

HF120 ターボファンエンジンの開発

Development of HF120 Turbofan Engine

野田 悦生*

Etsuo NODA

要 旨

HondaJet に搭載される HF120 ターボファンエンジンを General Electric 社と共同で開発した。両社の優れた技術を投入し、小型ターボファンエンジンでトップクラスの軽量、低燃費、低エミッションをねらった。Honda 単独で開発した HF118 ターボファンエンジンに対して HF120 ターボファンエンジンは燃費 3%、推力重量比 17% の向上を達成し、エミッションについては、このクラスの小型エンジンでは規制対象になっていない、大型エンジンに対する規制値を満足した。HF120 ターボファンエンジンの主な特徴は、ワイドコードスウェプトファン、カーボンコンポジット製ファン静翼、高効率遠心圧縮機、エフュージョン冷却燃焼器、エアブラスト燃料ノズルがあり、これらの技術を投入し、2013 年 12 月に米国連邦航空局の型式認定を取得した。

ABSTRACT

General Electric Company and Honda have jointly developed the HF120 turbofan engine to be installed in the HondaJet. Both GE and Honda brought their leading technologies to the HF120 program and targeted top-class light weight, low fuel consumption, and low emissions as key design goals for the small turbofan engine. The HF120 improved specific fuel consumption by 3% and thrust-weight ratio by 17% compared with an earlier HF118 turbofan engine that Honda had developed independently. In addition, the HF120 complied with emissions regulations for larger turbofan engines that currently do not apply to small engines in its class. Notable features of the HF120 include wide chord swept fan, carbon composite fan stator vane, high-efficiency centrifugal compressor, effusion-cooled combustor, and air-blast fuel nozzle. The HF120, with these and other technologies, received a Type Certificate from the United States Federal Aviation Administration in December 2013.

1. まえがき

HondaJet (Fig. 1) に搭載される、HF120 ターボファンエンジン (HF120) は 2006 年より General Electric 社 (GE) と共同で開発をおこない、2013 年 12 月に米国連邦航空局 (Federal Aviation Administration: FAA) の型式認定を取得した。本稿では、小型ターボファンエンジンでトップクラスの軽量、低燃費、低エミッションである HF120 の概要を紹介する。



Fig. 1 HondaJet

2. 開発のねらい

Honda 単独で開発した HF118 ターボファンエンジン (HF118)^{(1), (2)} をさらに発展させ、同等推力エンジンの中でトップクラスの低燃費と高推力重量比 (推重比) を達成することを目標とした。エミッションについては、HF120 クラスの小型エンジンでは規制対象になっていない NO_x, CO, THC に対して、推力 6000 lbf 以上のエンジン (本稿では大型エンジンと呼称する) に対する規制⁽³⁾ を満足することを目標とした。

3. エンジン概要

HF120 の外観を Fig. 2 に、主要諸元を Table 1 に示す^{(4), (5)}。本エンジンは HondaJet のような 6 人から 8 人乗りビジネスジェット機に使用される推力クラスであり、コンベンショナルな 2 軸ターボファン形式を採用している。

* 航空機エンジン R&D センター

Table 1 HF120 engine specifications

Model	HF120
Takeoff thrust	2095 lbf
Length	59.5 inch
Width	25.8 inch
Height	30.5 inch
Weight	466 lbs
Low-pressure rotor speed	19055 rpm
High-pressure rotor speed	49200 rpm
Interstage turbine temperature	860°C



Fig. 2 HF120 engine

4. エンジン性能

4.1. 燃費, 推重比

エンジン離陸推力に対する燃費 (SFC) と推重比のトレンドを Fig. 3 および Fig. 4 に示す。推力が大きくなるにつれて燃費, 推重比ともに向上していることがわかる。

HF120 の燃費と推重比の達成値および推力 2500 lbf 以下の他社エンジンとの比較を Fig. 5 に示す。HF118 に対し、燃費 3%, 推重比 17% の向上を達成した。他社エンジンに対しても競争力を確保している。

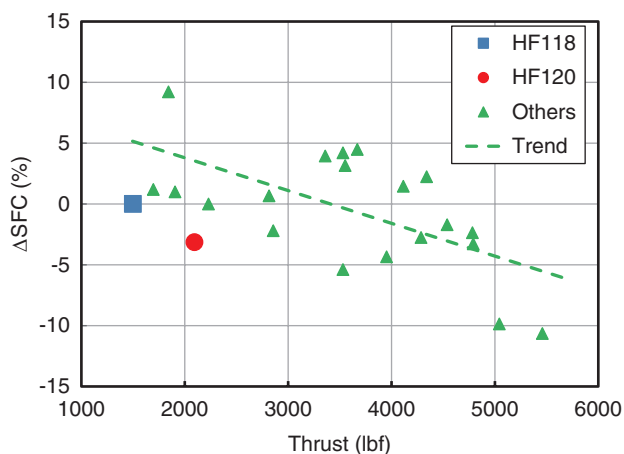


Fig. 3 Trend of SFC

4.2. エミッション

各エミッション規制値を 100% とした場合の HF120 のエミッション排出量を Fig. 6 に示す。各項目に対する規制値はエンジンの推力やサイクル圧力比から計算される。スモークはすべてのターボファンエンジンに対して規制対象項目であるが、NO_x, CO, THC については HF120 クラスの小型エンジンに対して現状規制はなされていない。

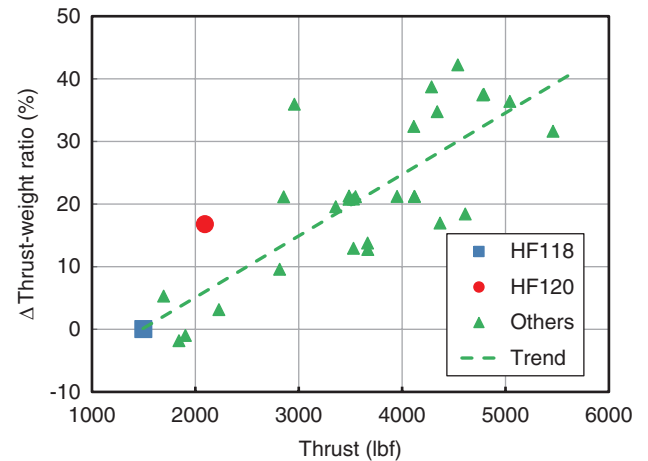


Fig. 4 Trend of thrust-weight ratio

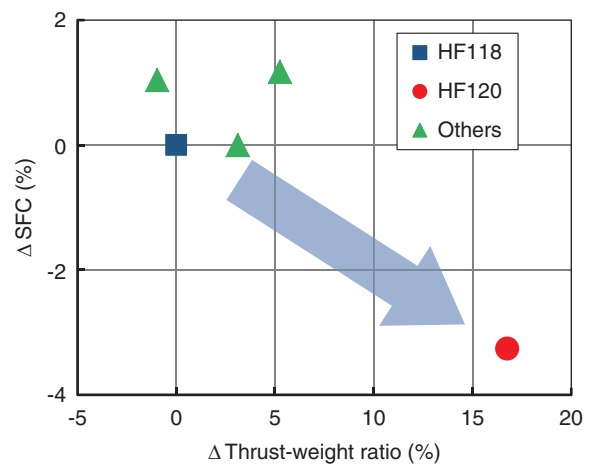


Fig. 5 Advantage of SFC and thrust-weight ratio

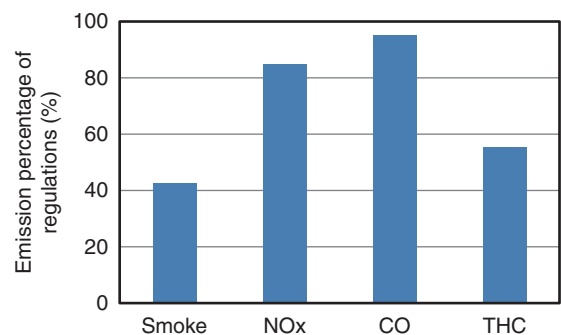


Fig. 6 Emission results

5. エンジン構造と作動原理

HF120 のエンジン構造 (Fig. 7) および一般的ターボファンエンジンの作動原理を以下に示す。

エンジン入口から吸込まれた空気はファンで圧縮され、エンジンコア側とバイパスダクト側に分かれる。

エンジンコア側に取り込まれた空気は、低压圧縮機と高压圧縮機によりさらに圧縮され、燃焼器に入る。

この高压空気は燃焼器内で燃料ノズルから噴霧される燃料と混合され、定常的な燃焼により高温ガスを発生する。

この高温ガスから高压タービンと低压タービンによりエネルギーを取り出し、二重構造の回転軸を通じて、高压タービンは高压圧縮機を、低压タービンは低压圧縮機とファンを駆動する。

バイパスダクトを流れてきた空気とタービンを通過した後の高温ガスは、排気ノズルで加速されてエンジン後方へ排出され、その反力により推力が発生する。

HF120 の場合、空気と高温ガスを排気ノズルの上流でミキサにより混合させて、排気騒音の低減と巡航燃費の向上を図っている。

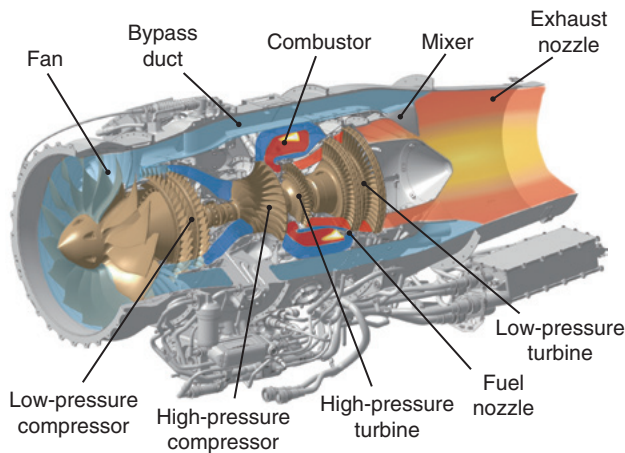


Fig. 7 HF120 engine features

6. エンジンの特徴

各コンポーネントの設計は GE と Honda でお互いに優れている領域を受け持った。高压圧縮機、燃焼器、制御系は Honda が担当し、低压圧縮機、高压タービン、ミキサは GE が担当した。ファンや低压タービン等、その他のコンポーネントは GE と Honda 共同で設計をおこなった。例えばファンの空力設計は主に Honda が担当し、鳥衝突時の強度解析は主に GE が担当した。

6.1. ファン

ファンの主要部品を Fig. 8 に示す。ファンロータは空力

性能向上のためワイドコードスウェプト設計を採用し、軽量化と高強度化のためにチタン鍛造素材からブレードとディスクを一体で削り出す構造とした。ファン静翼も軽量化のためにカーボンコンポジット材料を採用し、前縁に耐エロージョン性向上のため金属薄板を接着している。

6.2. 圧縮機

圧縮機の主要部品を Fig. 9 に示す。低压圧縮機はサイクル圧力比の向上と高压系コンポーネントの小型化のため2段の軸流形式を採用し、高压圧縮機は耐熱高強度チタン製の遠心式ロータと、パイプディフューザ構造を採用して、CFD を用いた空力設計による高効率化により、燃費の向上を図っている。

6.3. 燃焼器

燃焼器の主要部品を Fig. 10 に示す。燃焼器ライナの形式はエンジンの軸長短縮のためにリバースアニュラ型とした。燃焼器ライナ壁面の冷却にはレーザ加工による斜めの

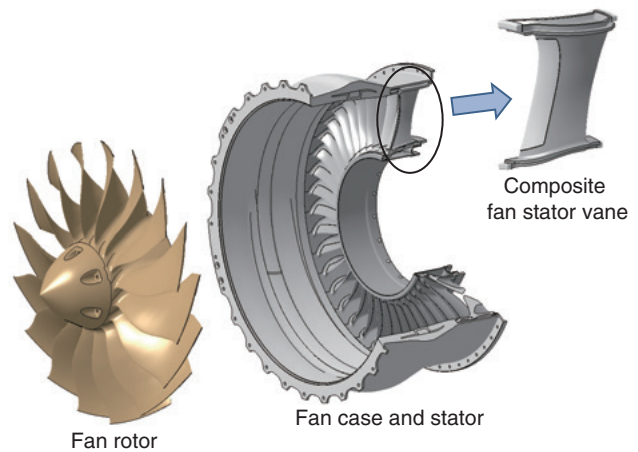


Fig. 8 Fan components

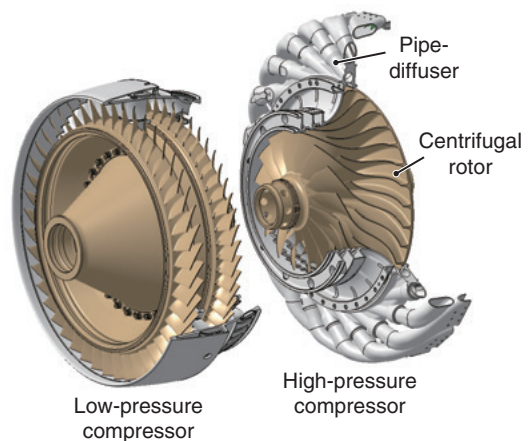


Fig. 9 Compressor components

細孔を多数設けたエフュージョン冷却 (Fig. 11) を採用し、構造のシンプル化を図っている。一般的に燃料ノズルは低流量域と高流量域に対応するため2系統の燃料ラインを用いるが、HF120 ではエアブラスト燃料ノズルで1系統化する技術により、シンプル化と軽量化を図っている。また、燃料微粒化等の噴霧性能と、燃焼室内のフローパターンを適切に調整することにより、大型エンジンに対するエミッション規制値をすべて満足している。

6.4. タービン

タービンの主要部品を Fig. 12 に示す。軸流単段の高圧タービンは、ブレード材料に第3世代単結晶合金を使用

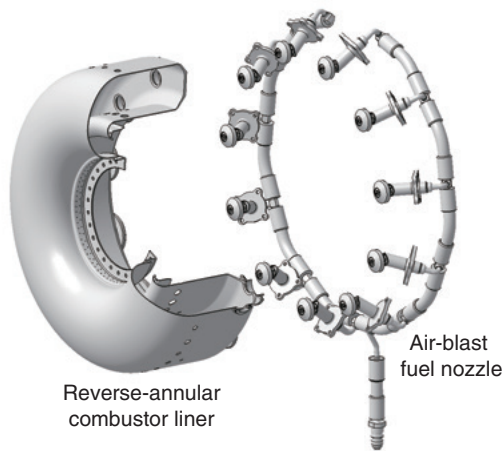


Fig. 10 Combustor components

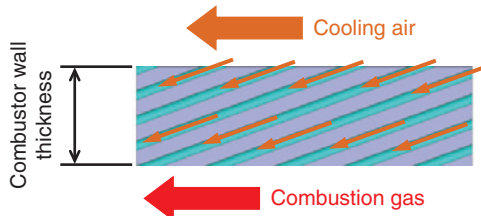


Fig. 11 Effusion cooling schematic

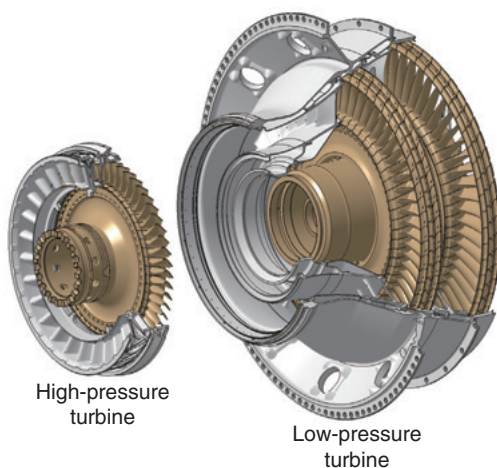


Fig. 12 Turbine components

し、タービン入口の許容ガス温度を上昇させてエンジンの小型軽量化を図っている。低圧タービンは軸流2段とし、高圧タービンに対してカウンタローテーション構造とすることで高圧タービン後流の旋回成分を有効に利用して、タービン効率の向上を図っている。

6.5. 軸システム

HF120 の主軸断面を Fig. 13 に示す。運転レンジ内に軸の共振点を持たないように、低圧軸1次曲げモードをアイドル回転数より下に設定し、2次曲げモードを最大回転数の上に設定した。ファン側をオーバハングさせて支持する軸構造を採用することで上記の設定を実現した。Fig. 14 に低圧軸のキャンベルダイアグラムを示す。高圧軸タービン側の支持は、回転している低圧軸から保持する差動ベアリング形式を採用し、ベアリング支持構造部材と潤滑システムのシンプル化を図っている。

6.6. 制御

エンジン制御システムは Full Authority Digital Engine Control (FADEC) を採用し、冗長化されたデジタル電子制御装置でエンジンを制御している。燃料流量とブリードバルブ開度が主な制御項目であり、飛行条件とパイロット操作に応じた推力調整と、加減速時のエンジンストールや失火を防止するため適切な制御をおこなっている (Fig. 15)。

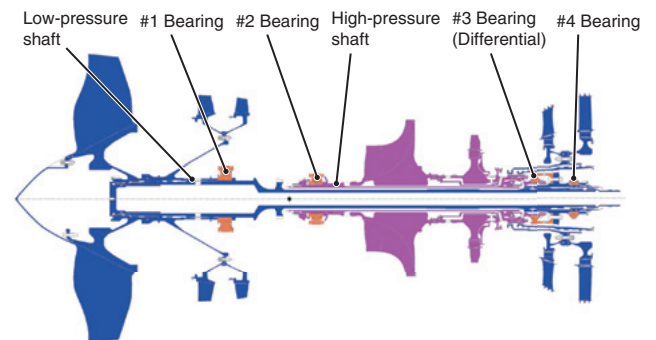


Fig. 13 Main-shaft cross-section

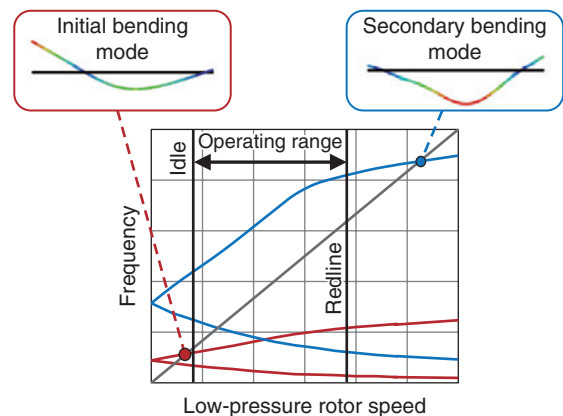


Fig. 14 Campbell diagram

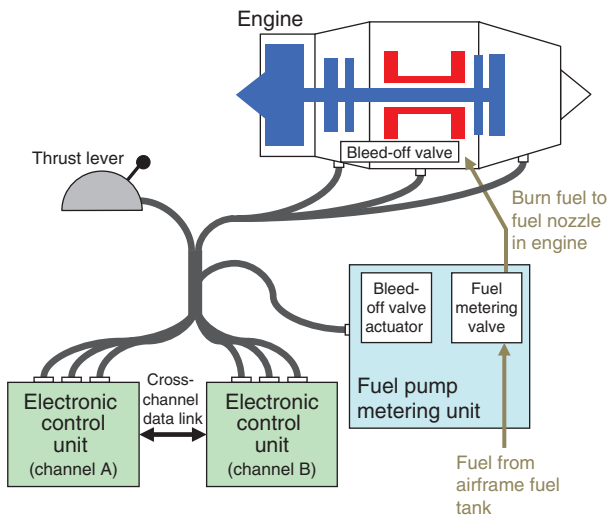


Fig. 15 FADEC system overview

7. エンジン型式認定

2007年2月にFAA型式認定の申請をおこない、同時に詳細設計を進め、部品製作、エンジン組立を進めた。2009年10月にエンジン初号機の地上試験を開始し、2010年から飛行試験および認定試験を開始した。エンジン認定試験は各種耐久試験や異物吸込み試験、アイシング試験等を実施し、コンポーネント単体の認定試験は耐久試験や耐火試験、耐環境試験等を実施した。総数190通におよぶ認定レポートを提出し、2013年12月13日にFAAの型式認定を取得した (Fig. 16)。今後、欧州航空安全機関 (European Aviation Safety Agency: EASA) の型式認定を2014年末に取得する予定である。



Fig. 16 FAA Type Certificate for HF120

8. まとめ

HF120 ターボファンエンジンの開発をGEと共同で完了し、2013年12月FAA型式認定を取得した。燃費、推重比はHF118に対し、それぞれ3%、17%向上し、エミッションは、小型エンジンでは規制対象になっていないNOx, CO, THCについて、大型エンジンに対する規制値を満足した。

参考文献

- (1) 園田豊隆, 野田悦生: 小型ビジネスジェット用 HF118 ターボファンエンジン, 日本機械学会誌, Vol.108, No.1039, p.456-457(2005)
- (2) 園田豊隆, 野田悦生: 小型ビジネスジェット用 HF118 ターボファンエンジンの開発, 日本ガスタービン学会誌, Vol.34, No.3, p.165-171(2006)
- (3) Federal Aviation Administration: FUEL VENTING AND EXHAUST EMISSION REQUIREMENTS FOR TURBINE ENGINE POWERED AIRPLANES, CFR, title 14, part 34
- (4) <http://www.gehonda.com/products/hf120/>, 2014/4/25
- (5) http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgMakeModel.nsf/0/00BA6F1FAC1A32A186257C780058D54E?OpenDocument&Highlight=hf120, 2014/4/25

■ 著 者 ■



野田悦生