

APG公募型研究報告会 H24(2012)年12月7日@JAXA調布

インテークバズの発生メカニズム解明とその制御 亀田正治 (東京農工大学)

・研究目的

- ① CFDを用いたバズ発生の定量的予測法の確立
- ② バズ抑制手法の検討

・発表内容

- ① UPACSベースの三次元インテークバズ解析
 - ・ JAXA SWT1-05-09超音速インテークのバズ特性風洞試験との比較
- ② 仕切り板の挿入によるバズ抑制手法の検討
 - ・ 衝撃波システムの振動とデフューザ内圧力変動の相関解析



1

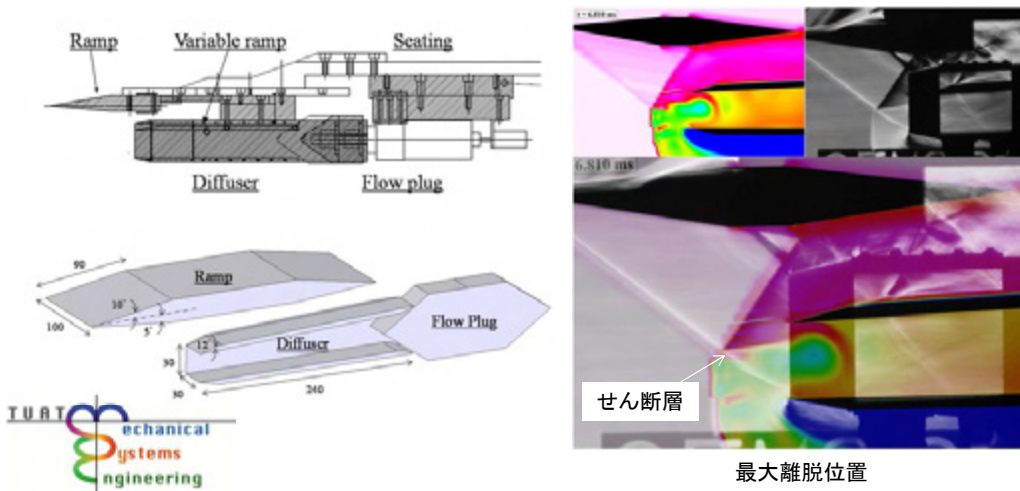
研究進捗状況

2

① UPACSをプラットフォームとする インテーク流れの三次元CFD解析コードの構築

JAXA SWT1-05-09風洞実験模型周り流れの解析との比較

2005年11月8日(火)～11月15日(火), 1m×1m超音速風洞, 渡辺安・村上哲



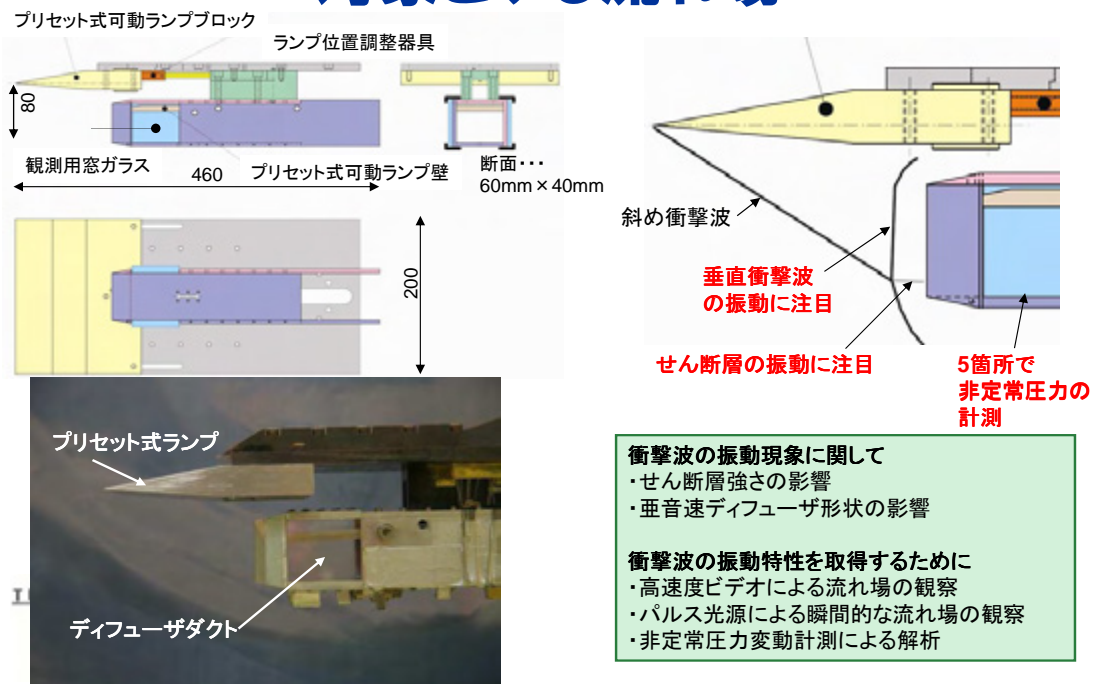
先行CFD研究

- Lu, P-J. and Jain L-T., *J. Propulsion and Power* 14 (1998), 90-100
 - 台湾の研究グループ
 - Dailey (1955) のコーン型ノーズつきインテークバズ実験との比較
 - RANS方程式 (Baldwin-Lomaxモデル)
 - 支配周波数は実験と良く一致
- Trapier, S., Deck, S. and Deveau, P., *AIAA J.* 46 (2008), 118-131
 - ONERAの研究グループ
 - 同著者 (Trapier, Deveau and Deck *AIAA J.* 44 (2006), 2354) によるウェッジつき角型断面インテークバズ実験との比較
 - RANS/LESハイブリッド (Delayed DES), URANS
 - Dailey型バズの圧力変動周波数特性はDDESによりよくとらえられる



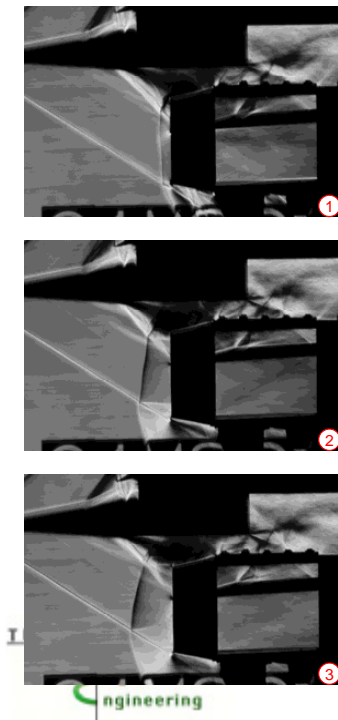
SWT1-05-09 超音速インテークのバズ特性風洞試験

対象とする流れ場

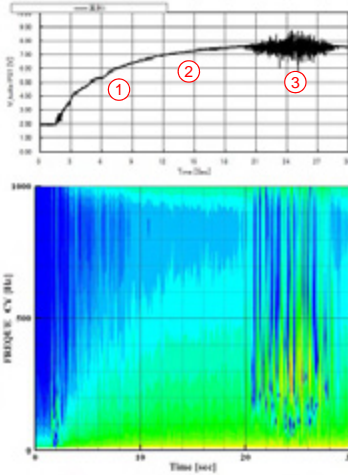


試験結果概要 ～バズが発生する場合～

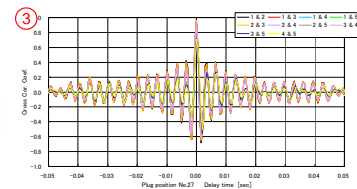
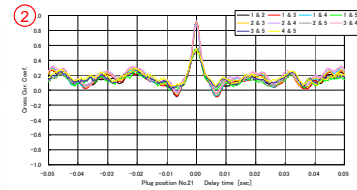
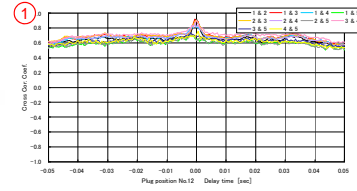
5



M = 2.0
 $\delta = 5.0 \text{ deg}$
 拡大管



圧力波形(上)と
時間周波数解析結果(下)



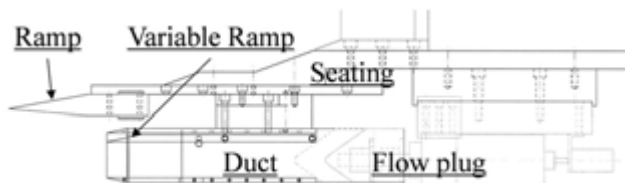
相互相関係数

SWT1-05-09超音速インテークのバズ特性風洞試験

6

数値解析用モデル

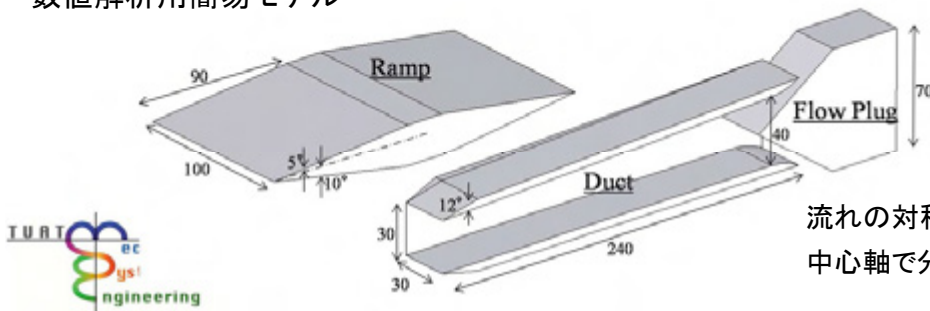
風洞試験モデル



解析ケース

- ランプ角 δ (5deg or 10deg)
- $\delta = 10\text{deg}$
- ダクトの種類(直管 or 拡大管)
- 拡大管
- フロープラグ位置(0-35mm)
- 26mm

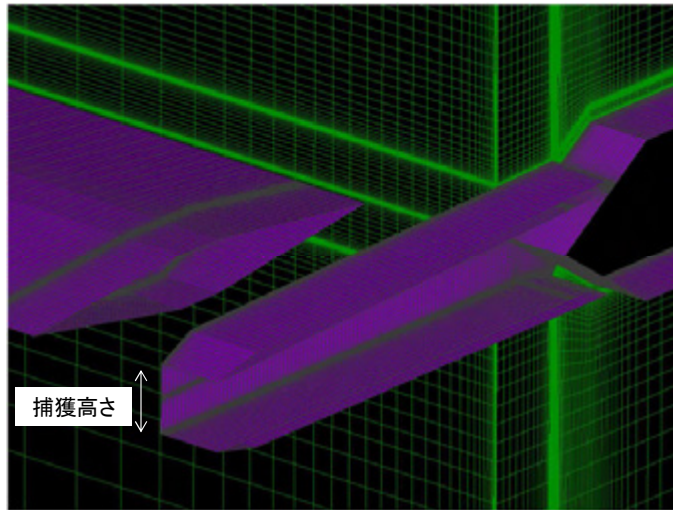
数値解析用簡易モデル



流れの対称性を仮定
中心軸で分割



計算格子



六面体構造格子

格子点数 約320万点

ブロック数 43ブロック

最小格子幅 1.0×10^{-4}
(ダクト捕獲高さ30mm基準)

計算方法・条件

計算ソルバー : UPACS

支配方程式 : RANS

乱流モデル : Spalart-Allmarasモデル

対流項 : 3次精度Roeスキーム

時間発展 : 2次精度Euler陰解法

計算条件

主流マッハ数 : 2.0

Re数 : $2.86 \times 10^7/m$

CFL数 : 1,000

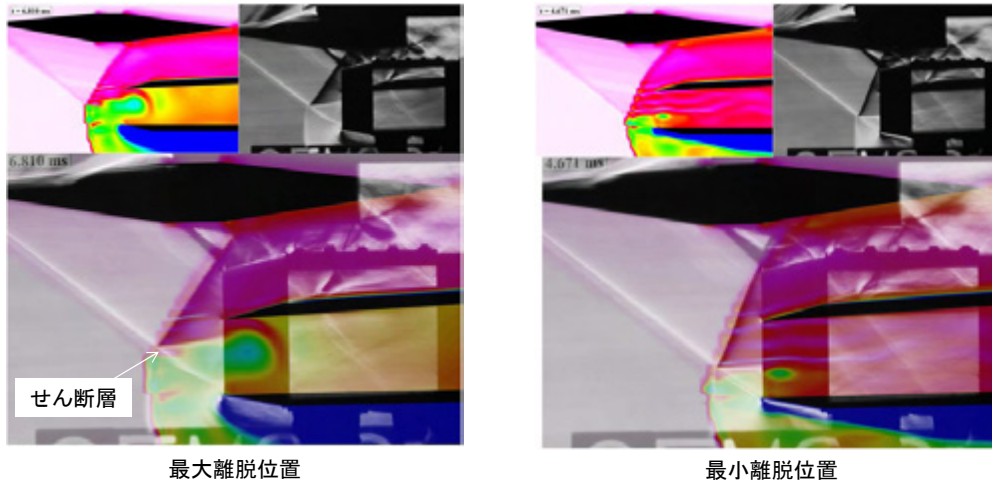
計算回数 : 303,000ステップ

(物理時間 約6.8 ms)

開始条件 : インパルシブスタート



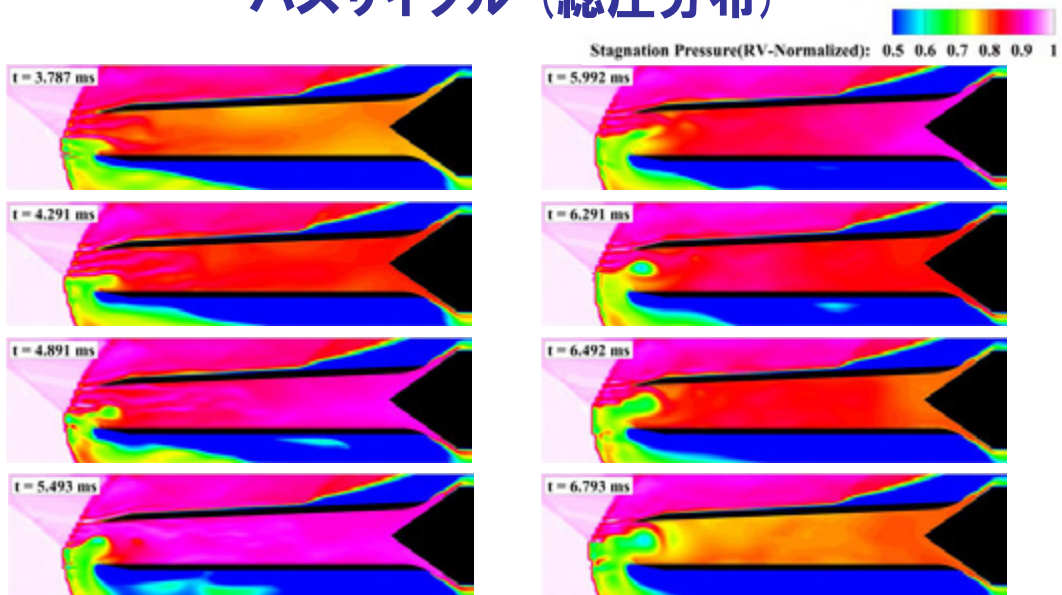
衝撃波位置 ～計算, 実験との比較～



衝撃波三重点の位置, せん断層流入の様子が一致
本モデルのバスの特徴をよく再現している



バスサイクル (総圧分布)

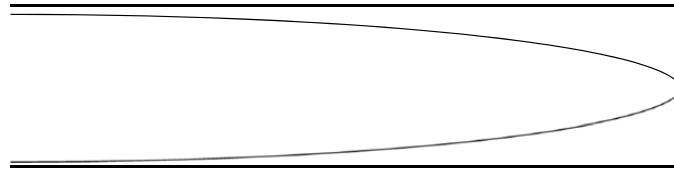


衝撃波の振動はダクト流れ方向総圧分布の変動と良いリンクを示す. ダクト入口を自由端, ダクト出口を固定端とした気柱共鳴的な変動



バズのメカニズム

せん断層(衝撃波)による
総圧・流量調整作用



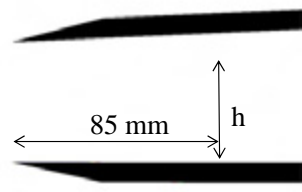
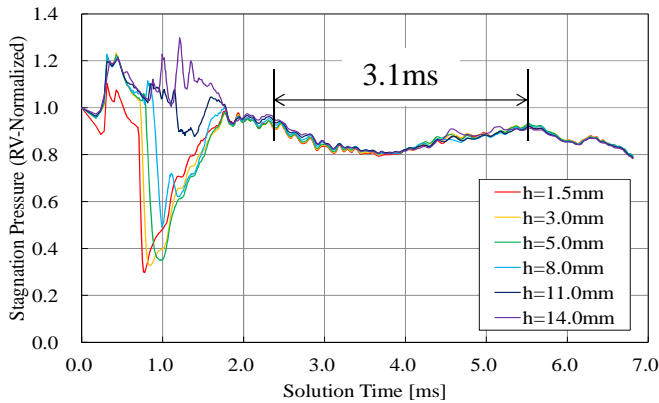
ダクト出口

ダクト入口側が自由端, ダクト出口側が固定端の自励振動

衝撃波の振動はダクト内総圧・流量を調節しようとする結果



バズの周波数



総圧変動周波数
 $f = \text{約} 320 \text{ Hz}$

基本共鳴周波数*

$$f_1 = \frac{a}{4L} (1 - M^2) \quad a: \text{平均音速} \quad M: \text{平均マッハ数} \quad L: \text{ダクト長さ}$$

CFD解析結果 $a=353 \text{ m/s}$ $M=0.2$ $L=240 \text{ mm}$ を代入すると



基本共鳴周波数 $f_1 = 353 \text{ Hz}$

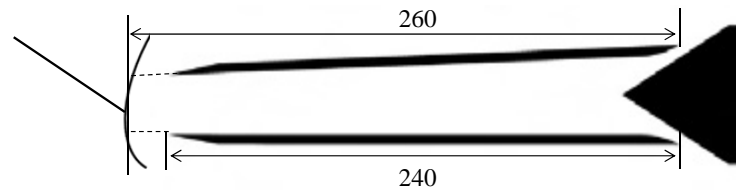
圧力変動より周波数が高い

* Newsome, AIAA J. (1984)

13

バズの周波数

圧力変動は衝撃波の作用により自由端反射していた



最終衝撃波までを擬似的なダクトと考えると およそ $L=260$ mm

基本共鳴周波数 $f_1=326\text{Hz}$
 圧力変動周波数 $f=320\text{Hz}$ } 周波数がほぼ一致

バズは衝撃波を開口端、ダクト出口を固定端とした気柱共鳴である



14

進捗状況

② バズ抑制手法の概念検討, 検証実験

バズは、ディフューザにおける流れのはく離にともなう現象

Ferri型バズを抑えるには、
 せん断層の不安定化を抑えることが有効
 → SWT1-05-09 の実験、
 「直管」でバズが生じない、が良い示唆を与える

Dailey型バズを抑えるには、
 ランプ面側のはく離を抑えることが有効
 → ディフューザ入口における抽気、
 ダクト形状の工夫などが有効

モデル実験
 by

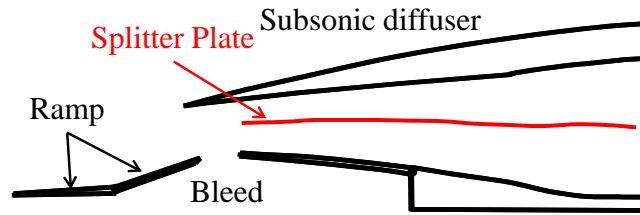


ディフューザ分割によるバズ抑制

バズ発生原因: 亜音速ディフューザ内の剥離

逆圧力勾配の緩和

開き角の減少が有効



仕切り板によるディフューザ分割

可変ランプ機構に比べて簡素, 軽量化が期待される

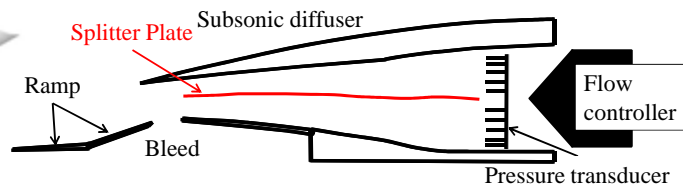
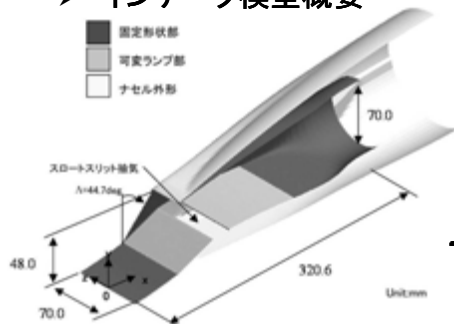


Watanabe, Y., Hattori, S. and Kameda, M., 28th Congress of ICAS (2012), ICAS 2012-6.2.1.

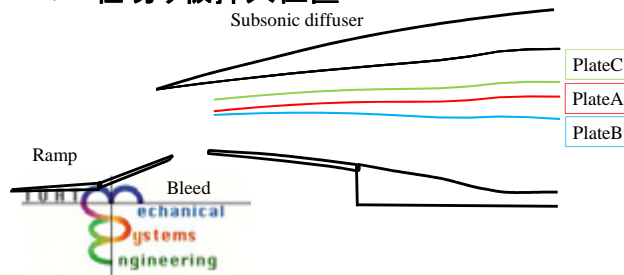


風洞実験

- JAXA所有1m×1m超音速風洞 主流マッハ数 M2.0 総圧 220kPa
- インテーク模型概要



- 仕切り板挿入位置



	Entry area	Exit area
PlateC	0.3Ac	0.3Ac
PlateA	0.5Ac	0.5Ac
PlateB	0.5Ac	Ac

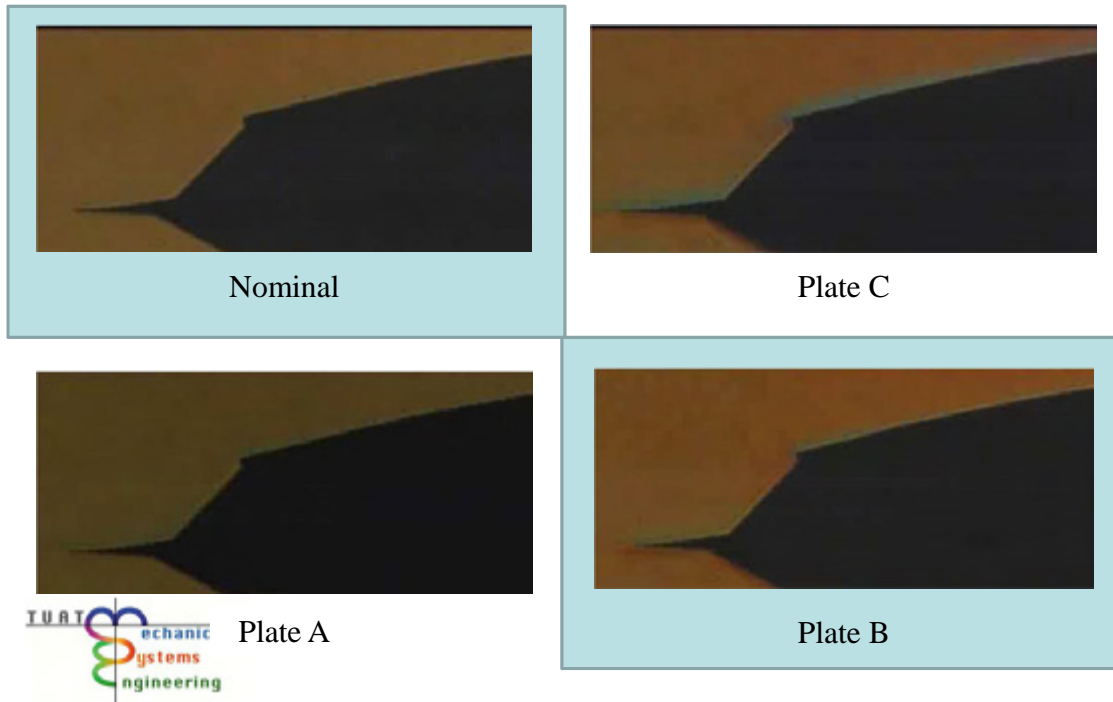
Ac: 亜音速ディフューザ入口面積





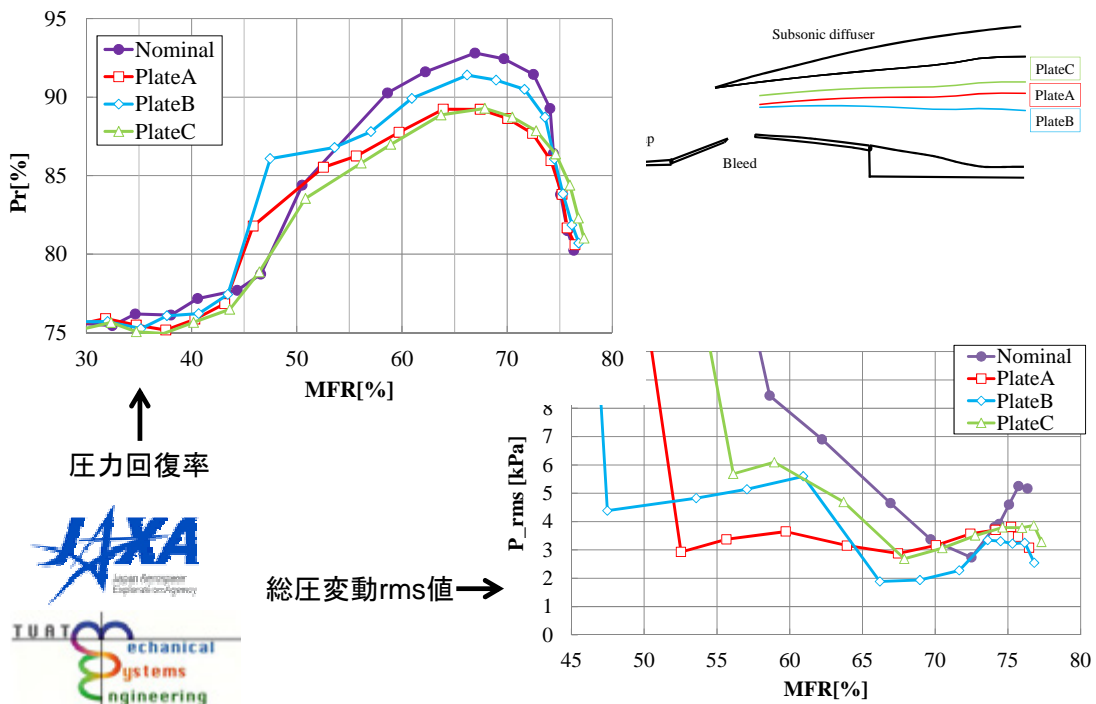
動画によるショックシステムの比較

17



18

分割位置による圧力回復率, 総圧変動rms値の変化



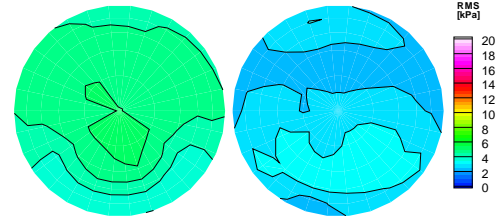
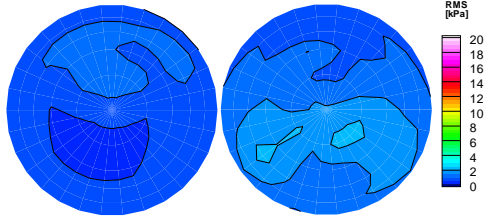


インテーク出口総圧rms値分布

19

臨界作動付近(MFR70%)

亜臨界作動(MFR60%)



Nominal

Plate C

Nominal

Plate C

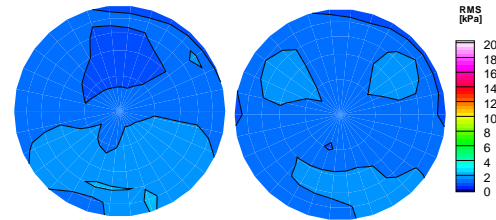
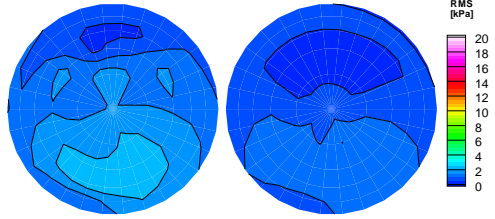


Plate A

Plate B

Plate A

Plate B



仕切り板位置がカウル側に寄せてあるPlate C以外の2つは、いずれの作動域でもrms値 2%程度以内に収まっている

まとめ

- ・ **CFDによるバスサイクルの再現に成功**
 - 衝撃波離脱距離の振幅はほぼ一致, 支配周波数は実験値に比べて10%程度高い
 - 衝撃波の振動はダクト流れ方向総圧分布の変動化と良いリンクを示す
- ・ **ディフューザ分割によるバズ抑制効果をJAXA実験にて確認**
 - 現在, 3次元CFDによる検証計算実行中

