

平成15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

2004年1月10
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

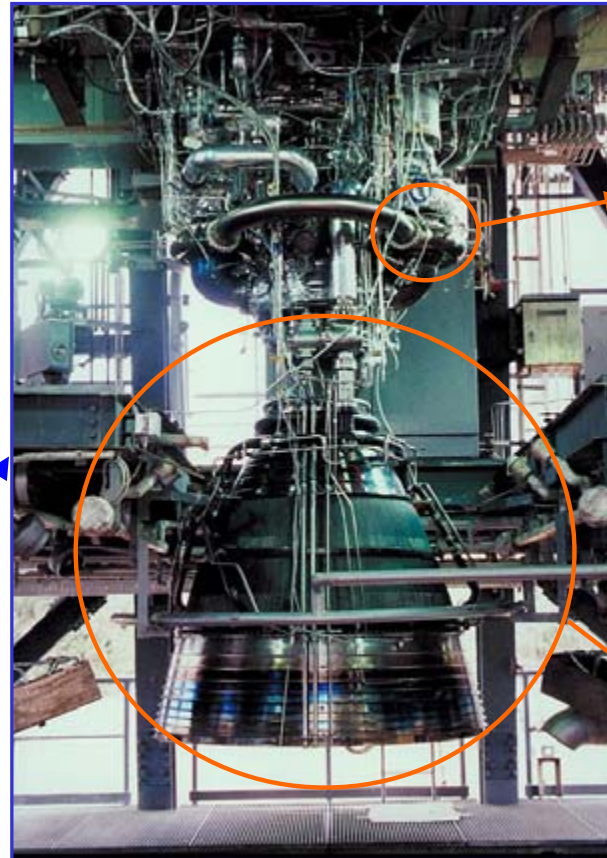


実機開発で利用できるCFDコードの開発と実行

FY15に取り組んでいる研究課題



H-IIAロケット



メインエンジンLE-7A

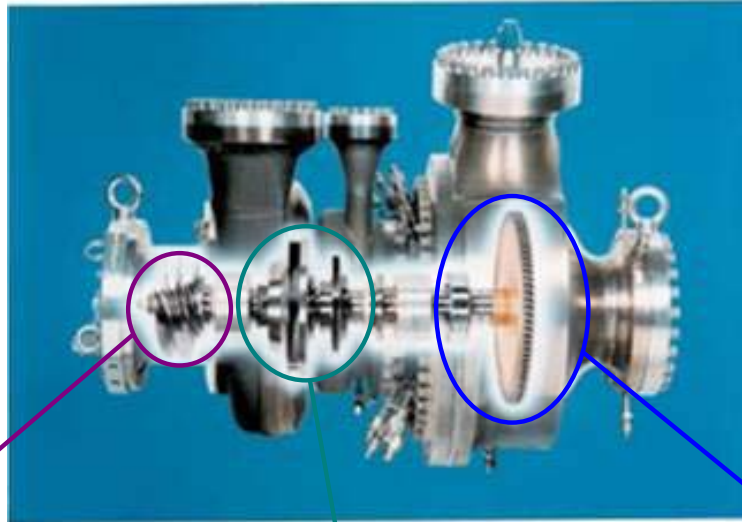
ターボポンプ非定常流れ解析
(H-II 8号機失敗の主原因)

ノズル横力の解明
(H-II A開発中に発生)

ターボポンプ非定常流れの解析



ロケットエンジン液体酸素ターボポンプ



- ▶ 小型
- ▶ 軽量
- ▶ 高揚程
- ▶ 大流量

インデューサ

軸流ポンプ

- ・強い非定常性を有する
- ・キャビテーション流れ

インペラ

遠心ポンプ

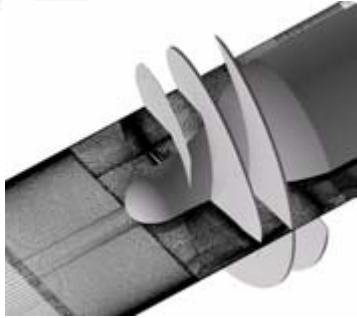
- ・推進剤を昇圧
- ・非定常性を有する

タービン

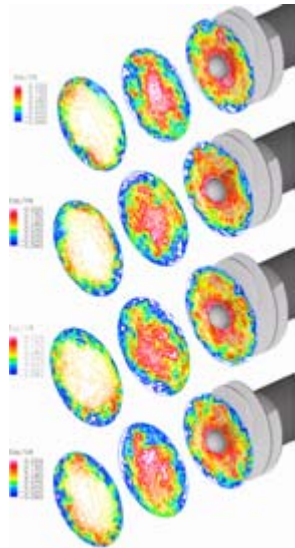
衝動タービン

- ・ポンプ駆動エネルギーを発生
- ・高いタービン効率を要する

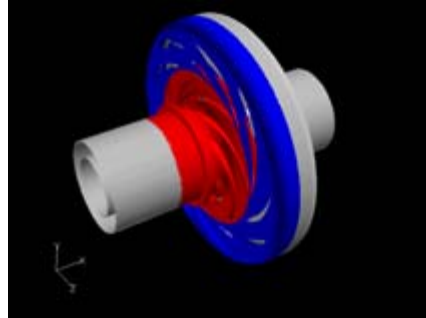
ターボポンプ非定常流れの解析



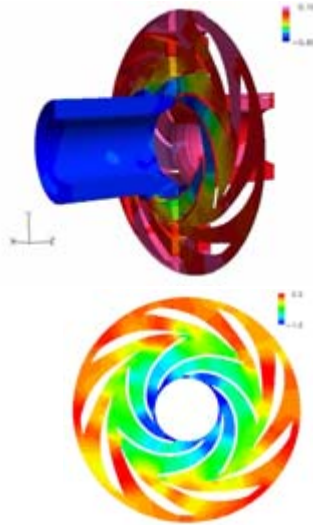
インデューサ計算格子



インデューサの入口逆流

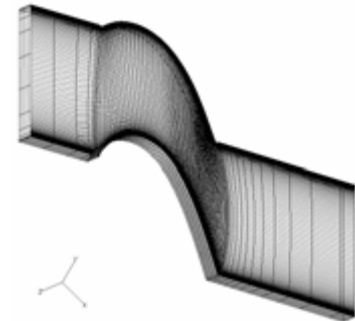


インペラ計算格子

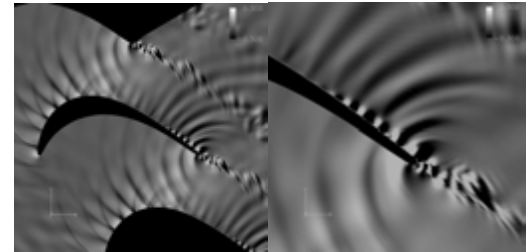


インペラ内の非定常圧力場

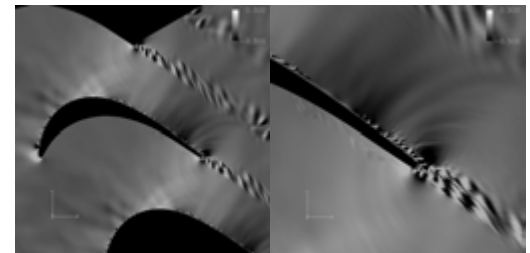
提携: 日立インダストリーズ



タービン計算格子



タービン内の圧力場(その1)



タービン内の圧力場(その2)



まとめ

- ▶ 本年度は、ロケットエンジンターボポンプ内部流れ解析コードの開発に着手し、インデューサ、インペラ、タービンの各ポンプ要素における解析によってその妥当性を検証した。
- ▶ 一方、高レイノルズ数平行平板間乱流DNSを実施し、ロケットエンジン内部流れのモデル構築に必要とするデータベースの構築に着手した。
- ▶ FY16は、ロケットエンジン燃焼器系のシミュレーションとターボポンプ内部流れの詳細解析(高速化を含む)を重点的に実施する。

今年度の計画

January 10, 2003

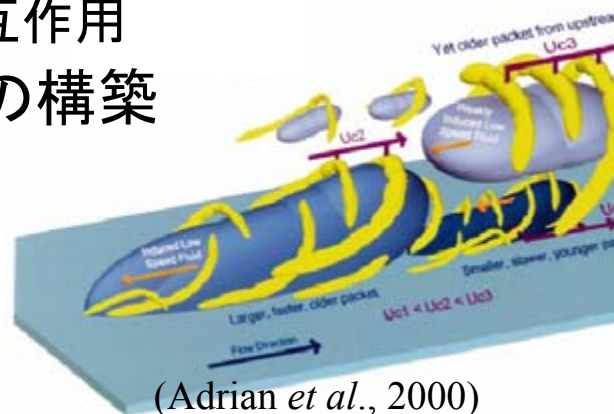
THTLAB, The Univ. of Tokyo

- 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...

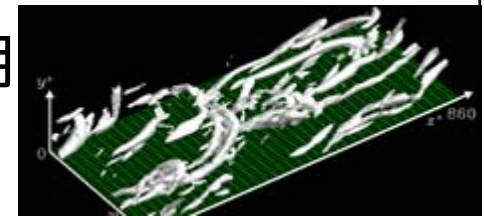
■ 高レイノルズ数壁乱流

- 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
 - 構造間の相互作用
- データベースの構築

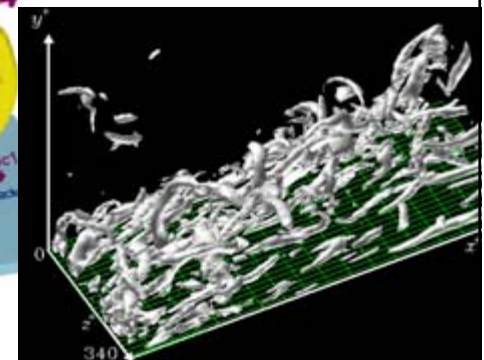
粗視化モデル
構築



低レイノルズ数



高レイノルズ数



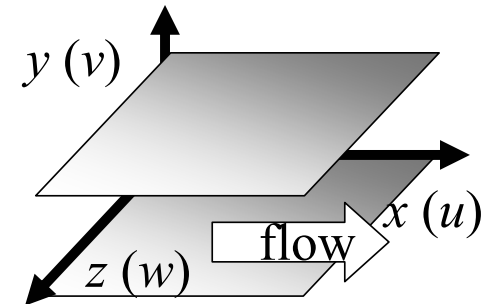
(Adrian et al., 2000)

計算対象, 計算手法

January 10, 2003

THTLAB, The Univ. of Tokyo

- 計算対象...完全発達した非圧縮平行平板間乱流
- レイノルズ数... $Re_\tau = 1160$ (現在, DNSにおいて最大値)
- 計算手法...擬スペクトル法コード
- 格子点 (3/2則)... $1728 \times 769 \times 1536$ (20億点)
- 並列化
 - CPU...512 (64ノード)
 - 実行性能...1.5TFlops (40%)
 - 並列効率...99.997% (504倍)

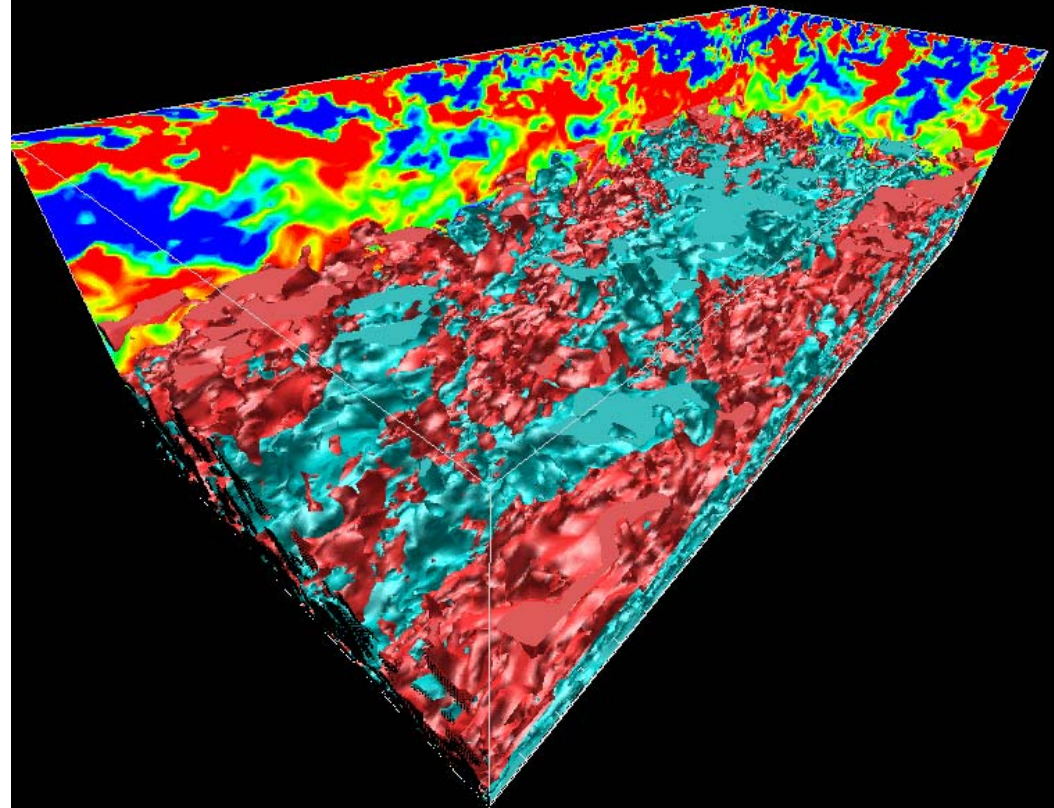


大規模構造 ～可視化～

January 10, 2003

THTLAB, The Univ. of Tokyo

- 大規模構造
チャンネル中央
から壁近傍(y^+
～ 30)まで
- ストリーク構造
壁近傍 ($y^+ <$
30)のみ



青, 高速領域($u'^+ < -1$)
赤, 低速領域($u'^+ > 1$)

縦渦構造・大規模構造 ~可視化~

January 10, 2003

THTLAB, The Univ. of Tokyo

■ 縦渦構造

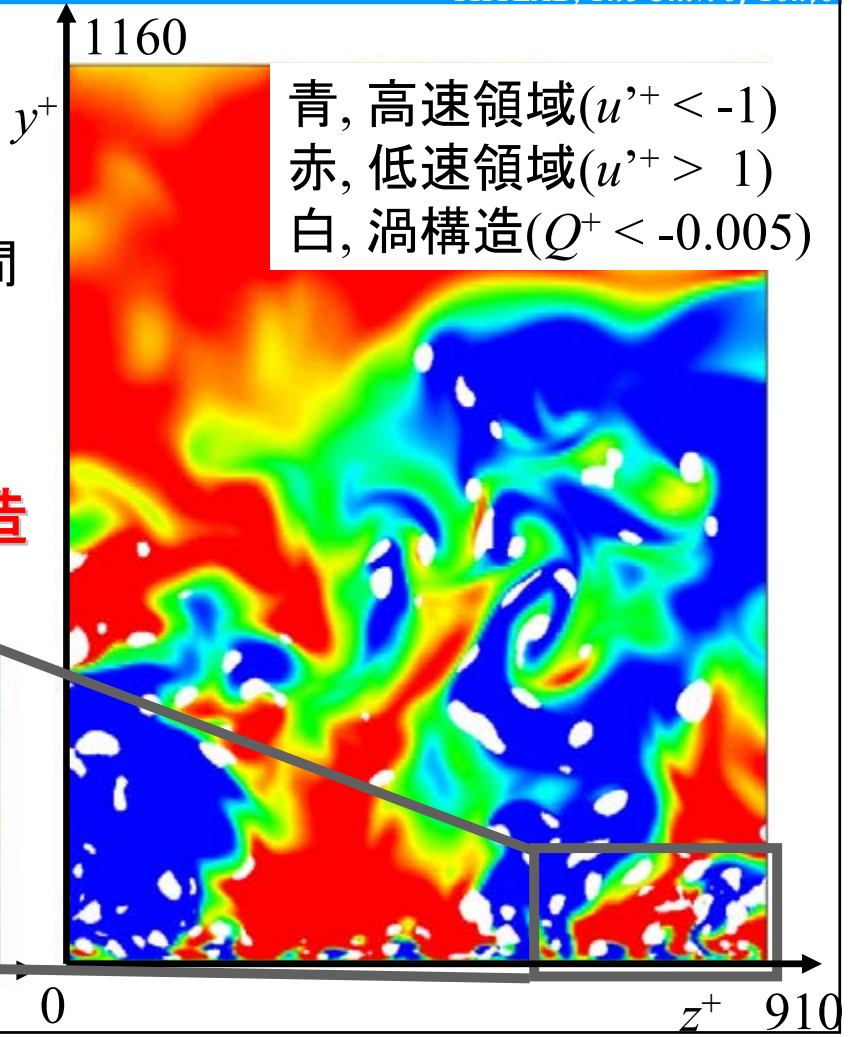
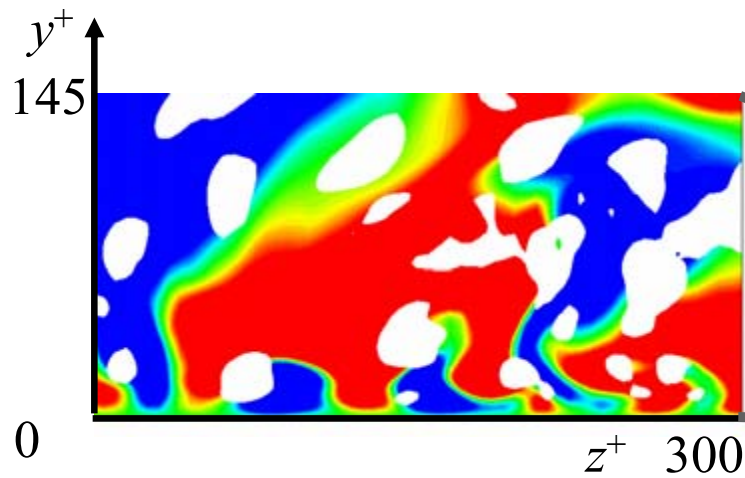
■ 壁近傍

低・高速ストリークの間

■ 壁から離れた領域

低速大規模構造内

→階層的クラスタ構造



アクティブな大規模構造

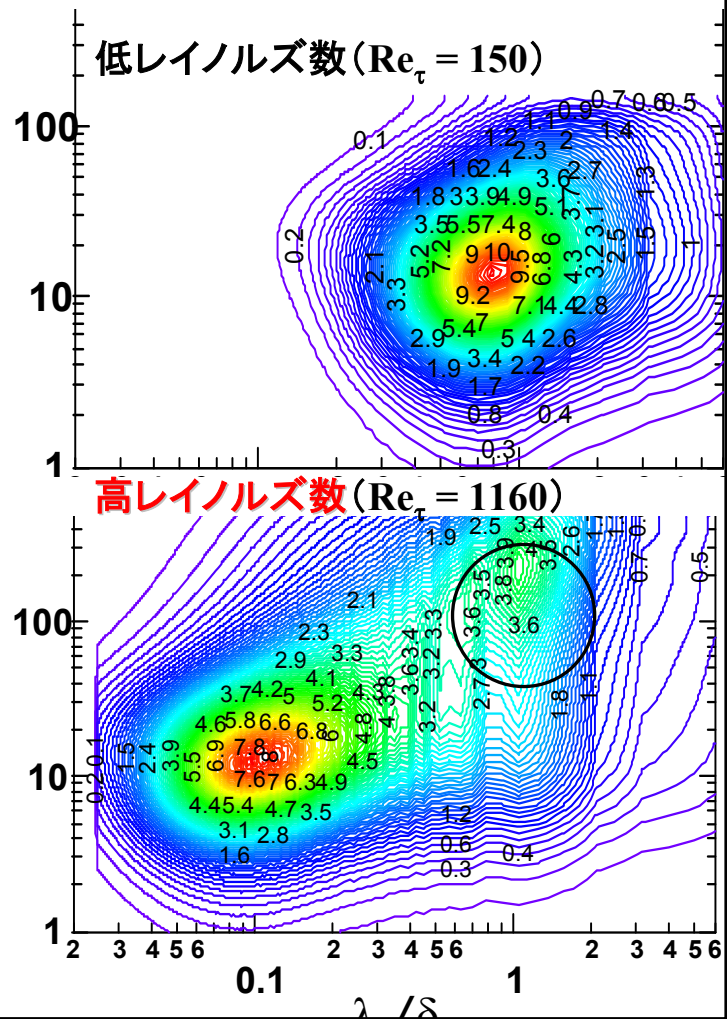
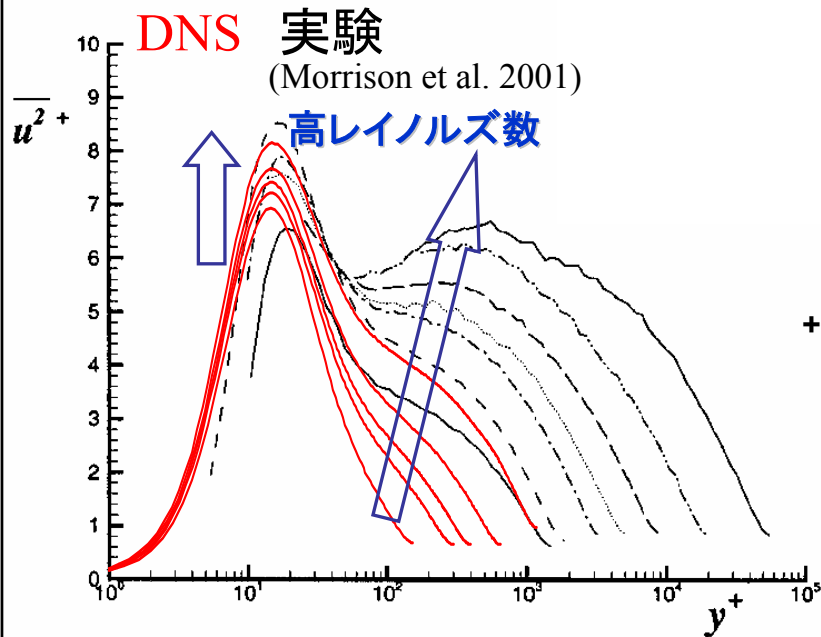
January 10, 2003

THTLAB, The Univ. of Tokyo

■ 流れ方向速度乱れ

■ 高レイノルズ数

...大規模構造の影響大 y^+



今年度の成果, 達成度

January 10, 2003

THTLAB, The Univ. of Tokyo

高レイノルズ数($Re_\tau = 1160$)の平行平板間乱流DNS

- 乱流構造のダイナミクス解明...以下の重要な知見を得た
 - 乱流構造生成メカニズム
 - 壁近傍...縦渦構造・ストリーク構造の再生成
 - 内外層の間...大規模構造の生成
 - 大規模構造
 - 壁近傍からチャンネル中央まで存在
 - アクティブに乱れを生成
 - 構造間相互作用
 - 大規模構造...縦渦構造の階層的クラスター化に影響大
 - データベースの構築...ほぼ完了
- 高レイノルズ数壁乱流の粗視化モデル
...上記知見・データベースを基に構築予定