

## 内部流・燃焼・回転機械解析技術

報告書番号：R17JG3212

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4316/>

### ● 責任者

嶋英志 研究開発部門第三研究ユニット

### ● 問い合わせ先

清水太郎 shimizu.taro@jaxa.jp

### ● メンバ

雨川洋章,伊藤孝行,高木亮治,堤誠司,伊藤浩之,清水太郎,青野淳也,芳賀臣紀,森井雄飛,安部賢治, 寛雅行,本江幹朗,菱田学,根岸秀世,大西陽一,西元美希,大門優,Ashvin Hosangadi,猪野正輝,深澤修, 大野真司, Andrea Zambon,中島健賀,秋村友香,雨宮孝,藤原大典,谷洋海,飯村拓哉,藤本圭一郎, 王丸哲文,小谷秋子,福田太郎,松本万有,外山雅士,石橋克之,西村慧,阿部諭,武藤大貴,菅野望

### ● 事業概要

液体ロケットエンジン内の非定常現象を捉えるため,燃焼 LES 解析を実施し,サブスケール試験との比較検証により評価ツールを完成させる.またスラストについては,噴霧燃焼形態を模擬できる解析コードを構築し,まずは定常性能の予測を目指す.

[http://www.kenkai.jaxa.jp/research\\_fy27/jedi/jedi-index.html](http://www.kenkai.jaxa.jp/research_fy27/jedi/jedi-index.html)

### ● JSS2 利用の理由

燃焼室内の流れ場は乱流状態であつ,非定常な特性を有するため,LES 解析が必須となっている.本検証対象でも数千万セルの格子に対して,数百万ステップ程度の解析計算が必要であるため,スパコンの利用なしには到底目標を達成できない.

### ● 今年度の成果

- ① 噴霧燃焼に対する数値解析コードの開発と検証を目的として,エタノール噴霧燃焼バーナの LES 解析を行った.対象のバーナ直径は 10.5 mm であり,3次元の解析を行いモデルのセル数は約 1500 万個である.有限体積法で空間を離散化し LES による解析を行った.燃焼反応のシミュレートには 50 化学種 258 反応式の詳細反応モデルを用いた.その際,ERENA 法により時間積分を行った.図 1 に温度分布,図 2 に軸方向速度分布を示す.図に示すように,解析コードが定性的に噴霧燃焼を再現できていることを確認した.
- ② 液体ロケットエンジン燃焼室の設計開発においては,熱負荷による燃焼室壁面の損傷防止や寿命評価の観点から,壁面熱流束を高精度で予測できる数値シミュレーション技術が求められている.

本研究では LES 解析による燃焼室壁面熱流束の予測に向けて、壁面モデルを使用した LES (WMLES) によるチャンネル乱流熱伝達の数値解析を行った(図 3)。WMLES により、実機レベルのレイノルズ数である 100,000 までの広い範囲で速度場や温度場をよく再現することができた。また格子点数はおよそ 400 万点であり、通常の LES より粗い格子解像度であるにも関わらず、WMLES により乱流熱伝達の予測が可能であることを示した。

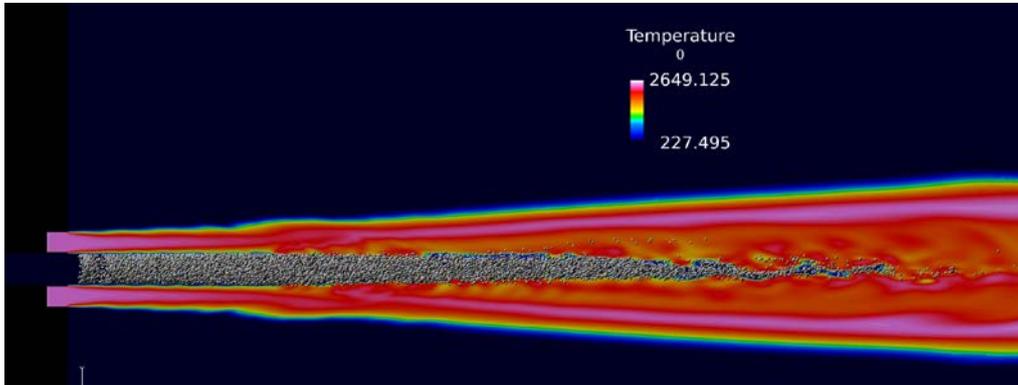


図 1 噴霧燃焼 LES,温度分布

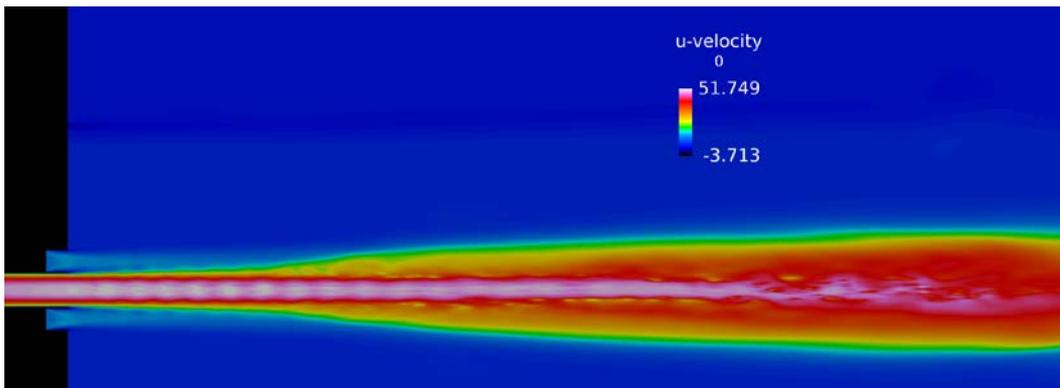


図 2 噴霧燃焼 LES,軸方向速度分布

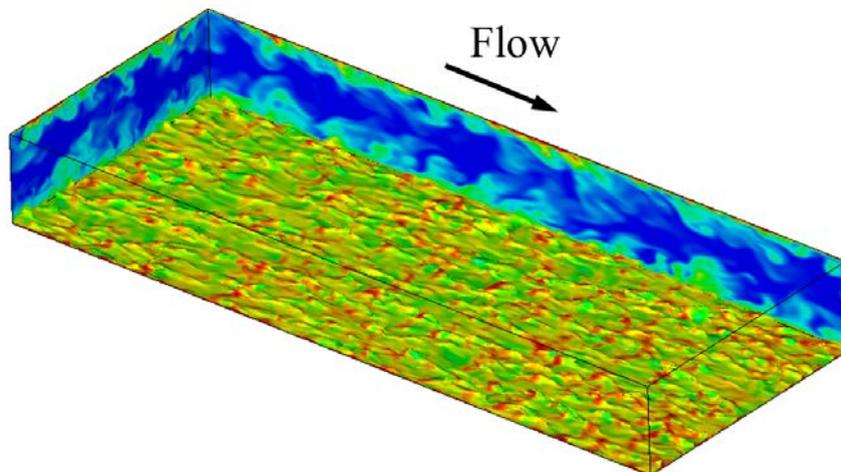


図 3 熱伝達のあるチャンネル乱流の WMLES. 速度の等値面 (温度で色づけ) を示す。

## ● 成果の公表

### ● 査読付論文

- 1) 根岸ら, "圧縮性 URANS 解析によるロケット液体水素ポンプオープンインペラーの流動特性評価", ターボ機械, 2018年6月号(予定).

### ● 口頭発表

- 1) 本江, "同軸バーナによる噴霧燃焼に対する詳細反応機構を用いた燃焼シミュレーション", 日本流体力学会 年会 2017.
- 2) Muto, D., et al., "Preliminary Study on Wall-modeled Large Eddy Simulation of Turbulent Heat Transfer for Liquid Rocket Engines", 7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences, 649, 2017.
- 3) Negishi, H., et al., "Numerical Analysis of Unshrouded Impeller Flowfield in the LE-X Liquid Hydrogen Pump", 53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA paper 2017-4930, 2017.
- 4) 根岸ら, "圧縮性 URANS 解析によるロケット液体水素ポンプオープンインペラーの流動特性評価", 第78回ターボ機械協会富山講演会, 2017.
- 5) 雨川ら, "粒子法によるグリースマクロ流れ解析の基礎検討 -グリースダム崩壊問題の実験と解析検証-", トライボロジー会議 2017年秋, 2017.
- 6) 根岸ら, "宇宙機の長寿命化に向けた転がり玉軸受内グリース流動数値解析技術構築に向けた展望", 第31回数値流体力学シンポジウム, E10-3, 2017.
- 7) Daimon, Y., et al., "Heat Flux Estimation on a Chamber Wall of GH2/GOX and GCH4/GOX Single Element Rocket Combustors", 31st International Symposium on Space Technology and Science, 2017.
- 8) Daimon, Y., et al., "Numerical Investigation on Effects of Recess Variation upon a GCH4/GOX Shear Coaxial Combustion Chamber", 31st International Symposium on Space Technology and Science, 3-9 2017.
- 9) Daimon, Y., et al., "Film Cooling Performance Analysis of a Full-scale Liquid Rocket Engine Combustion Chamber based on a Coupled Combustion and Heat Transfer Simulation", AIAA Paper, 2017-4919, 2017.
- 10) Daimon, Y., et al., "Combustion Modeling Study for a GOX-GCH4 Multi-element Combustion Chamber", Proceedings of the 2017 Summer Program, SFB TRR40, 2017.
- 11) 清水ら, "LESによる液体ロケット水素ミキサー特性評価とその課題", 第31回数値流体力学シンポジウム, E10-2, 2017.

### ● 招待講演

- 1) Negishi, H., "Numerical Modeling of Liquid Rocket Turbopumps," The National DFG SFB TRR40 project, Graduate Program on Launchers and Propulsion, University of Stuttgart, 2018.
- 2) Daimon, Y., "Numerical and Experimental Study on Small Thruster", The National DFG SFB TRR40 project, Graduate Program on Launchers and Propulsion, University of Stuttgart, 2018.
- 3) Daimon, Y., "GCH4/GO2 Rocket Combustor Simulation -Methane vs Hydrogen, Single vs Multi Element-", DLR Institute of Combustion Technology Seminar, 2018.

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	1280 - 2560
1 ケースあたりの経過時間	500.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 6.10

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	49,901,475.03	6.57
SORA-PP	88,645.47	1.11
SORA-LM	709.56	0.37
SORA-TPP	85,997.68	9.60

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	6,431.26	4.46
/data	107,461.81	1.99
/ltmp	18,249.37	1.38

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	122.73	5.28

※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