

GG-ATRエンジンターボ軸系の振動特性について

著者	橋本 啓吾, 向江 洋人, 湊 亮二郎, 中田 大将, 東野 和幸, 内海 政春
雑誌名	室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書
巻	2017
ページ	24-26
発行年	2018-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009865

GG-ATR エンジンターボ軸系の振動特性について

- 橋本 啓吾 (航空宇宙システム工学コース 学部4年)
- 向江 洋人 (航空宇宙総合工学コース 博士前期2年)
- 湊 亮二郎 (航空宇宙システム工学ユニット 助教)
- 中田 大将 (航空宇宙機システム研究センター 助教)
- 東野 和幸 (航空宇宙機システム研究センター 特任教授)
- 内海 政春 (航空宇宙機システム研究センター 教授)

1. はじめに

本学航空宇宙機システム研究センターでは大気中を高速・高高度で飛行するための革新的基盤技術の研究開発を行っており、そのフライングテストベッドとして小型無人超音速機の開発が進められている。その推進エンジンには Gas Generator Cycle Air-Turbo Ramjet Engine (GG-ATR エンジン)が搭載される。このエンジンは、インテークから取り込まれた空気を高圧状態にしてラム燃焼器に送り続けるために、高い信頼性を有する高速回転機械が必要となる。高速回転は必然的に軸の振動を発生させるため、GG-ATR エンジンの安定作動の実現には、ターボ軸系の振動特性を把握することが重要となる。2017年度は、昨年度行われていたGN₂冷走試験の次のステップとして、GHeを用いた冷走試験を実施し、定格回転数(58000 rpm)付近での軸振動データを取得した。それに加えて、軸系全体の挙動を評価するために、有限要素モデルを用いた軸振動解析を実施した。それらの結果をもとに、軸系挙動を評価したので、その概要について報告する。

2. 冷走試験結果

GHe 冷走試験で得られた起動・停止過渡時の GG-ATR エンジンの軸振幅を図1に示す。

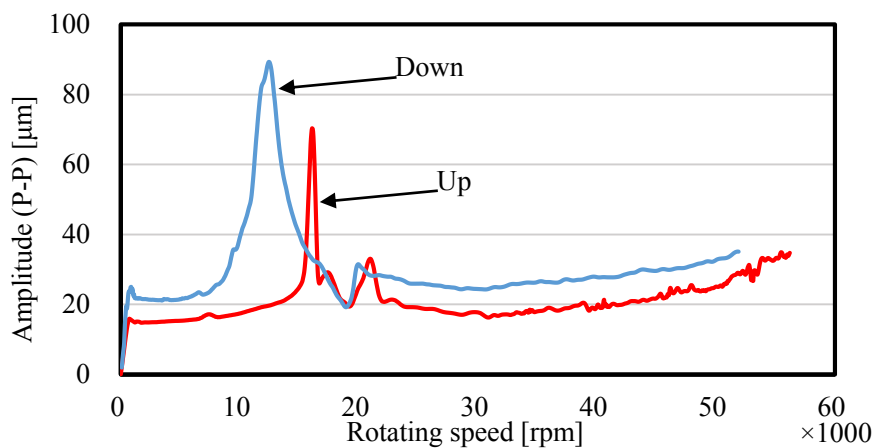


図1 ターボ軸系振幅挙動

この図は計測断面(圧縮機背面)での回転数に対する軸振幅を示している。このエンジンは定格作動させるまでに1次と2次の危険速度を乗り越える必要があることがわかった。危険速度とは、不釣り合い力などの強制力の振動数が、軸の固有振動数に一致することで共振現象が生じる

時の回転数である。1次危険速度で $60 \mu\text{m}$ を超える大きな共振振幅が生じている。また、急な加減速を行うため、昇速時と降速時では、危険速度や共振振幅に有意な差が生じていることがわかった。その一方で、2次の共振振幅は1次よりも小さい結果となっている。

3. ターボ軸系の仕様と有限要素モデリング

3-1. ターボ軸系の仕様

GG-ATR エンジンの断面図を図2に示す。ターボ軸系は斜流圧縮機、高圧・低圧タービン、主軸、軸シール、前側・後側軸受、軸受用のソフトマウント等で構成される。圧縮機の質量が大きく、その配置からオーバーハングの大きな回転体である。軸振動の計測断面は圧縮機背面のみであり(ただし互いに 90° 離れた2位相)、試験ではタービン側の軸挙動は計測していない。

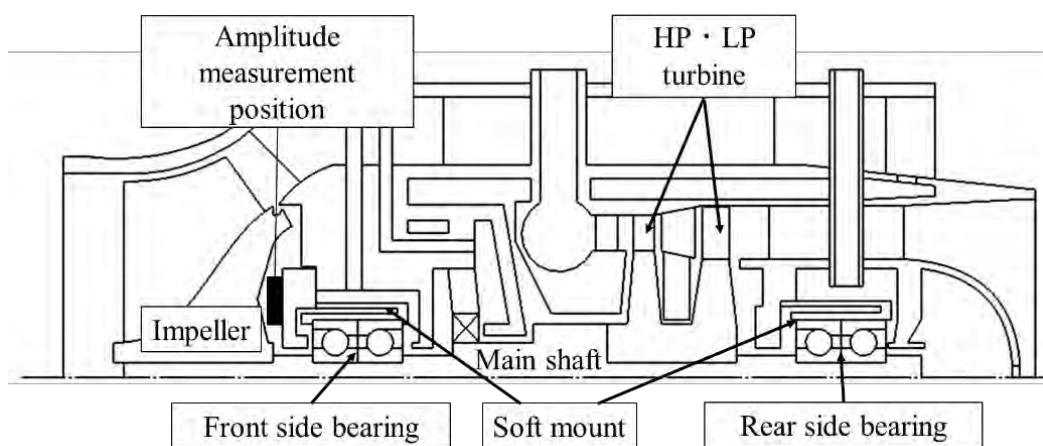


図2 GG-ATR エンジン断面図

3-2. 有限要素モデリング

GG-ATR エンジンのターボ軸系について、1次元はり要素で軸振動解析モデルを構築した。図3は有限要素モデルを上半分に、軸系の断面を下半分に示したものである。有限要素モデルにおける圧縮機やタービンは3次元CADモデルより算出した質量特性を用いて、剛体の集中質量としてモデル化している。

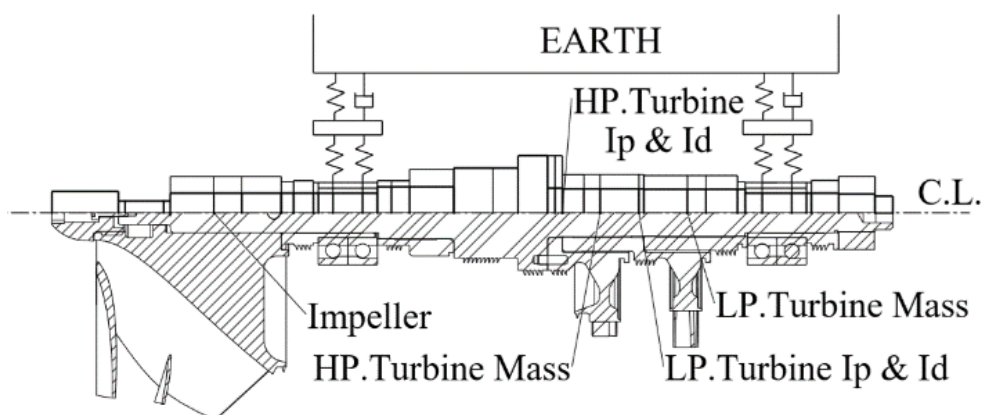


図3 GG-ATR エンジンターボ軸系有限要素モデル

軸系有限要素モデルの運動方程式を式(1)に示す。軸系のモード形状(固有振動数に対しての軸の振れまわり形状)や振動挙動はこの方程式の解により求まる。

$$M\ddot{Z} + (C_r + C_b + \Omega G)\dot{Z} + (K_r + K_b)Z = F_{un} \quad (1)$$

M : 質量行列 C_r : 軸減衰行列 C_b : 軸支持部減衰行列 G : ジャイロ行列
 K_r : 軸剛性行列 K_b : 軸支持部剛性行列 Z : 変位ベクトル F_{un} : 不釣り合い力
 Ω : 軸回転速度

4. 軸振動解析結果

本研究では計算負荷や計算精度を考え、定常軸振動解析を行った。自由振動解析によって得た軸系のモード形状を図4に示す。また、不釣り合い応答解析によって、回転数に対する任意断面における軸振幅を得ることができる、その結果を図5に示す。

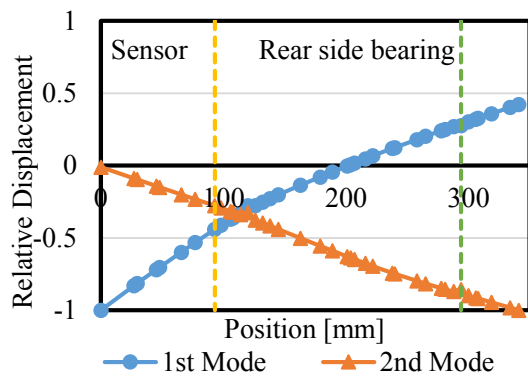


図4 軸系のモード形状

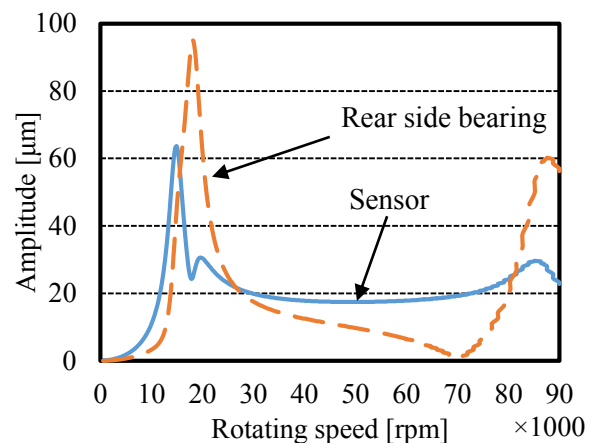


図5 軸系の振動挙動

軸系のモード形状から、1次モードでは圧縮機側が、2次モードではタービン側(後部軸受部)が大きく振れる形状となることがわかった。1次と2次のモードは剛体モードであり、58,000 rpmの運用回転数までロータの弾性変形が支配的な危険速度に近づかないため、剛性ロータであることがわかった。軸剛性に対して軸支持部の剛性が小さいためだと考えられる。

図1に示したように、軸振動の計測断面では2次危険速度の共振振幅は30 μm程度であるが、この不釣り合い応答解析によって後側軸受部では95 μmに達する大きな共振振幅を持つことが明らかになった。試験結果のみで軸挙動を考察すると過小評価することとなる。2次モードでは後側軸受部が大きく振れまわる形状であるにもかかわらず、そこに減衰不足が生じていることが示唆される。後側は燃焼ガスによって高温にさらされるため、耐熱性の観点からダンパが組み込まれていないことが原因として考えられる。この共振振幅によって後側軸受に大きな荷重が作用することが懸念されるため、その対策として耐熱性に優れたダンパの開発を検討中である。

参考文献

- [1] 橋本啓吾, GG-ATR エンジンの軸系モデリングとその挙動に関する研究, 室蘭工業大学平成29年度卒業論文, 2017.