

再使用観測ロケットエンジン用ターボポンプの技術実証試験

高田仁志、橋本知之、佐藤正喜、木村俊哉、八木下剛、成尾芳博、伊藤隆、野中聡、小川博之（JAXA）
瀧田純也、福田勇也（MHI）

○ はじめに

再使用観測ロケットは、垂直離着陸で高度約100km以上に到達し、最短24時間のターンアラウンドで100回の再使用を目標としたロケットである。それらを実現させるために必要なエンジンの機能は、従来の使い捨てロケットのエンジンに無い機能が必要とされている。

ターボポンプに関しては、広範な連続的なスロットリング、点検の簡素化のための機能、整備性向上のための構造、100回再使用のための要素部品の長寿命化（寿命管理を含む）が必要となる。

本報告では、液体酸素ターボポンプ試験の結果について報告する。

○ ターボポンプの設計思想

OTP（液体酸素ターボポンプ）

高信頼化

- ・1次危険速度の下で運用する剛性ロータを採用

長寿命化・運用計画

- ・経験/試験データが豊富な既存技術を用いた軸受・軸シール設計で100回再使用を実現

高比推力化・軽量化

- ・メカニカルシールの寿命を加味した上で最大の回転数を設定し、小型軽量かつ高性能化
- ・最も作動時間の長いノミナル推力での高効率化

FTP（液体水素ターボポンプ）

高信頼化

- ・1次と2次の危険速度の間で運用。20%以上の離調率を確保

- ・ばらつき6σを考慮した高信頼設計

- ・確実な開閉が可能な新型リフトオフシール

長寿命化・運用計画

- ・高速性能に優れたハイブリッドセラミックス玉軸受の採用による長寿命化

- ・運用計画に基づいて安全にかつ効率的に寿命部品を交換

高比推力化・軽量化

- ・軸受限界に近い80000rpmの高回転による軽量化、高性能

OTP・FTP共通

再着火機能

- ・エンジン1故障発生時の大スロッシング発生時にもエンジンが再起動できる様にインテュサを付加して吸込み性能確保

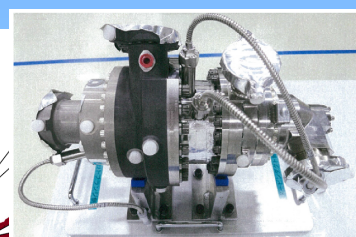
点検・整備容易化・ヘルスモニタリング

- ・ON-STANDでの軸受・軸シールの損傷状態を観察する為の点検ポートの設置

- ・交換部品へ容易にアクセス可能な構造

スロットリング機能

- ・流れ場が乱れる低推力時でもポンプの作動実績範囲内で運転できる設計



OTP
広範囲での安定作動
剛性ロータ化
軸受・シール交換容易な構造
点検ポート設置

FTP
ストップシールの採用
広範囲での安定作動
軸受交換容易な構造
点検ポート設置

ミキサー
安定な混合性能

燃焼室
長寿命設計
低推力時剥離しない膨張比
噴射器とボルト結合

【エンジン仕様】

エンジンサイクル : エキスパンダーブリード

燃焼圧 : 3.4MPa

FTP回転数 : 80000rpm

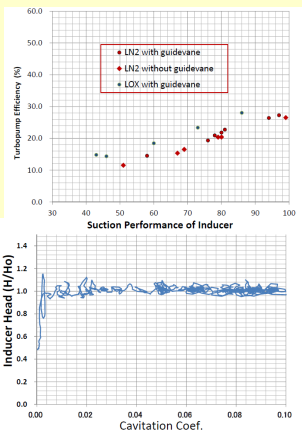
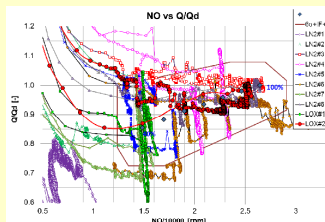
OTP回転数 : 27000rpm

○ 再使用観測ロケット技術実証用エンジンテストスタンド（OTP試験）



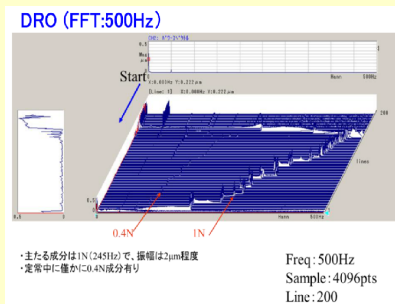
○ ターボポンプ性能

- ・エンジン作動範囲を網羅したデータを取得
- ・設計通りのターボポンプ効率を確保
- ・吸い込み性能に関しては、100%推力作動点、40%推力作動点共にキャビテーション係数0.010以下でインデューサ揚程を維持



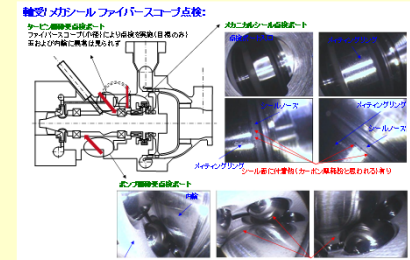
○ ローター性能

- ・軸振れは2ミクロン以下で安定に推移
- ・1次の危険振動数以下での作動を確認



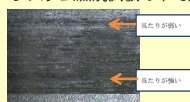
○ 点検・整備容易化

- ・点検ポートの作業性良好、課題点も抽出（使用する機材を考えたポート構造、複数エンジン設置時にポート位相を考慮）
- ・ON-STANDでのタービン出口整流羽根取り付け
- ・ON-STANDでの低温ブッシュアップ実施
- ・ON-STANDでの回転トルク計測

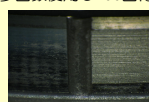


○ 試験後の機構要素検査

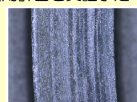
- ・軸受/軸シール共に再使用可能
- ・システム燃焼試験の中で長時間、多回数使用し100回再使用性及び運用計画を実証予定



・ヘリウムバーージールランナーシールランナーが壊れていた可能性あり



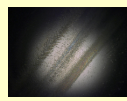
・ヘリウムバーージールシール接触痕があるが、摩耗はほとんど無し。



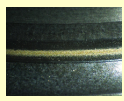
・メカニカルシールシールノーズは、ほぼ推測通りの摩耗量を確認



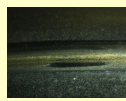
・ポンプ側軸受玉接触面圧低め。作動中荷重が抜けてスピンドルしたと思われる



・タービン側軸受玉接触の転送痕がある。3点接触から外縁が壊れていた可能性



・タービン側軸受内縁PTFE移植状態良好



・タービン側軸受外縁移植剥離箇所あり。状態良好

○ まとめ

● OTP単体試験

★ 結果

- ・各推力作動点でのターボポンプ性能は、設計予測効率を達成できた
- ・ポンプ性能はQ/Qdに対して良好な昇圧性能が確認でき、またタービン性能は、U/Coに対して良好なタービン効率を確認できた
- ・極めて振動の少ないロータが確認できた
- ・吸い込み性能等、機体インターフェースに対して、十分な性能を確認できた
- ・ターボポンプを分解せずに、ポンプ内部の点検が可能なることを実証できた

★ 今後の課題

- ・ヘルスモニタリング（故障検知）に用いる正常運転時/異常発生時データ蓄積についてもエンジンシステム燃焼試験にて継続実施
- ・バランスピストン機能について実環境時（タービンガス温度高）での評価実施
- ・軽量化のための改善
- ・作業性を考慮した計測ポート、点検ポート、分解/組立手順の再検討

● FTP単体試験

★ 現状

- ・FTP単体試験を開始し、順調にデータ取得中