

燃焼解析技術

報告書番号：R19JG3212

利用分野：研究開発

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2019/11471/

● 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

芳賀 臣紀, 研究開発部門 第三研究ユニット (haga.takanori@jaxa.jp)

● メンバ

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, 笥 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, 福地 健, 猪野 正輝, 深澤 修, 大野 真司, Andrea Zambon, 中島 健賀, 雨宮 孝, 梅村 悠, 藤原 大典, 谷 洋海, 藤本 圭一郎, 王丸 哲文, 福田 太郎, 外山 雅士, 西村 慧, 武藤 大貴, 菅野 望, 渡辺 毅

● 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.

参考 URL: <http://www.kenkai.jaxa.jp/research/software/software.html>

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

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. 実スケール燃焼室数値シミュレーションの実現に向けた要素技術の開発の一環で, Large eddy simulation(LES)による酸素/水素サブスケール燃焼室の数値解析を実施した. 計算には JAXA 内製の CFD ソルバである LS-FLOW を使用した. 壁面近傍流れは, 開発した燃焼場の壁面モデルを適用することで, 既存の LES 手法より 1000 倍以上の計算コストの削減が可能となる. 燃焼モデルとして非断熱 flamelet progress variable 法を採用した. 格子点数は約 8300 万点である. 図 1 に瞬間の温度分布を示す. 本解析により, 燃料と酸化剤の混合に伴う非定常な乱流燃焼場の形成や, 火炎と壁面の相互作用を捉えている.

2. 高精度かつ高効率な燃焼 LES を実現するため, 流束再構築法に基づく高次精度・非構造格子ソル

LS-FLOW-HO を開発した。乱流の解像度を維持しながら多成分・熱的完全気体の不連続界面を安定に捉えるために局所ラプラシアン人工拡散を導入した。燃焼モデルには多数化学種を効率的に扱うことができる Flamelet モデルを採用した。メタン/酸素シングルインジェクター燃焼器の計算結果を図2に示す。計算セル数は110,496であり、自由度は2,983,392(p2, 3次精度), 7,071,744(p3, 4次精度)である。せん断層内に約3セルと粗い格子でも4次精度では乱れの発達が捉えられている。並列化手法はMPI/OpenMPハイブリッドである。FX100の2048コア(144分割×8スレッド)を利用し、計算時間は約72時間である。今後さらに高速化チューニングを行い、OpenACCによってGPUにも対応予定である。



図1: 酸素/水素サブスケール燃焼室の瞬時の温度分布。

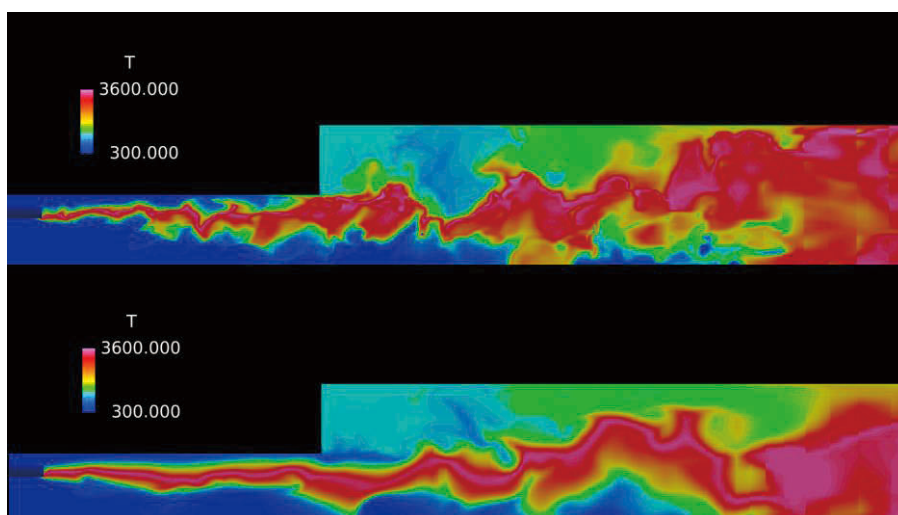


図2: インジェクター(リセス12mm)近傍の温度分布の拡大図。(上:p3, 4次精度, 下:p2, 3次精度)

● 成果の公表

-査読付き論文

Muto, D., Daimon, Y., Shimizu, T., Negishi, H., An equilibrium wall model for reacting turbulent flows with heat transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 141, 2019, 1187-1195, 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.101.

-招待講演

Haga, T., Shimizu, T., Toward high-fidelity large-eddy simulation of liquid rocket combustors using

flux-reconstruction method, Japan-Korea CFD workshop 2019.

-口頭発表

1) Haga, T., Muto, D., Daimon, Y., Negishi, H., Shimizu, T., Haidn, O., Combustion modeling study for GCH4/LOX and GCH4/GOX single element combustion chambers, Sonderforschungsbereich/Transregio 40 - Annual Report, 2019.

2) Muto, D., Daimon, Y., Shimizu, T., Negishi, H., Wall-modeled large eddy simulation for predicting wall heat flux in a rocket combustion chamber, 8th EUCASS, 2019, 10.13009/EUCASS2019-252.

● 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	OpenMP
プロセス並列数	144 - 3840
1 ケースあたりの経過時間	480 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 2.26

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※2 (%)
SORA-MA	19,154,883.89	2.33
SORA-PP	193,720.34	1.25
SORA-LM	13,944.48	5.82
SORA-TPP	476.92	0.03

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	8,917.82	7.43
/data	116,157.45	1.99
/ltmp	19,652.93	1.67

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	129.86	3.27

※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