

将来輸送技術の研究(エンジン流路形状の研究)

報告書番号：R18JG3104

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2018/9007/>

● 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

宇宙航空研究開発機構研究開発部門第四研究ユニット 佐藤 茂(sato.shigeru@jaxa.jp)

● メンバ

佐藤 茂，宗像 利彦，福井 正明，高橋 正晴

● 事業概要

再使用型宇宙推進機関であるスクラムジェットエンジンに就いて，その内部形状がエンジン性能に及ぼす影響を CFD 援用にて空気力学的に解明し，同エンジンの設計に資すること。

角田宇宙センターに蓄積されている豊富なエンジン試験結果からエンジン性能向上に繋がる因子を抽出するためエンジン試験結果と対比する CFD を行い，またエンジン性能向上に繋がるものとして考案されたエンジン形態を CFD で試すこと。

参考 URL: <https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/877173>

● JSS2 利用の理由

角田宇宙センターではスクラムジェットエンジンの研究を進めており，ラムジェットエンジン試験設備(RJTF)を用いてエンジン性能試験を多数重ねて来ている。その過程では，特に飛行マッハ 6 条件下ではエンジンの内部形状の一部の違いがエンジン性能に大きな影響を与えることが分かっている。

エンジンの主要素であるインレット，分離部，ストラット等の内部形状の違いがエンジン性能にどのように影響するのか，当角田センターに蓄積されている豊富な実験データに基づき各形態のシミュレーションを CFD にて遂行すると共に，また試験未実施の形態についてもシミュレーションを行っている。

エンジン内部形状の空気力学的効果を CFD 援用により追求し，実験データとの対比を重ね，空力的効果を体系化し，スクラムジェットエンジンの設計の判断材料を構築する。

● 今年度の成果

角田宇宙センターに設置されているラムジェット試験設備(RJTF)にてエンジン試験実施済み形態と対比すべく、改良型のエンジン形態の仮想実験を進めている。この形態は、スクラムエンジン流路の中央に設置される支柱(ストラット)の後縁を絞り込み且つ切り落としたポートテイル形のもので、エンジン試験実施済みのエンジンと基本寸法は同一ながらエンジン推力性能の改善を図ったものである。図1にエンジンの概要を、図2には各形態を示す。この両者に就いてエンジン内部諸量の違いを比較した。比較は3次元燃焼条件にて行い、エンジン内の衝撃波等の影響を調べることで行った。

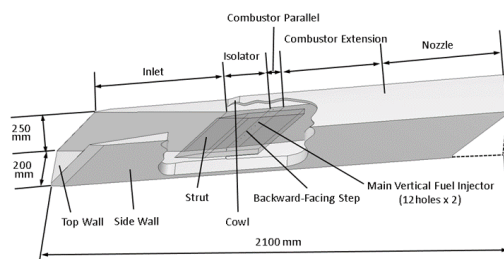
計算には汎用熱流体解析ソルバ Fluent を用いた。最少格子幅はストラット前縁周辺等の 0.1mm である。計算ではエンジン左右中央断面を対称面とする右舷半裁を対象とし、格子数は 503 万、対流項評価の数値流束は AUSM+、制限関数は二次精度、時間積分は陽的解法、乱流モデルは k- ω である。壁面は断熱壁と仮定した。気流条件は、流入マッハ数 5.3 等 RJTF エンジン試験条件に揃えている。機体下面境界層に相当する設備境界層も込みである。燃焼計算に関しては、反応モデルは Petersen and Hanson の論文*)を元に水素-酸素の反応式を Fluent に読み込ませたものを用いている。燃焼モデルはスーパーコンピュータ"JSS2"を用いた。角田からは遠隔利用である。

図3に燃焼条件下の燃料当量比分布を示す。図3aに5/5高さストラット形態、図3bにはポートテイル形ストラット形態を示す。何れもエンジン出口における値を等高線で示したものである。5/5高さストラット形態では全体的傾向は把握できているが、計算値において両側板の天板寄りに当量比が高く張り出した位置が有り、計測値よりも高い値となっている。一方、ポートテイル形ストラット形態では5/5高さストラット形態よりも当量比の拡散が進んでおり、当量比 1.0 を超える領域は少ない。この両者の比較で言えば、ポートテイル形ストラット形態の方は相対的に燃料をエンジン断面内に広げる効果を有していることが確認できる。

図4では上記に対比し燃焼効率分布を示す。図4aに5/5高さストラット形態、図4bにはポートテイル形ストラット形態を示す。何れもエンジン出口における値を等高線で示したものである。5/5高さストラット形態を計測値と対比すると、エンジン断面中程で当量比が 0.8 を下回る所が生じており、計測値を再現し切れていないことが分かる。一方、ポートテイル形ストラット形態では5/5高さストラット形態よりも当量比の拡散が進んだこともあり、全体的に均された高効率分布となっている。CFDの比較からすれば、このポートテイル形ストラット形態の方が高性能となり得る。

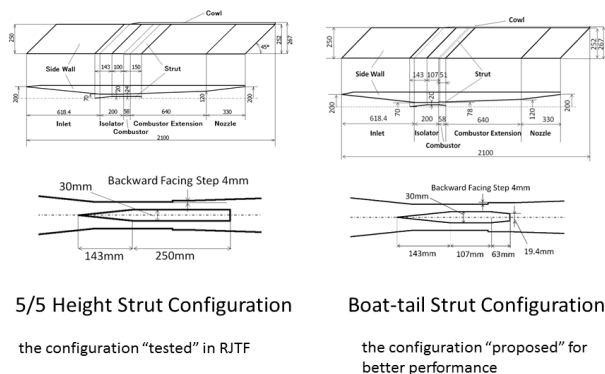
今後とも、計算精度の向上を図りつつCFDによる検討を進め、推力発生の源泉を見極める必要が有る。その源泉を見極めることでエンジンの性能確保の方法論を立てることが可能となる。

*)Petersen, E.L. and Hanson, R.K., Journal of Propulsion & Power, Vol. 15, No. 4, July-August 1999.



- Rectangular shape
- 45 degrees swept back side wall
- Backward-facing step= Combustor entrance
- 12 main vertical fuel injectors in 32mm downstream of the step

図 1: 供試体エンジンの概要 試験台には天地逆に設置, 5/5 高さストラット
ト装備した姿



5/5 Height Strut Configuration

the configuration "tested" in RJTF

Boat-tail Strut Configuration

the configuration "proposed" for better performance

図 2: CFD 比較向けストラット二形態 a)5/5 高さストラット形態は試験
済み形態, b)ボートテイル形ストラット形態は改良型仮想形態(単位:mm)

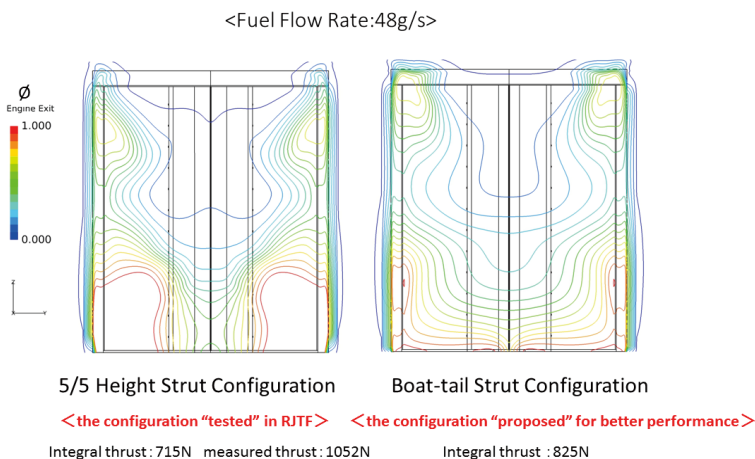


図 3: 燃焼条件における当量比 ϕ 分布の計算値

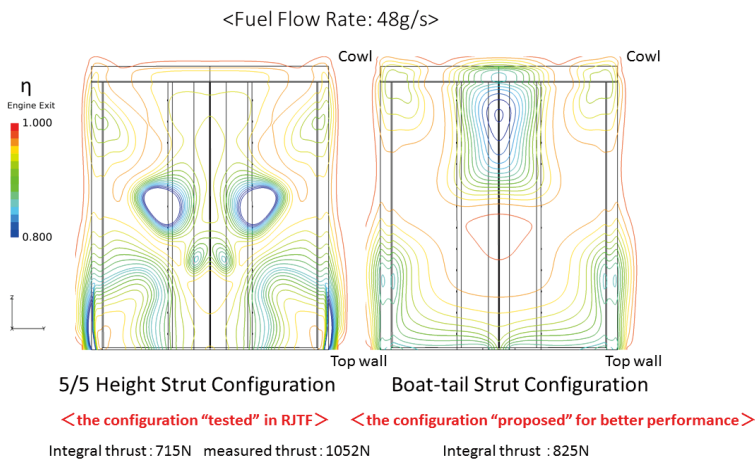


図 4: 燃焼条件における燃焼効率 η 分布の計算値

● 成果の公表

-査読なし論文

1)佐藤 茂, 福井正明, 宗像利彦, 渡邊孝宏, 高橋正晴, スクラムジェットエンジン性能向上に関する試み—燃焼状態の再現, 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(平成 30 年 7 月宮崎)論文集, 宇宙航空技術研究開発機構特別資料, JAXA-SP-18-005, 2019 年 2 月

-口頭発表

1)佐藤 茂, 福井正明, 宗像利彦, 渡邊孝宏, 高橋正晴, スクラムジェットエンジン性能向上に関する試み—燃焼状態の再現, 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, 平成 30 年 7 月宮崎

2)佐藤 茂, 福井正明, 宗像利彦, 渡邊孝宏, 高橋正晴, スクラムジェットエンジン内の燃焼—衝撃波と燃料当量比分布, 平成 30 年度衝撃波シンポジウム, 平成 31 年 3 月横浜

3)高橋英美, 宗像利彦, 佐藤 茂, 様々な飛行条件下における極超音速機外部ノズルの性能評価, 日本航空宇宙学会北部支部 2019 年講演会及び第 20 回再使用型宇宙推進系シンポジウム, 平成 31 年 3 月, 角田

● JSS2 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	熱流体解析汎用ソフト FLUENT 内部の並列処理に依拠
スレッド並列手法	熱流体解析汎用ソフト FLUENT 内部の並列処理に依拠
プロセス並列数	4 - 8
1 ケースあたりの経過時間	720 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.00

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	0.00	0.00
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	7.38	0.00
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	24.25	0.03
/data	246.18	0.00
/ltmp	1,432.29	0.12

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	0.36	0.01

※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