

平成16年度地球シミュレータ共同プロジェクト利用報告会

# ロケットエンジン内部流れの シミュレーション

2005年1月8日

宇宙航空研究開発機構

# 研究目的

---



## 目的

流体シミュレーション技術を開発・応用し、国産ロケット(H-IIA)の信頼性向上および将来宇宙輸送システムの開発に資する

## 概要

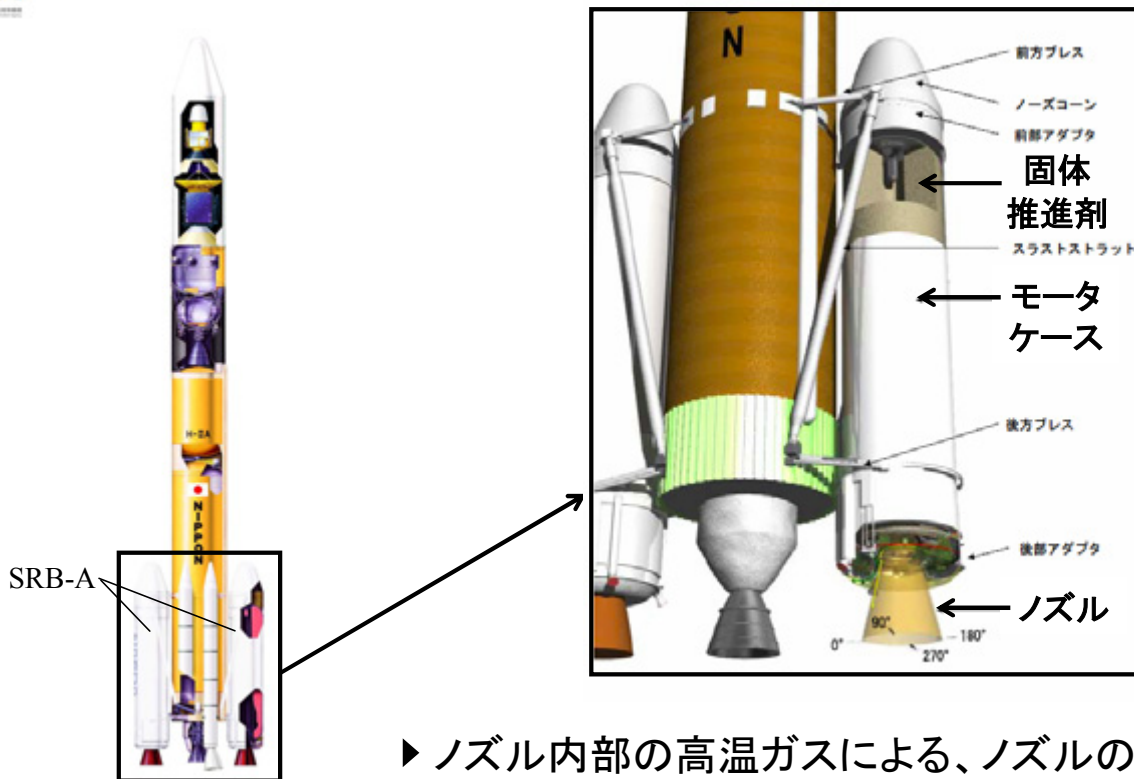
主要エンジン要素(燃焼器系・供給器系)で発生している諸問題(ノズル横力・ターボポンプ内過大圧力振動・燃焼振動)を再現できるCFDコードを開発し、概念設計、システム評価、不具合対策等に再使用することで、試作・試験のサイクルを短くする



実機開発で利用できるCFDコードの開発と実行



# H-IIAロケット6号機の不具合解析



SRB-A

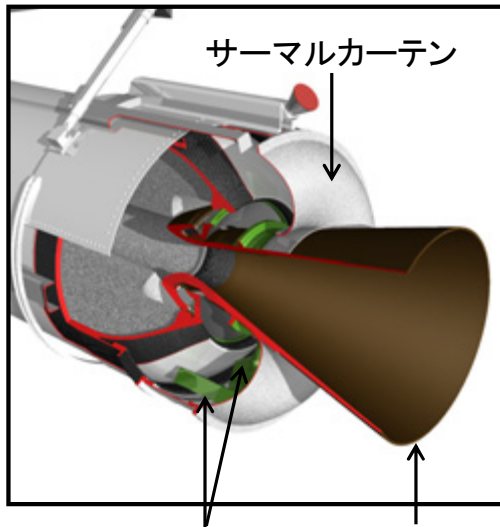
H-IIAロケット

- ▶ ノズル内部の高温ガスによる、ノズルの侵食作用 (erosion)により、複合材壁面を破孔
- ▶ 後部アダプタ内に漏れ出した高温ガスが、前方プレス制御用の導爆線を溶解と推測



# 高温燃焼ガスリークのシミュレーション

- ・破孔位置と破孔面積の特定
- ・非構造格子法(東北大TASコードベース)



電動アクチュエータ、駆動用熱電池、コントローラなど



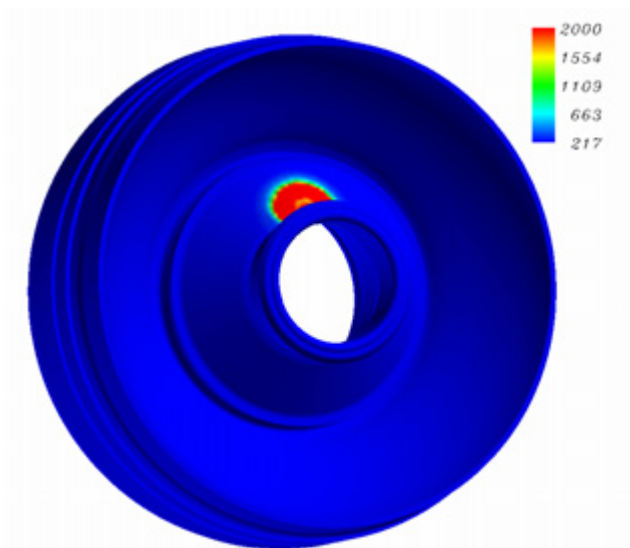
燃焼ガスの質量分率等値面(0.05)  
(実時間で1000msecの非定常計算)



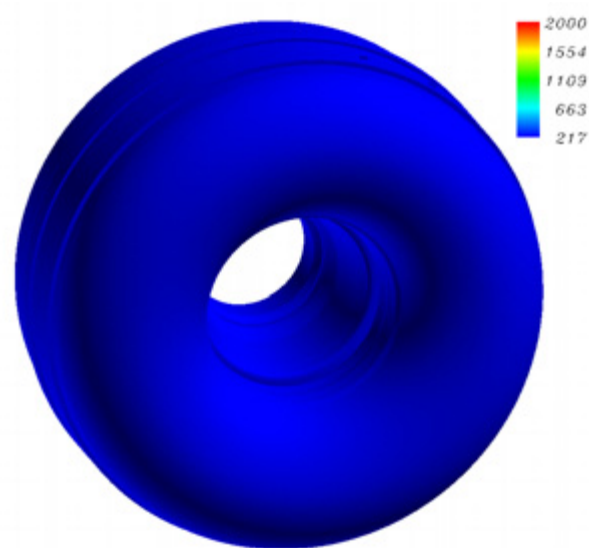
# 高温燃焼ガスリークのシミュレーション

壁温分布(単位:K)

上流から見た図



下流から見た図



システムトンネル近傍の  
導爆線への加熱率を評価



温度の時間履歴をフライトデータと比較  
ノズル部からの漏洩であることを立証



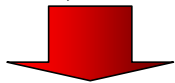
# 高レイノルズ数平行平板間乱流

- ロケットエンジン内部流れの計算に用いる粗視化モデル
  - 壁面と乱流構造, 高レイノルズ数, 化学反応, 圧縮性...

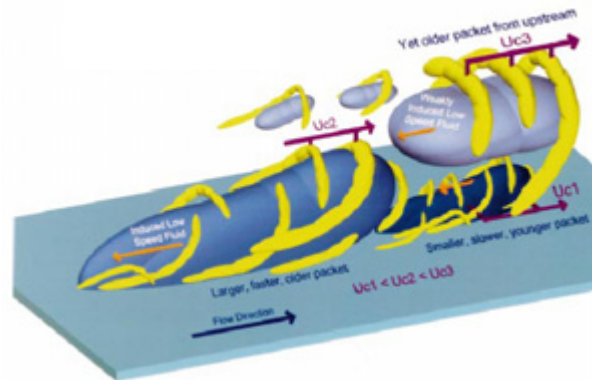
## 高レイノルズ数壁乱流

- 乱流準秩序構造のダイナミクスの解明
  - 壁近傍の乱流準秩序構造
  - 壁遠方における大規模構造
  - 構造間相互作用

- データベース

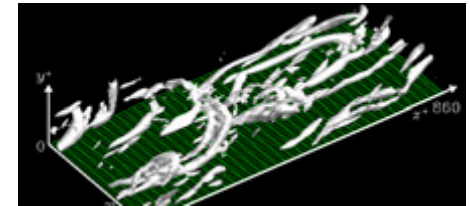


粗視化モデル  
構築

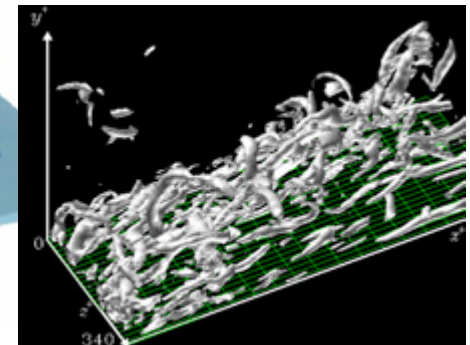


(Adrian *et al.*, 2000)

低レイノルズ数



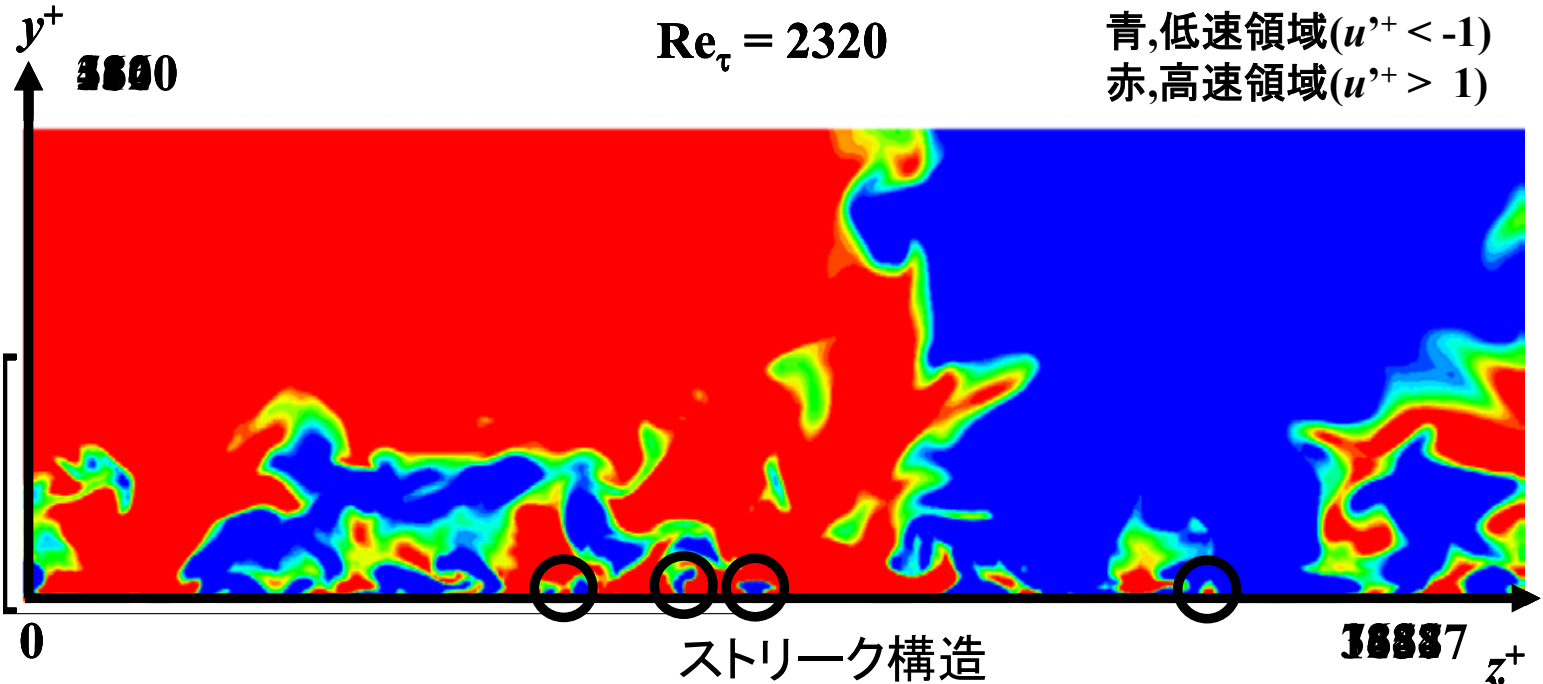
高レイノルズ数





# 新しい乱流構造のダイナミクス

- 大規模構造...領域中央から壁近傍( $y^+ \sim 30$ )まで存在  
→ 壁近傍への影響大
- ストリーク構造(低Re数で特徴的な乱流構造)...壁近傍( $y^+ < 30$ )のみに存在



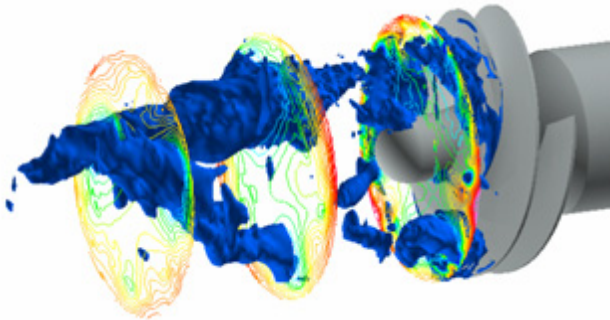


## まとめ(その1)

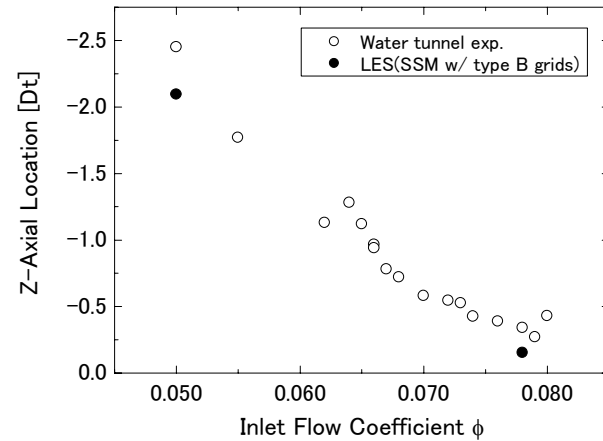
---

- ▶ H-II A6号機の不具合原因と推測されているSRB-Aについて、高温燃焼リークガスの挙動を、これまでに構築した非構造格子法コード(TASコード)を用い迅速に解析することで、打ち上げ再開に向け非常に有用な結果が得られた。
- ▶ 一方、高レイノルズ数平行平板間乱流のDNSを実施した。新しい乱流準秩序構造のダイナミクスが明らかになってくる等、ロケットエンジン内部流れの粗視化モデル構築に必要なデータベースの構築に向けて研究を進めた。
- ▶ FY17は、ロケットエンジン燃焼器系のシミュレーション、及び引き続き粗視化モデル構築に向けた解析を重点的に実施する。

# Validation 1: インデューサ内部流れ解析



瞬時場の逆流分布

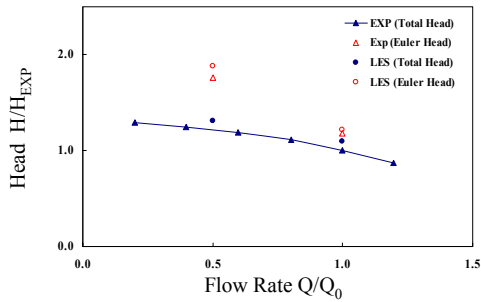


逆流の長さの実験値との比較

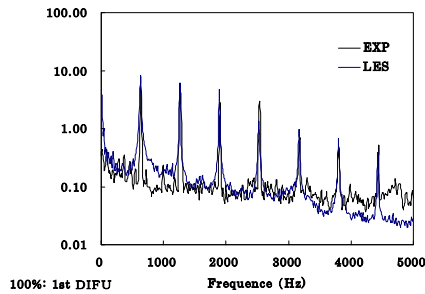
# Validation 2: 遠心ポンプの非定常内部流れへの適用 (1)



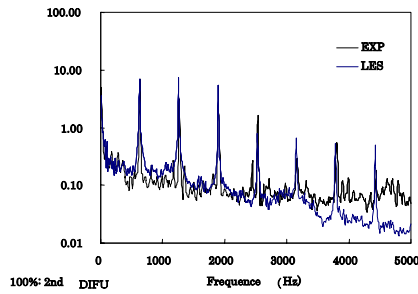
## (1) 水力特性の予測精度評価



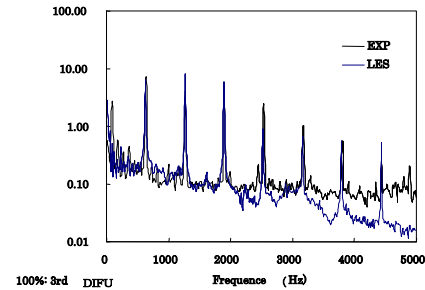
## (2) 内部圧力脈動の予測精度評価



1st stage



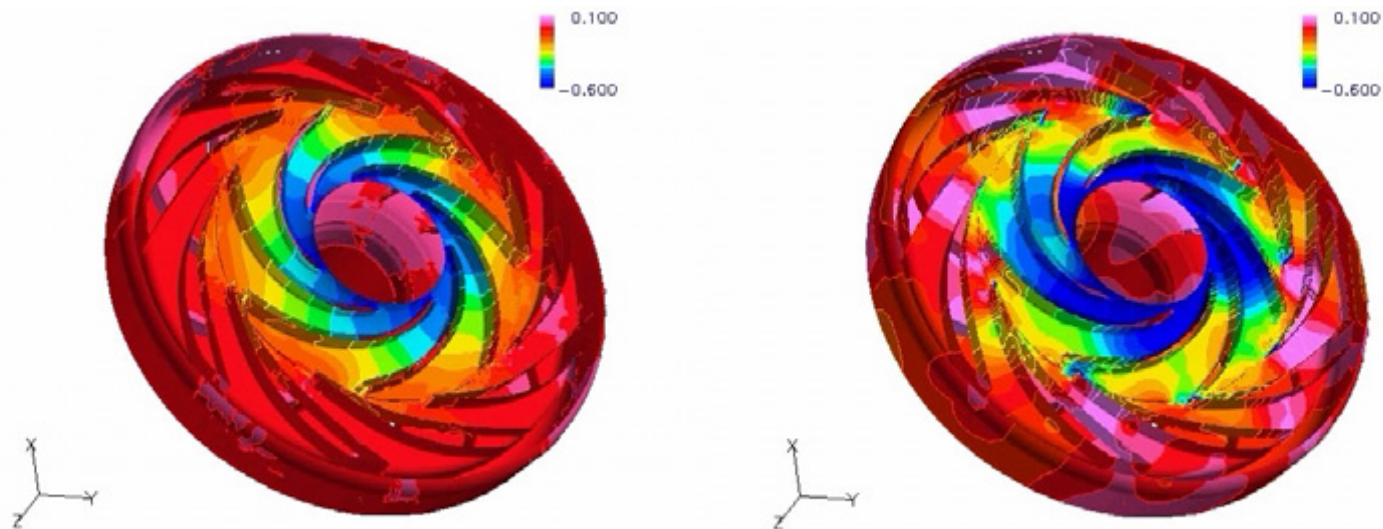
2nd stage



3rd stage

Validation 2:

遠心ポンプの非定常内部流れへの適用 (2)



遠心ポンプ表面における圧力変動の瞬時分布  
(左)設計点 (右)非設計点(流量比60%)

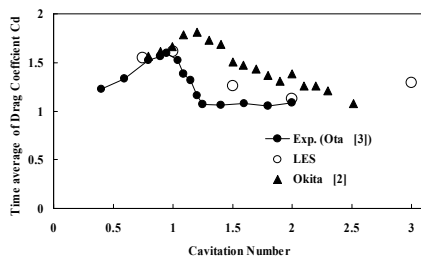
# Validation 3: 2次元物体まわりキャビテーション流れへの適用

流れの圧力と飽和蒸気圧との関係に応じて、キャビテーション(気相)の発生・消滅をモデル化

角柱(アスペクト比2.8,  $R_e=1.0 \times 10^4$ )

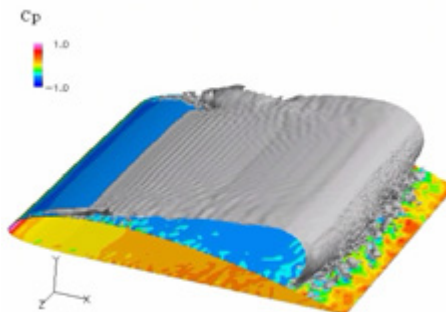


ミッドスパン平面の液体体積率分布 ( $\sigma=1.0$ )

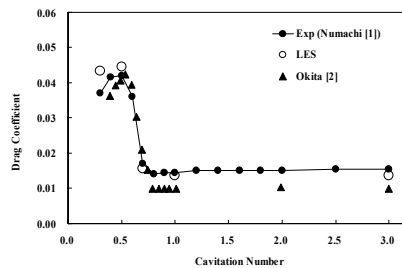


抵抗係数の実験地との比較

Clark-Y(迎角0deg,  $R_e=5.0 \times 10^5$ )

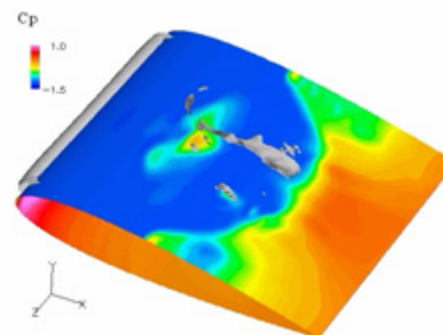


翼表面圧力分布及び液体体積率70%等値面 ( $\sigma=1.0$ )

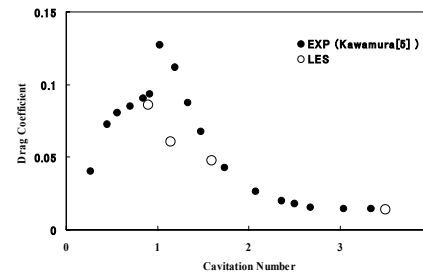


抵抗係数の実験地との比較

NACA0015(迎角8deg,  $R_e=1.2 \times 10^6$ )



ミッドスパン平面の液体体積率分布 ( $\sigma=1.15$ )



抵抗係数の実験地との比較

# ターボポンプ非定常解析(まとめ)

ターボポンプ内部の非定常流れ解析の精度検証として、遠心ポンプの内部流れ解析を実施した。この結果、水力性能及び圧力脈動を定量的に予測可能であることを確認した。

ターボポンプ内部に発生するキャビテーションの影響を定量的に予測するため、混相流近似に基づくキャビテーションモデルを導入した。基礎検証を実施した結果、概ね実験値とのよい一致が確認でき、実用化の目処がたった。

今後、開発したコードをロケットエンジンのインデューサに適用する。