

ターボポンプ解析技術

報告書番号：R22JG3214

利用分野：研究開発

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2022/20703/

● 責任者

清水太郎, 研究開発部門第三研究ユニット

● 問い合わせ先

鶴飼 諭史(ukai.satoshi@jaxa.jp)

● メンバ

雨川 洋章, 大門 優, 福田 太郎, 藤原 大典, 深澤 修, Ashvin Hosangadi, 根岸 秀世, 中島 健賀, 大西 陽一, 大野 真司, 外山 雅士, 鶴飼 諭史, 山本 啓太, Andrea Zambon

● 事業概要

ターボポンプは液体ロケットエンジン開発においてコストや期間, リスクの観点で依然としてボトルネックなコンポーネントである。また, ターボポンプはそれ自体がポンプ, タービン, 軸受, 軸推力バランス機構, シール機構等のサブコンポーネントで構成される複雑なシステムであり, ターボポンプシステム全体を評価できる解析技術は世界的にも存在しない。またサブコンポーネントレベルの数値シミュレーション技術自体も, 予測精度が低いため試験による設計妥当性評価が必須となる。

本研究では, ターボポンプに係る数値シミュレーション技術の予測精度を高めつつ, ターボポンプシステム全体の評価を可能とする解析技術を目指す。その解析技術の活用により, 試験削減・代替を可能として今後のロケットエンジン開発をより低コスト, 短期間で実現します。また, ロケットエンジンのポンプやタービンは, 一般産業界のものより小型で高速回転など極限環境で使われるために効率が低いことが知られている。近年では Additive manufacturing 技術の進展により, 従来では不可能であった形状の製品開発も可能となっており, 本研究で構築するターボポンプ解析技術を活用することで, 革新的な高効率ターボポンプの設計実現を目指す。

参考 URL: <https://stage.tksc.jaxa.jp/jedi/simul/index.html>

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

- ・ JAXA の技術でしか実現できない計算精度, 現象忠実度が高い大規模解析を可能とすること
- ・ JAXA におけるロケット開発の中でタイムリーに解析を実施し, 限られた期間内に結果を多数提示すること
- ・ 機微情報となるロケット関連情報を JAXA 内のみで閉じて扱えること

● 今年度の成果

FY2022 は、特に予測が難しく、かつターボポンプ開発において課題となり得る、ターボポンプ非定常現象に注力して CFD 技術の構築に着手した。

タービンについては、LE-9 の開発課題と認識されたタービinflラッタについての解析技術を取得するため、構造から流体への片方向連成 CFD 技術を試作した。また、タービンに関わる非定常解析の高精度化を目的として、要素試験を実施した上で検証解析を実施した。

ポンプについては、ロケットエンジンの広範囲作動で問題となり得るキャビテーション不安定現象に対して、CFD 結果を活用して(図1)キャビテーションサージの1次元予測モデルを構築した。その結果、サージ周波数が精度良く予測できることを確認した(図2)。また、より正確に非定常現象を捉える技術を確認するため、大規模詳細ポンプ CFD 解析の試行を開始した。

ここで構築された解析技術は、H3 ロケット 1 段エンジン LE-9 や CALLISTO RSR2 エンジンのターボポンプ開発等に活用されている。

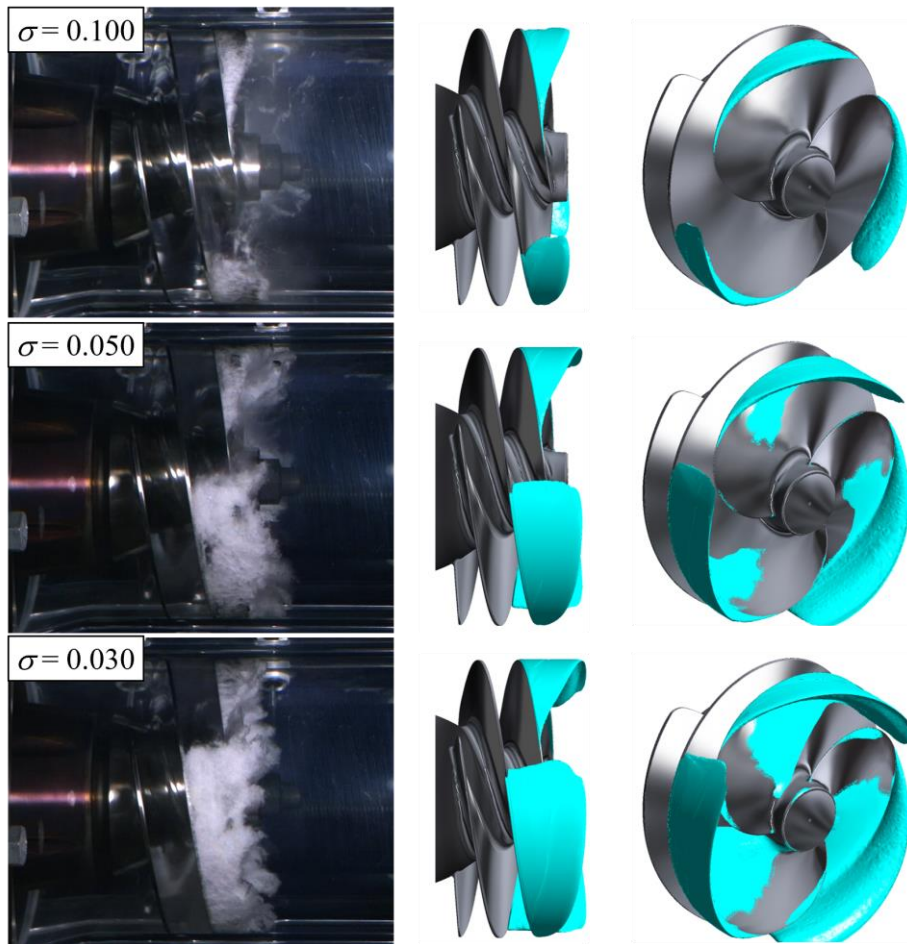


図1: キャビテーションの可視化結果と CFD のキャビテーション領域の比較(ボイド率 0.1 の等値面)

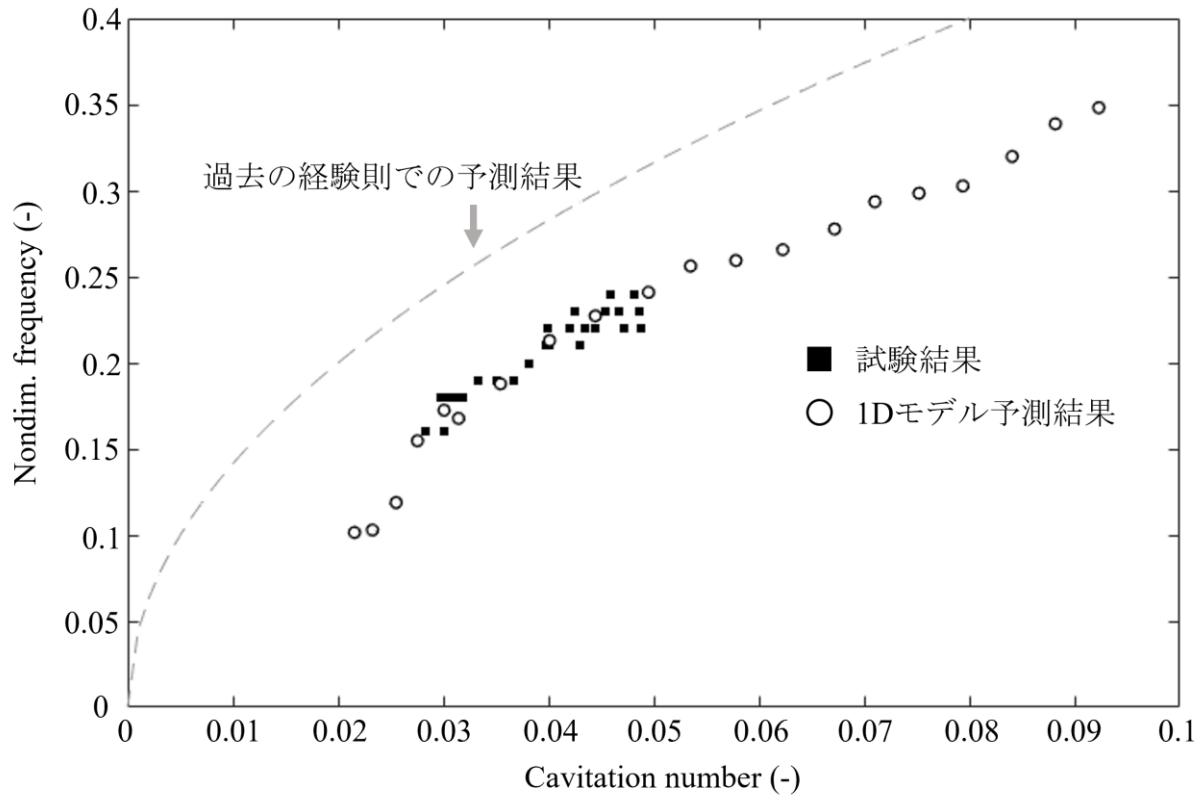


図 2: キャビテーションサージの周波数予測結果の比較

● 成果の公表

-査読付き論文

K. Yamamoto, S. Ukai, O. Fukasawa, T. Fukuda, and H. Negishi, "NUMERICAL INVESTIGATION AT NOMINAL AND OFF-DESIGN OPERATIONS OF A SUPERSONIC TURBINE FOR LIQUID ROCKET ENGINES WITH FULL AND PARTIAL ADMISSION NOZZLES", 2022, ASME TurboExpo 2022, GT2022-82348

DOI: <https://doi.org/10.1115/GT2022-82348>

-招待講演

山本啓太, "CRUNCH CFD によるロケットエンジン用超音速タービンの数値解析事例紹介", 2022, VINAS Online Users Conference 2022

URL: <https://www.vinas.com/ugm2022/program.html#day2>

-口頭発表

山本啓太, 鵜飼諭史, 福田太郎, 川崎聡, 根岸秀世 "インデューサに生じるキャビテーションサージ予測技術の研究 -RANS 解析によるキャビテーション特性パラメータの同定と課題-", 2022, 第 87 回ターボ機械講演会

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	FLAT
プロセス並列数	4800 - 20160
1 ケースあたりの経過時間	300 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 1.93

内訳

計算資源		
計算システム名	CPU 利用量(コア・時)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	50,004,991.44	2.18
TOKI-ST	166,971.54	0.17
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	2.84	0.00
TOKI-TST	502,582.03	13.24
TOKI-TGP	0.00	0.00
TOKI-TLM	1,126.67	2.34

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	492.46	0.45
/data 及び/data2	136,411.36	1.05
/ssd	4,320.07	0.60

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	20.01	0.09

※1 総資源に占める利用割合 : 3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

ISV ソフトウェア資源		
	利用量(時)	資源の利用割合※2 (%)
ISV ソフトウェア(合計)	2,869.51	2.00

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合