

将来輸送システムの研究(空気吸い込み式輸送システム)

報告書番号：R18JG3205

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2018/9011/>

● 責任者

沖田耕一，研究開発部門第四研究ユニット

● 問い合わせ先

小寺 正敏(kodera.masatoshi@jaxa.jp)

● メンバ

高橋 政浩，小寺 正敏，福井 正明，宗像 利彦，高橋 正晴，富岡 定毅，宮浦 拓人，荒川 拓也，西口 拓伸，栗原 航，林 一成

● 事業概要

近年，宇宙輸送システムの大幅な低コスト化のために，ロケットの再使用化が考えられている．しかしながら構造寿命を長くするために比較的低いエンジン出力で作動させる必要があり，打ち上げ能力の低下につながる．したがって，それを補う手段として空気吸込み式エンジンであるスクラムジェット及びロケット/スクラム複合サイクルエンジンが有望視されている．大気中の空気を酸化剤として利用することにより高効率となり，再使用化でも打ち上げ能力の維持向上が期待できる．本事業では，同エンジンの実用化に向け鍵となる技術の研究開発を行う．

● JSS2 利用の理由

地上実験によるエンジン設計の問題点として，以下の点が挙げられる．1)離陸から超高速域までの様々な気流条件を再現するには限界がある．2)測定値が限られエンジン内部の複雑な 3 次元流れ構造を把握できない．3)時間・費用が限られるためエンジン流路形状を容易に変更できない．したがって設計ツールとして 3 次元 CFD の活用が必要不可欠であり，数多くの CFD を効率良く実行するためにスパコンが必要となる．

● 今年度の成果

課題 1:水素燃料スクラムジェットエンジン E1 のマッハ 6 燃焼試験において見られた空気汚染効果，即ち水蒸気を含む気流条件(M6V)における推力性能が水蒸気を含まない気流条件(M6S)と比べて低くなった現象の原因を探るため，三次元 RANS 解析を実施した．(図 1)

課題 2:炭化水素燃料スクラムジェット燃焼 CFD の検証のため, エチレンを燃料としたスクラムジェット燃焼器試験に対して燃焼 CFD を実施し, 燃焼器出口の燃焼ガス組成分布について, CFD とガス採取結果との比較を行った. CFD については, エチレン燃焼反応機構の解析結果に対する影響を調べるため, 31 化学種の Skeletal 反応機構と, 7 化学種のみ考慮した 3 段総括反応機構を用いた解析結果の比較を行った. また, 乱流拡散混合の影響を調べるため, 乱流 Schmidt 数(ScT)を 0.3 および 0.9 とした場合の解析結果を比較した. 今回の超音速燃焼モードの燃焼器流れでは, 反応機構の違いによる差は小さく, 乱流 Schmidt 数の影響の方が顕著であった. また, 乱流拡散混合が強く働く ScT=0.3 の解析結果が, ScT=0.9 の結果より, ガス採取結果とよく一致した. (図 2)

課題 3:炭化水素燃料の熱分解を利用した冷却能力を予測する手法を CFD により構築する. 円管でのドデカン加熱実験に合わせた二次元軸対称の分解反応を含む CFD を実施した. 分解反応モデルを工夫することで, 分解割合に対する吸熱量の予測を良い精度で行えた. 一方で分解率の予測は実験より大幅に低く予測され, 物性値の扱いに問題がある可能性を示した. (図 3)

課題 4:デュアルモード燃焼器の推力性能を飛行速度に応じて最適化するツールとして, CFD による比較的計算負荷の低い性能予測手法の構築を図った. 境界条件等の工夫で RANS 法による予測が出来る見通しを得た. 一方で, 剥離の進行度合いについての精度不足が観測された. (図 4)

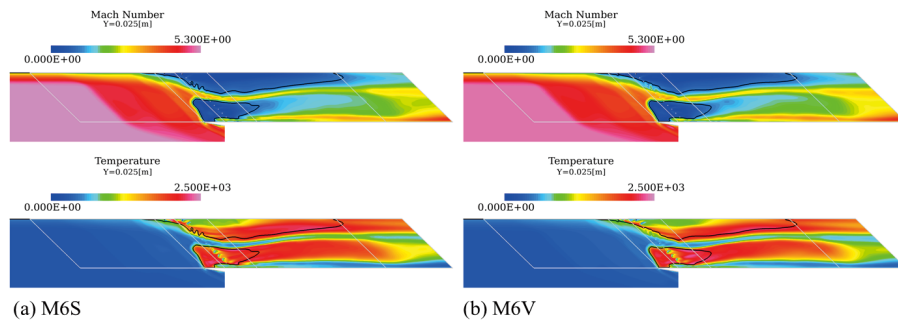


図 1: M6S 及び M6V 条件による比較:マッハ数分布(上)及び温度分布(下)

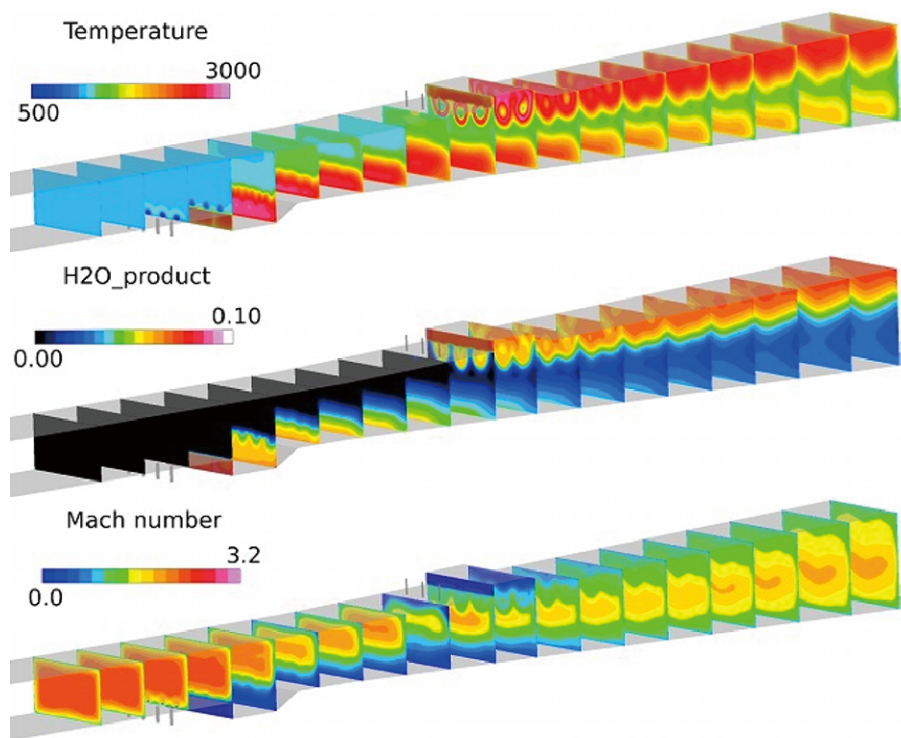


図 2: エチレン燃料スクラムジェット燃焼器流れ場の解析結果;静温(上段), 燃焼生成された水蒸気の質量分率(中段), マッハ数(下段)の断面分布

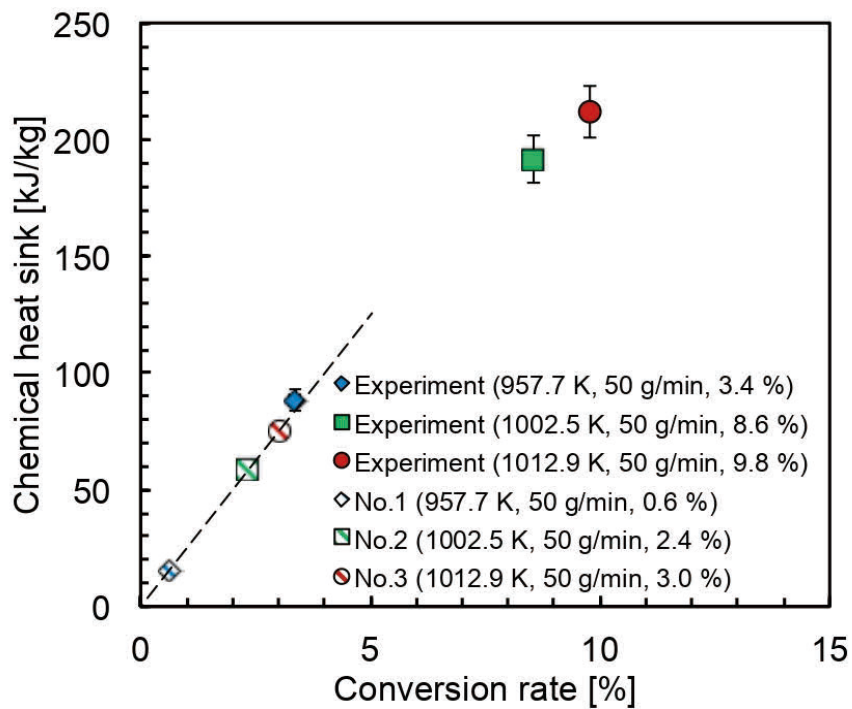


図 3: 分解割合に対する吸熱量の CFD 予測及び実験値

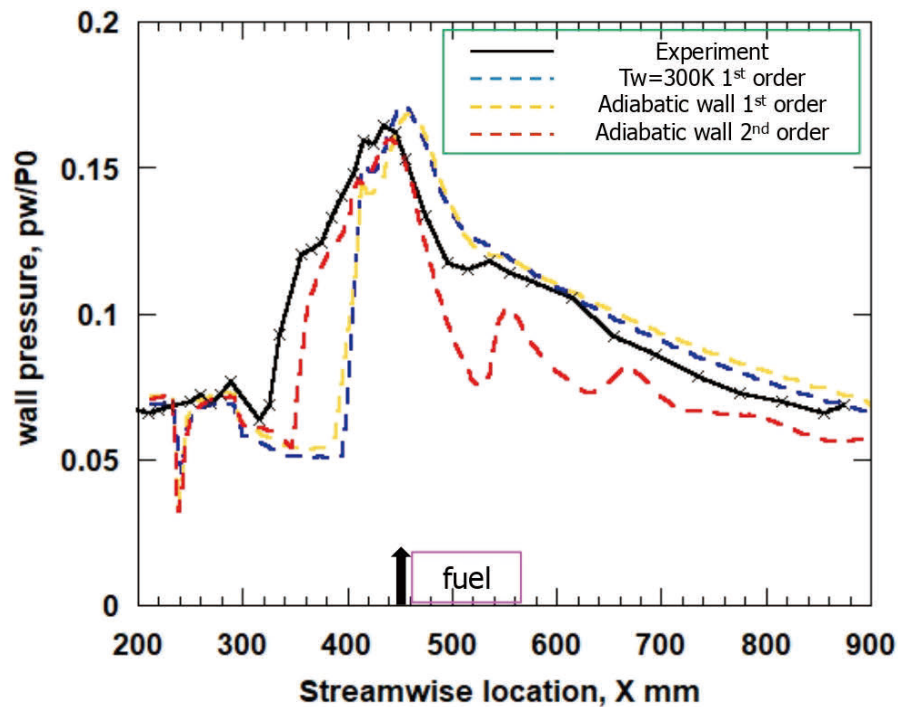


図 4: 燃焼器壁圧分布に関する CFD と実験との比較

● 成果の公表

-査読なし論文

- 1) 小寺, 富岡, "スクラムジェットエンジン性能に対する空気汚染効果の検討", 第 59 回航空原動機・宇宙推進講演会講演集, 2019 年.
- 2) 高橋, 野島, 清水, 青野, 宗像, "LS-FLOW によるエチレン燃料スクラムジェット燃焼器流れの解析(燃焼ガス組成の比較)," 第 50 回流体力学講演会/第 36 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム講演集, 講演 3C11, 2018 年.および, 同論文集, pp.159-164, JAXA-SP-18-005, 2019 年.
- 3) 西口, 小寺, 富岡, "3 次元 RANS シミュレーションによるデュアルモード燃焼器の性能評価", 日本航空宇宙学会北部支部 2019 年講演会講演論文集, 2019 年.
- 4) 宮浦, 大門, 富岡, "超臨界状態における高分子炭化水素燃料の熱分解吸熱特性評価に関する研究", 2018 年度日本機械学会年次大会講演論文集, 2018.

-口頭発表

- 1) 小寺, 富岡, "スクラムジェットエンジン性能に対する空気汚染効果の検討", 第 59 回航空原動機・宇宙推進講演会, 2019 年.
- 2) 高橋, 野島, 清水, 青野, 宗像, "LS-FLOW によるエチレン燃料スクラムジェット燃焼器流れの解析(燃焼ガス組成の比較)," 第 50 回流体力学講演会/第 36 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 講演 3C11, 2018 年.
- 3) 西口, 小寺, 富岡, "3 次元 RANS シミュレーションによるデュアルモード燃焼器の性能評価", 日本航空宇宙学会北部支部 2019 年講演会, 2019 年.
- 4) 宮浦, 大門, 富岡, "超臨界状態における高分子炭化水素燃料の熱分解吸熱特性評価に関する研究", 2018 年度日本機械学会年次大会, 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	非該当
プロセス並列数	640 - 1280
1 ケースあたりの経過時間	400 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 2.09

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	19,067,821.96	2.33
SORA-PP	84,048.53	0.67
SORA-LM	674.69	0.31
SORA-TPP	0.00	0.00

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	158.64	0.16
/data	3,899.67	0.07
/ltmp	9,814.46	0.84

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	1.50	0.05

※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