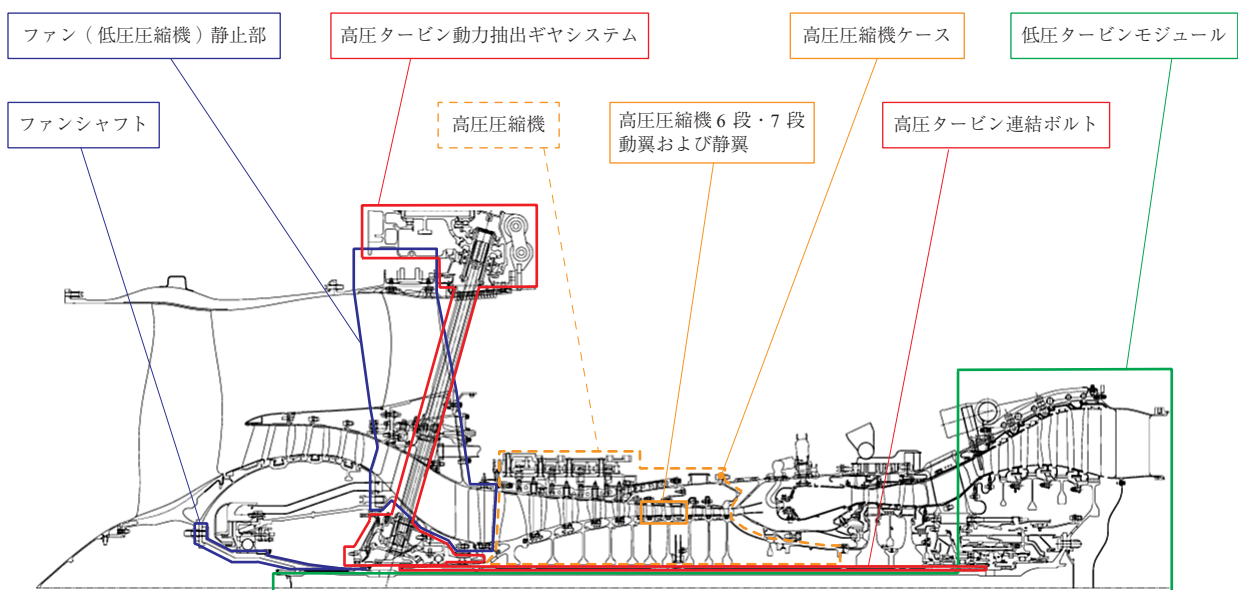
(注) FAN: ファン
HPC: 高圧圧縮機
LPT: 低圧タービン
LPC: 低圧圧縮機
HPT: 高圧タービン

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

第 4 図に GE Passport 20 エンジンの開発マイルストーンを示す。2009 年から次世代小型エンジンとして先行技術開発を進めていたエンジンが、2010 年第 4 四半期に BA 社の新型ビジネス機のエンジンとして選定され、製品



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 | 2019 | 2020 |
|---------|------|-----------|------|------|---------------|-----------|------|------------------|------|----------|------|-------------------|
| 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 | 初飛行 | 機体型式証明取得 | 運航開始 | 双発機による長距離進出運航認証取得 |
| 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 7500 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 milestone

開発が始まった。2013 年 6 月に、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た。第 5 図に各種地上試験を示す。その後 2016 年 4 月にアメリカ連邦航空局 (Federal Aviation Administration : FAA) から型式承認を取得した。2016 年 11 月にはカナダで Global 7500 の初飛行を実施し、各種飛行試験を経て、2018 年 9 月にはカナダ運輸省航空局 (Transport Canada Civil Aviation : TCCA) から、2018 年 11 月には FAA から、それぞれ機体の型式証明を取得し、2018 年 12 月に運航を開始した。

なお、Global 7500 および Global 8000 の機体の型式証明を取得するための各種飛行試験用に、計 14 台のエンジンを使用した。第 6 図に、試験のために機体に搭載されたエンジンを示す。さらに、2020 年 2 月に双発機による



(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 Global 7500 flight-test vehicle

180 分を超える長距離進出運航 (180 分 ETOPS) の認証を取得して、主要なエンジン開発はすべて終了した。

なお、Global 7500 は当初モデル名 Global 7000 として

(a) 氷塊打ち込み試験



(b) 着氷試験



(提供: GE 社)

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

開発が進められていた機体であるが、BA社は同機が飛行試験で極めて良好な燃費成績を示し、航続距離が計画値 13 705 km (7 400 カイリ) に対し 14 260 km (7 700 カイリ) で認定されたことを受けて、2018 年 5 月に機体名称を Global 7500 に変更した(本稿では機体名を Global 7500 に統一した)。

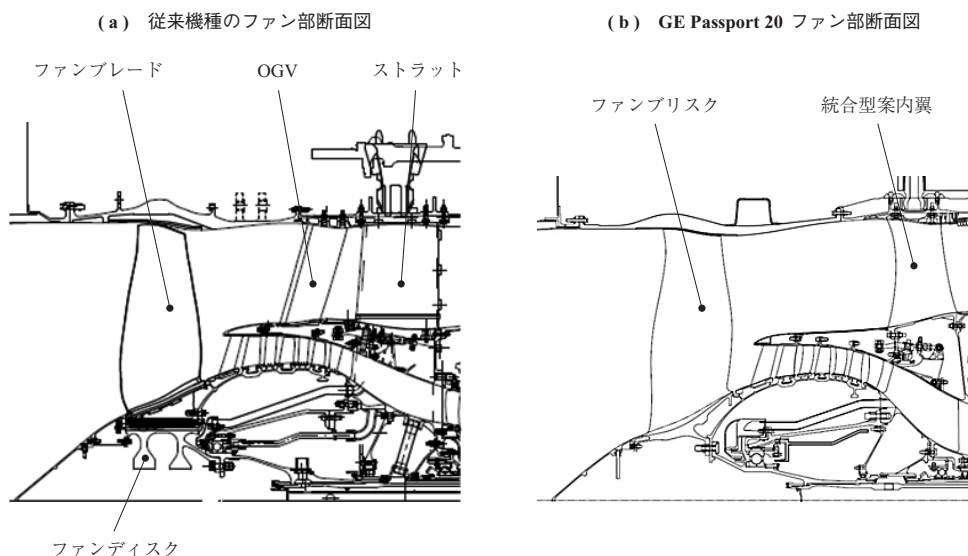
3. GE Passport 20 エンジンの特長⁽¹⁾

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 7500 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)を高速飛行することが要求される。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おり、新世代のエンジンとしては比較的低いバイパス比となった。

3.2 ファンブリスク

軽量化を目的に、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。従来のダブルテールジョイントをなくすことによって、ファン回転部の質量を 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))と比べてディスク部内径部の構造が非常に単純であることが分かる(第 7 図-(b))。また、回転部の軽量化は構造に掛かる荷重の低減にもつながるため、ファン静止部の質量低減にも寄与している。



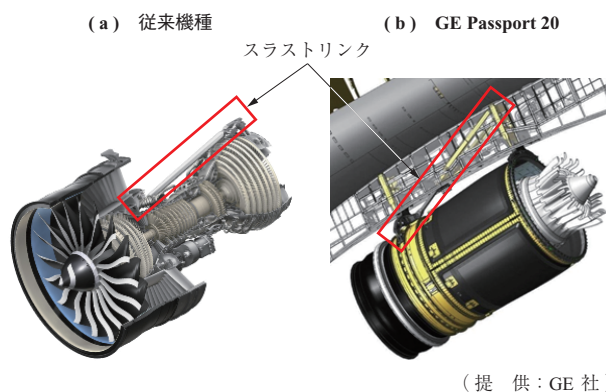
第 7 図 ファンブリスクと統合型案内翼
Fig. 7 Fan blisk and integrated guide vane

3.3 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、ファン静止部質量を 10% 削減できた(第 7 図)。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



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

側に接続させることによって（第 8 図 - (b)）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。このストラストリンクの構造では、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。

3.5 高圧圧縮機

高圧圧縮機は、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

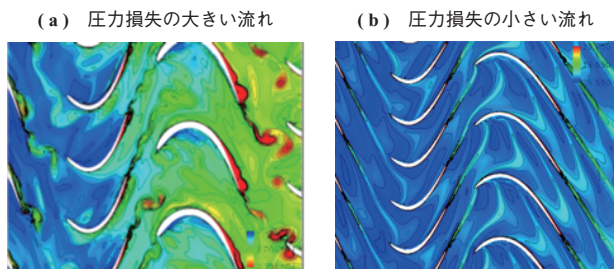
Global 7500 および Global 8000 は最大 15 500 m の高高度を飛行するため、従来旅客機のエンジンと比較すると巡航中の低圧タービン内の流れのレイノルズ数が低くなる。従来の空力設計手法では、高高度、すなわち低レイノルズ数領域で圧力損失が大きくなることが知られているため、本エンジンでは三次元多段非定常層流解析を用いた先進的な最適化設計を導入した。第 9 図にその解析結果を示す。これにより、高高度で発生しやすい損失を抑えて、燃料消費率の大幅な改善を達成することができた。第 10 図に従来設計との圧力損失の違いを示す。

3.7 最新素材技術の適用

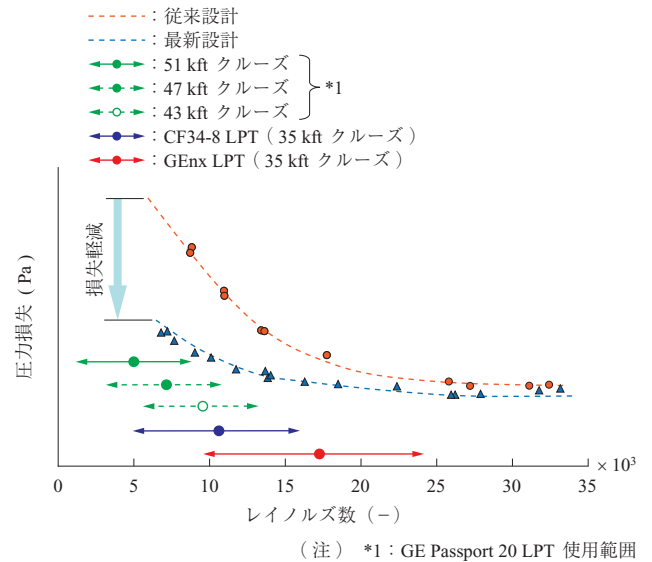
GE Passport 20 では、ファンケースに樹脂系複合材料を、またミキサノズルなどにはセラミック系複合材料（Ceramic Matrix Composites：CMC）を採用して、大幅な軽量化を図っている。第 11 図に CMC ミキサノズルを示す。

4. テレメトリ計測技術

IHI は、Datatel 社（ドイツ）のテレメトリ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た。テレメトリシステムとは、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り、運転中のエンジン回転部の温度や応力を正確に評価するための重要な装置で



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



第 11 図 CMC ミキサノズル
Fig. 11 CMC mixer nozzle

ある。

GE Passport 20 の開発においては、IHI が開発した専用テレメトリシステムが横風試験、過温度試験、振動試験などの主要な地上試験に採用されたほか、GE 社との開発プログラムで初めて飛行試験（Flying Test Bed：FTB）にも採用された。第 12 図に、エンジンに搭載されたテレメータ（第 12 図 - (a)）および FTB 試験の状況を示す。

FTB 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、実飛行条件に近づけた飛行状態で行われるエンジン試験のことであり（第 12 図 - (b)）、GE



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

社所有の B747 型機を用いて実施された。IHI 社員も試験機に搭乗して試験に立ち会い、テレメトリシステムの技術支援を行った（第 12 図 - (c)）。FTB 試験は 2014 年 12 月末の初飛行から 2 か月半に及び、計 20 回の飛行試験が行われ、成功裏に完遂された。

5. 量産状況

2016 年から量産部品の製造を開始しており、2019 年末までに 12 機の Global 7500 を含む累計 28 台のエンジンを納入した。

受注は堅調に推移しており、2020 年以降の納入数は増加していく見込みである。

6. 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世界最高レベルの燃料消費率の低減や環境適合性、軽量化の要求を満足しており、最先端のビジネスジェット機用エンジンとして市場から高い評価を受けている。

また、IHI の設計・製造技術だけでなく、IHI 独自の数値解析手法やテレメトリ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 IHI の貢献度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 (JAEC) のご厚誼^きに対して，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