

APG公募型研究報告会 H23(2011)年12月8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

- CFDを用いたバズ発生の定量的予測法の確立
- それに基づくバズ抑制手法の検討

### ・ 発表内容

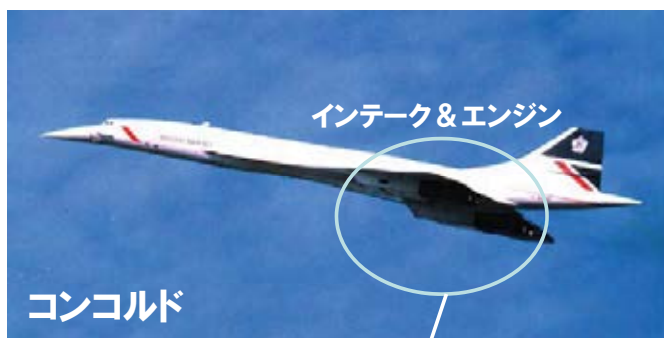
- 農工大風洞を用いた実験
  - ・ 衝撃波システムの振動とディフューザ内圧力変動の相関解析
- UPACSベースの三次元インテークバズ解析
  - ・ JAXA SWT1-05-09超音速インテークのバズ特性風洞試験との比較



1

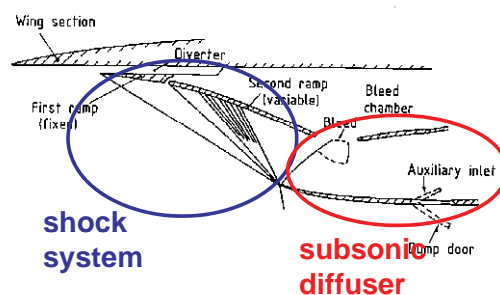
2

## 超音速エンジンインテーク



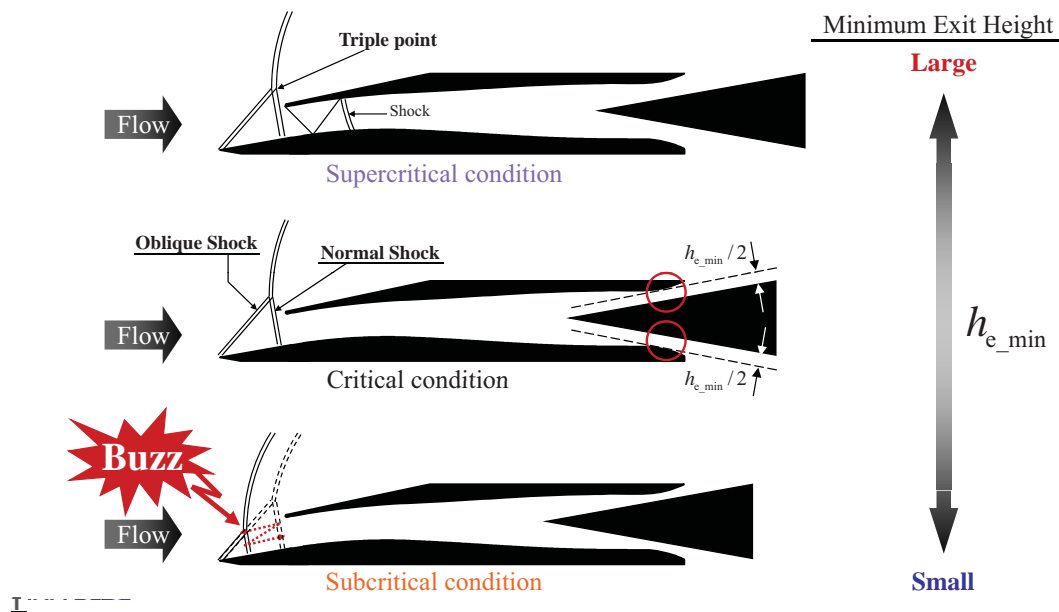
インテーク&amp;エンジン

エンジンに適合する流れを得るためのデバイス  
超音速圧縮部(衝撃波システム)  
亜音速圧縮部(ディフューザ)  
から構成される



3

## 超音速インテークの作動状態



4

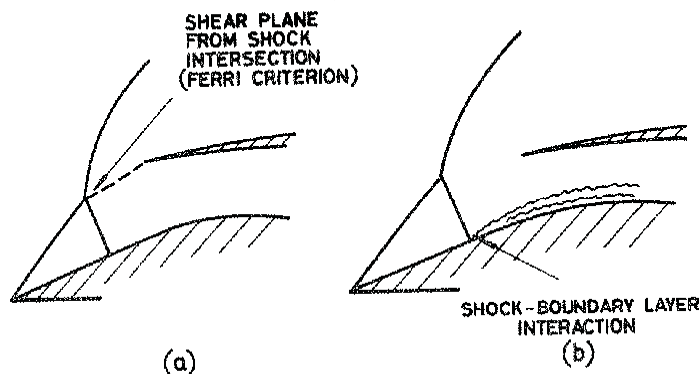
## 衝撃波システム振動現象(buzz) 2つの型

### (a) Ferri criterion [Ferri and Nucci (1951)]

Vortex sheet from the intersection point of normal and oblique shocks

### (b) Dailey criterion [Dailey (1955)]

Shock-induced flow separation from compression surface

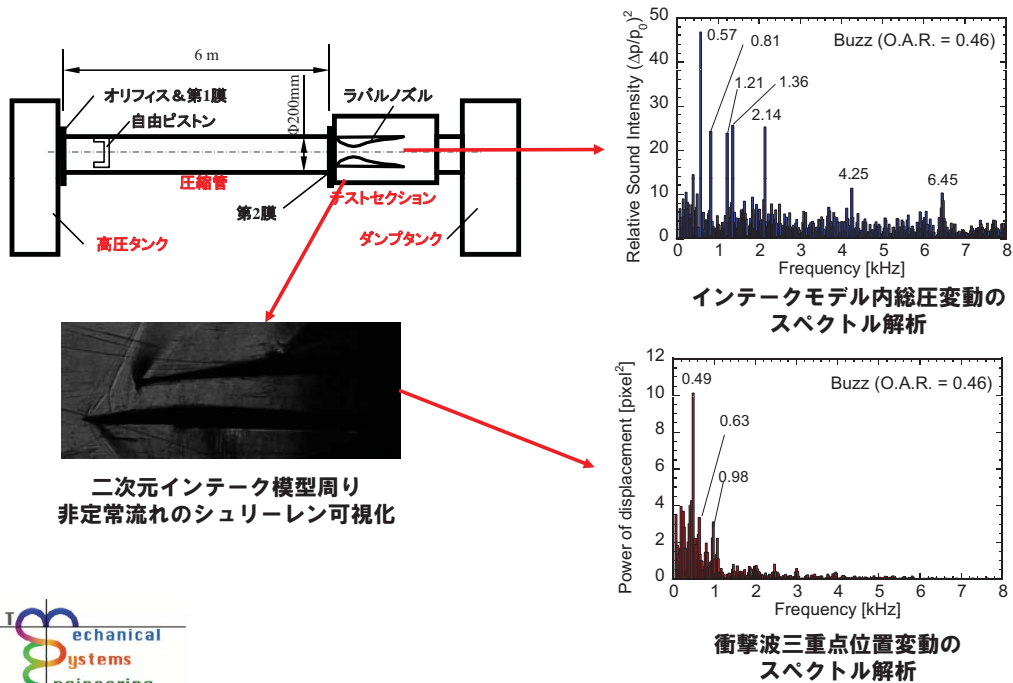


図の出典: Fisher et al. ARC R&M 3711 (1970)

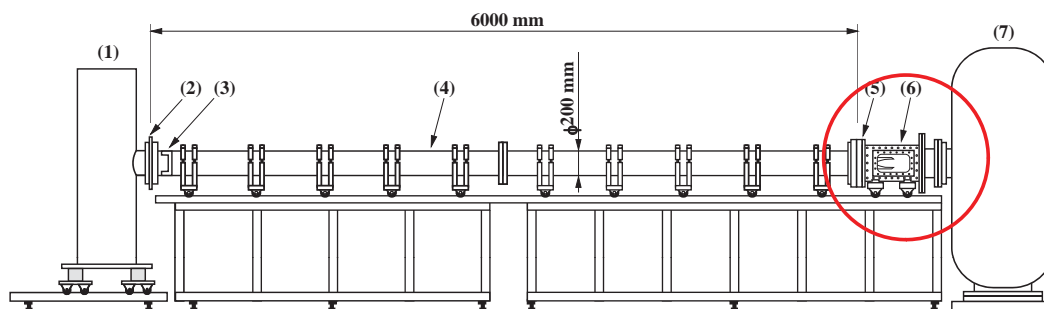
5

## 研究進捗状況

## ① 農工大小型超音速風洞による実験



6

農工大小型超音速風洞実験  
農工大小型超音速風洞

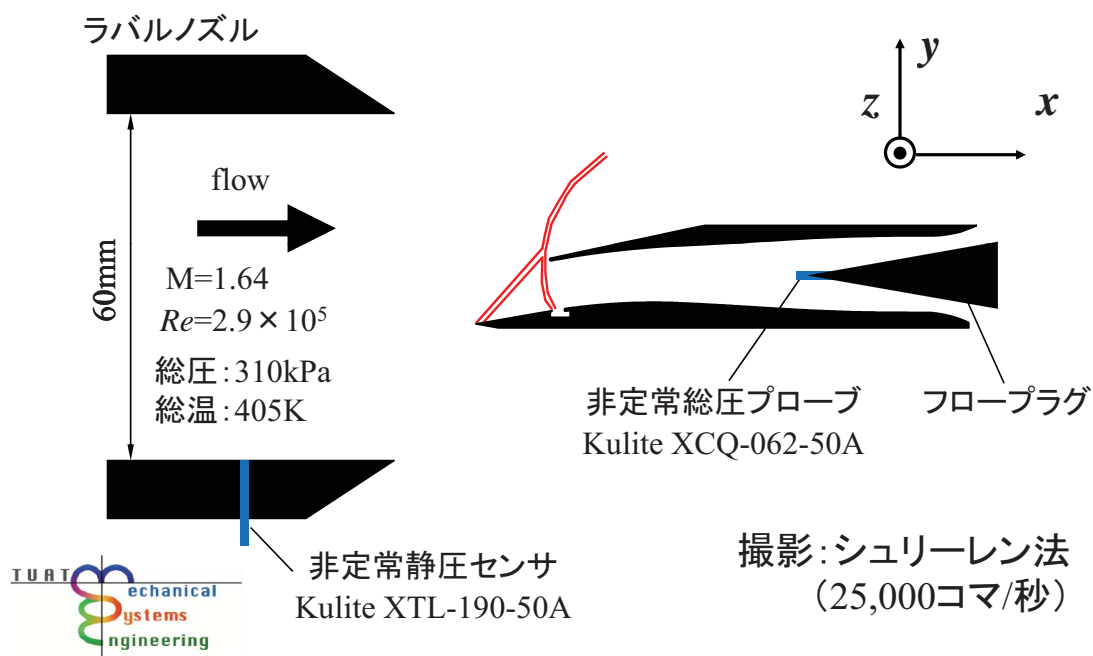
- (1): ピストン駆動用高圧空気タンク (容積 0.36 m<sup>3</sup>)  
 (2): オリフィス & 隔膜1  
 (3): 自由ピストン  
 (4): 試験気体圧縮管 (内径200 mm, 全長6000 mm, 容積 0.19 m<sup>3</sup>)

- (5): 隔膜2 & ラバルノズル (出口高さ60 mm)  
 (6): 試験部 (流路断面180 mm × 30 mm)  
 (7): 真空タンク (容積 0.84 m<sup>3</sup>)

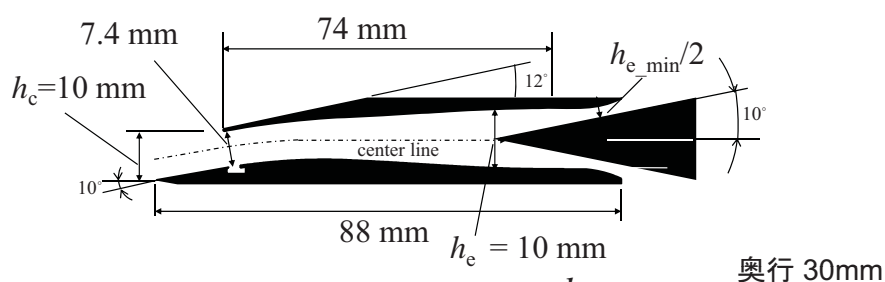
**準等エントロピー圧縮 (QUIC法, JAXA調布中型衝撃風洞と同形式)**  
**オリフィス(2)による駆動気体の流量制限により, 一様流持続時間を0.3 s程度確保**

**TUAT mechanical systems engineering**

## 農工大小型超音速風洞実験 テストセクション



## 農工大小型超音速風洞実験 模型諸元



開口率 (Opening Area Ratio)

$$OAR = \frac{h_{e\_min}}{h_e}$$

圧力回復率 (Pressure Recovery)

$$PR = \frac{P_e}{P_\infty}$$

質量流量比 (Mass Flow Ratio)

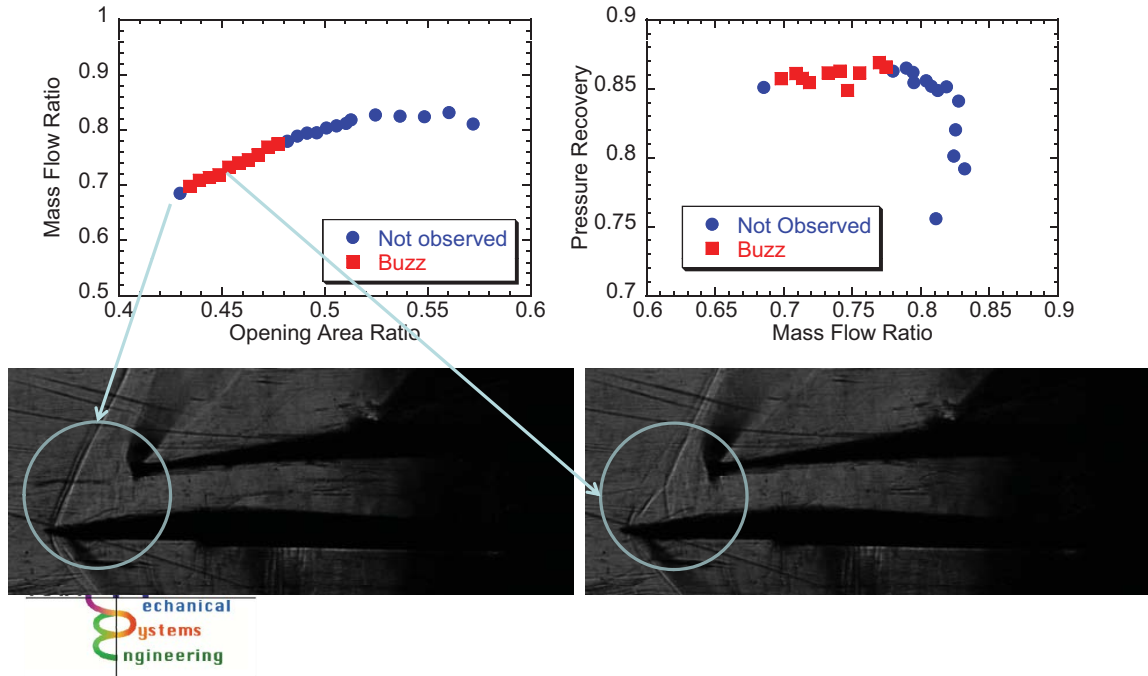
$$MFR_{fp} = PR \frac{h_{e\_min}}{h_c} \frac{1}{M_\infty} \left( \frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$



P: 総圧, M: マッハ数, g: 比熱比, h: 高さ  
添字 e: インテーク出口, ∞: 主流

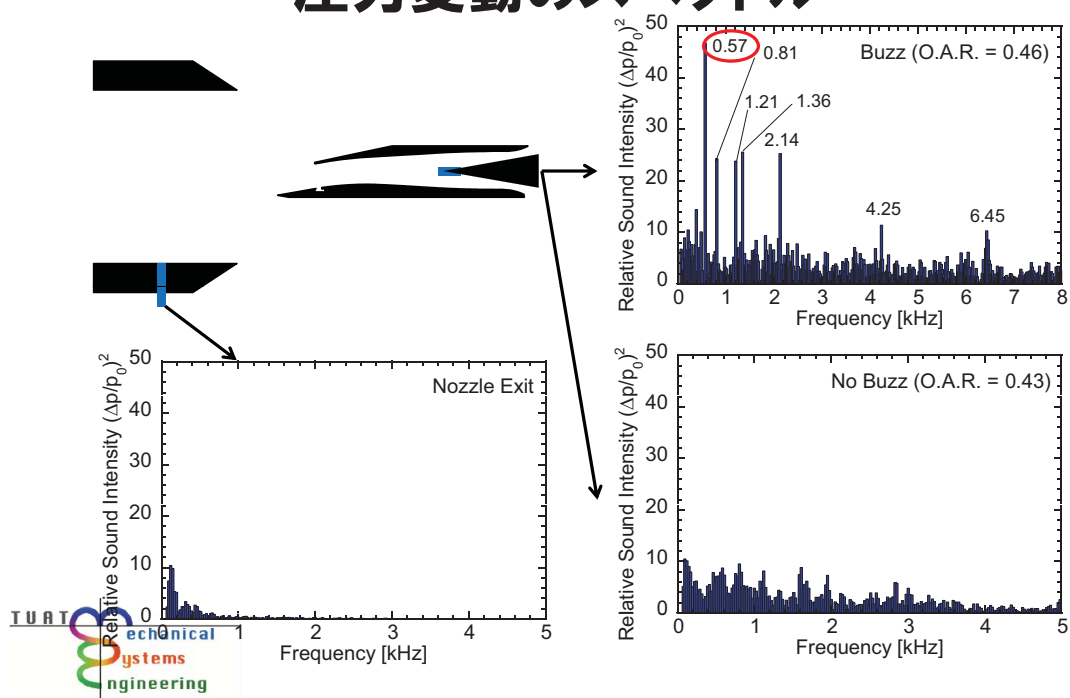
9

## 農工大小型超音速風洞実験 インテーク基本性能



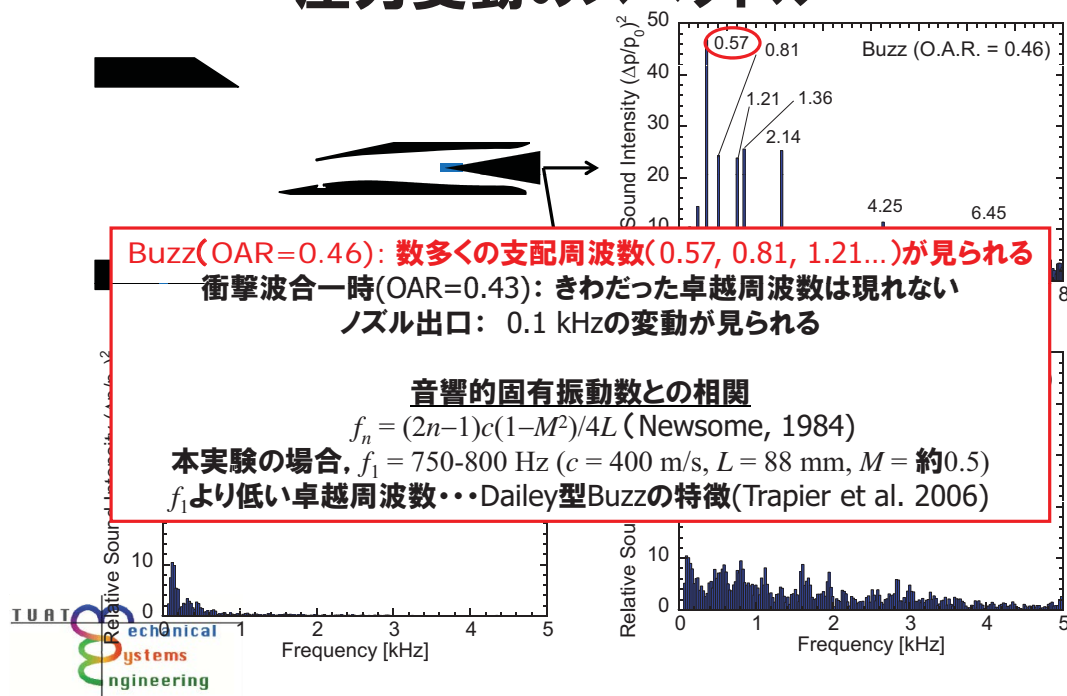
10

## 農工大小型超音速風洞実験 圧力変動のスペクトル



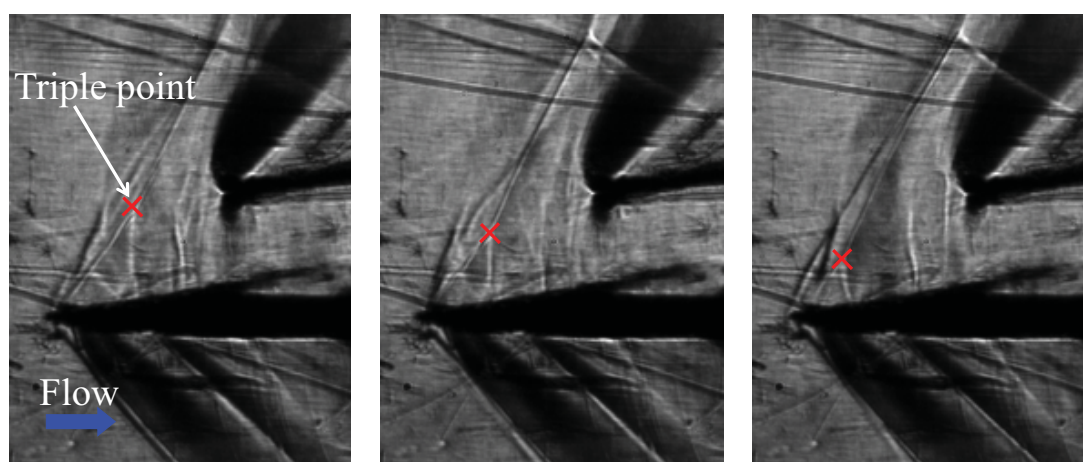
11

## 農工大小型超音速風洞実験 圧力変動のスペクトル



12

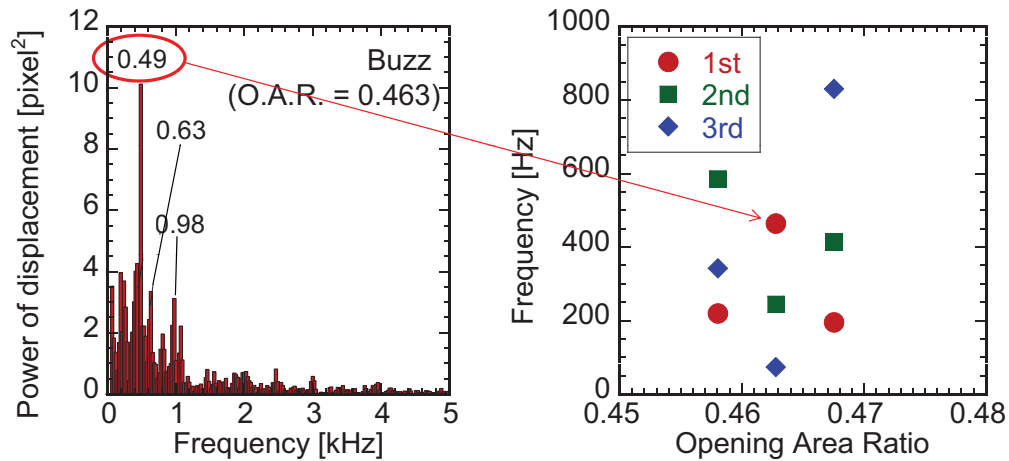
## 農工大小型超音速風洞実験 衝撃波三重点位置の解析



高速度ビデオカメラ撮影時系列データから、  
衝撃波三重点位置のy座標の時間変化を計測

13

## 農工大小型超音速風洞実験 衝撃波三重点位置スペクトル



TUAT

Mechanical  
Systems  
Engineering

左図・・・圧力変動における卓越周波数(0.57 kHz)とほぼ一致  
 右図・・・しかし、OARをわずかに動かしただけで、卓越周波数の並び順が変わる  
 実験のerrorによるものかどうか、現在検討中

14

## 農工大小型超音速風洞実験 まとめ

- Dailey 型Buzzの特徴である音響的固有振動数(800Hz)を下回る卓越周波数(約500Hz)が現れた
- 原因究明中の以下の現象も見られた
  - インテーク出口総圧変動に、多くの卓越周波数が存在
  - 三重点位置スペクトルの卓越周波数並びは、開口比によりさまざま
- 今後・・・UPACSによる検証計算の実施

TUAT  
Mechanical  
Systems  
Engineering

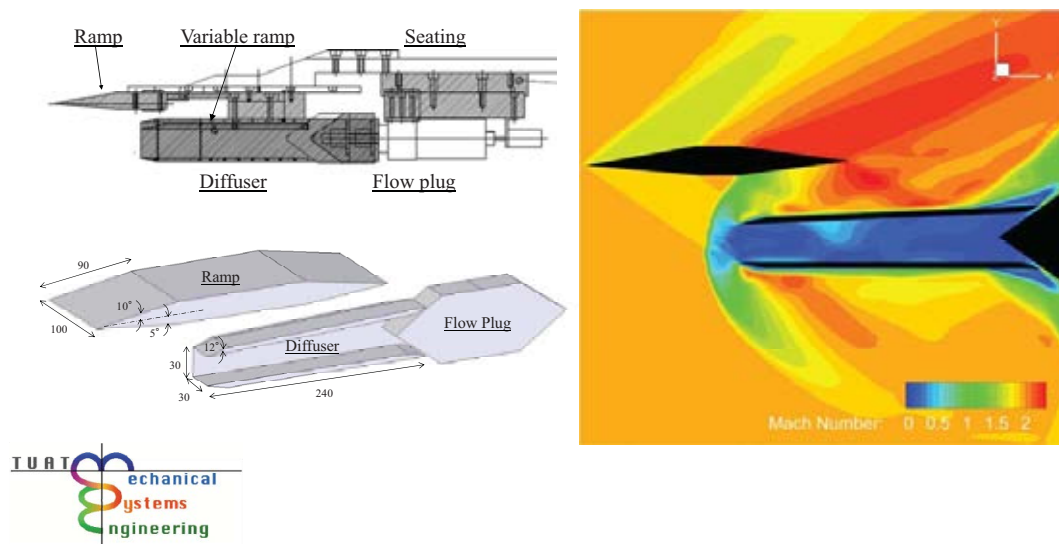


15

## 研究進捗状況

## ② 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を実施

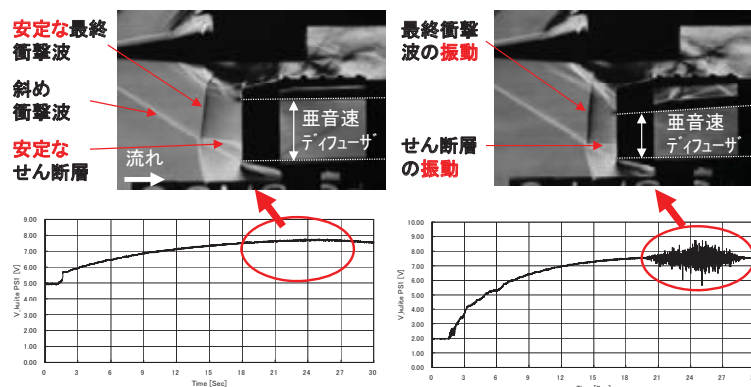


16

## SWT1-05-09 超音速インテークのバズ特性風洞試験 試験概要

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

目的 : 超音速インテーク特有の非定常現象である衝撃波の振動(バズ)の特性と、亜音速ディフューザの影響を把握し、衝撃波安定化制御技術およびインテーク空力設計自由度の拡大に資する



・衝撃波振動特性の把握

→ 衝撃波振動制御に向けたデータベースに活用

・亜音速ディフューザ形状の重要性が明らかに

→ 衝撃波の振動を抑制する新たな亜音速ディフューザ設計法の開発に向けた重要な指針となる

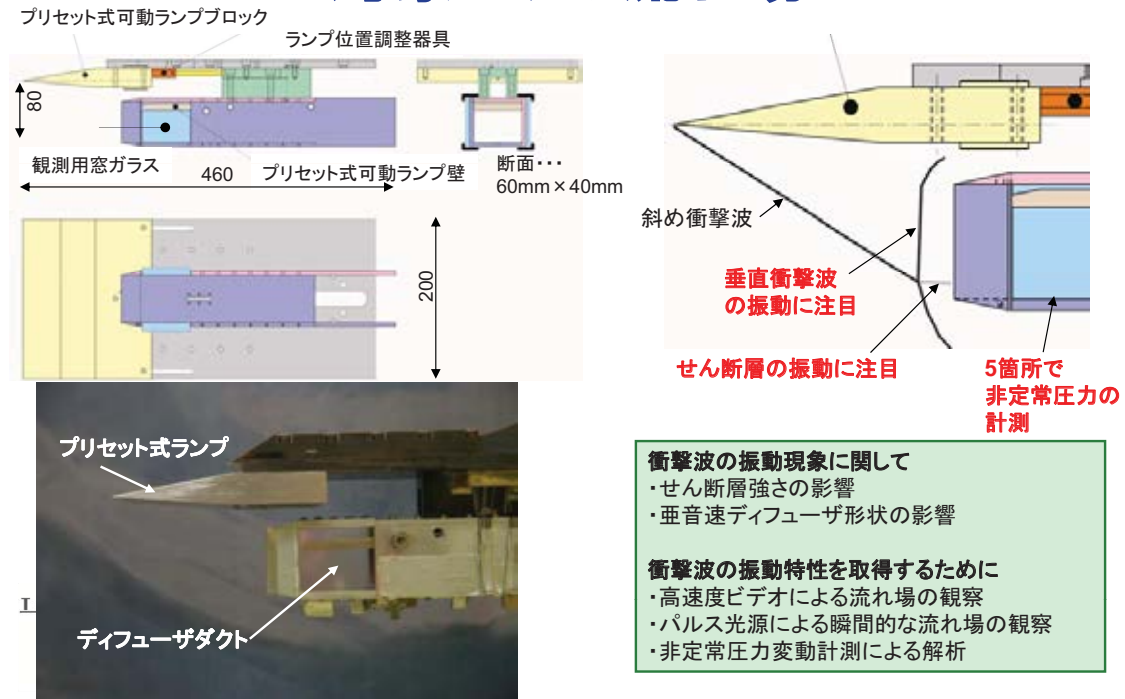
衝撃波の振動特性を明らかにし、将来設計技術開発に対する重要な知見を得た

16



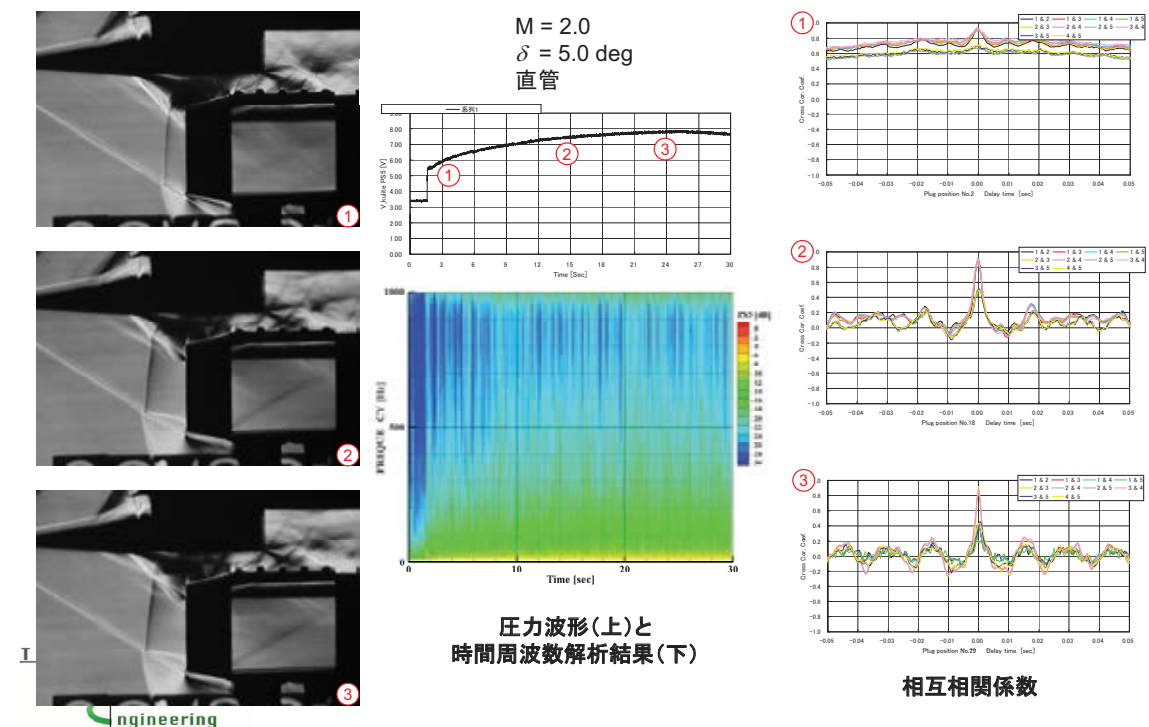
17

## 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



18

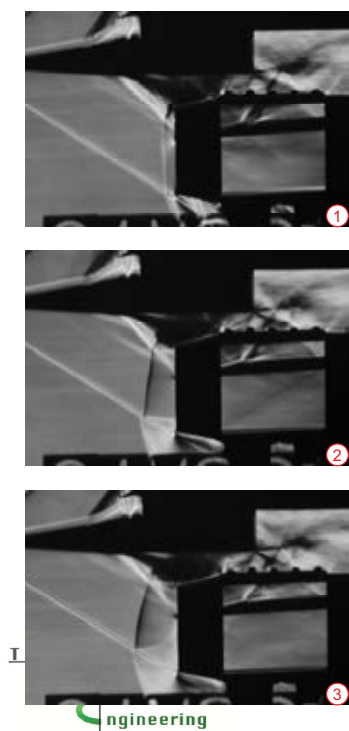
## 試験結果概要 ～バズが発生しない場合～



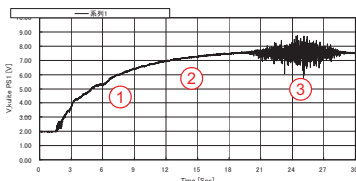
SWT1-05-09超音速インテークのバズ特性風洞試験

## 試験結果概要 ～バズが発生する場合～

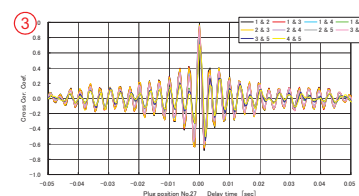
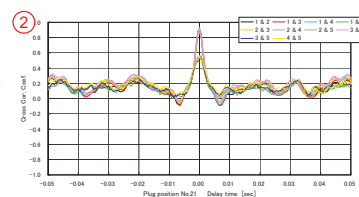
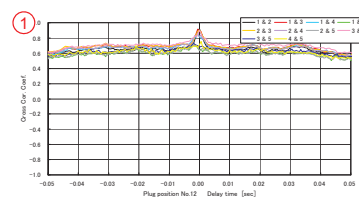
19



M = 2.0  
 $\delta = 5.0$  deg  
 拡大管



圧力波形(上)と  
時間周波数解析結果(下)

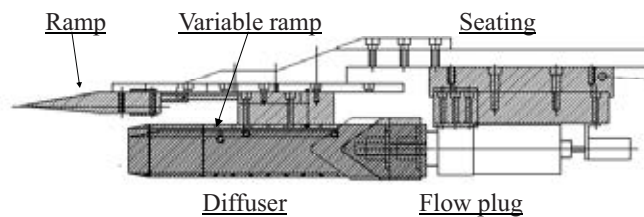


相互相関係数

SWT1-05-09超音速インテークのバズ特性風洞試験

## UPACSを用いたインテークバス3次元数値解析 数値解析用簡易モデル

### 風洞試験モデル

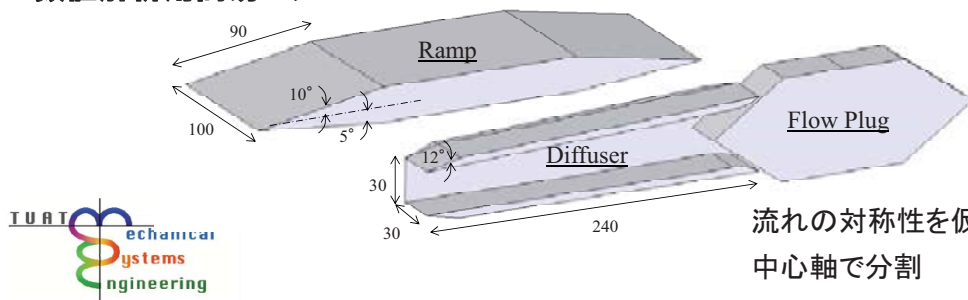


ランプ角 $\delta = 5$ deg or 10deg

可変ランプ壁によるダクトの開口比選択

直管  
拡大管

### 数値解析用簡易モデル

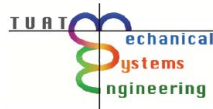
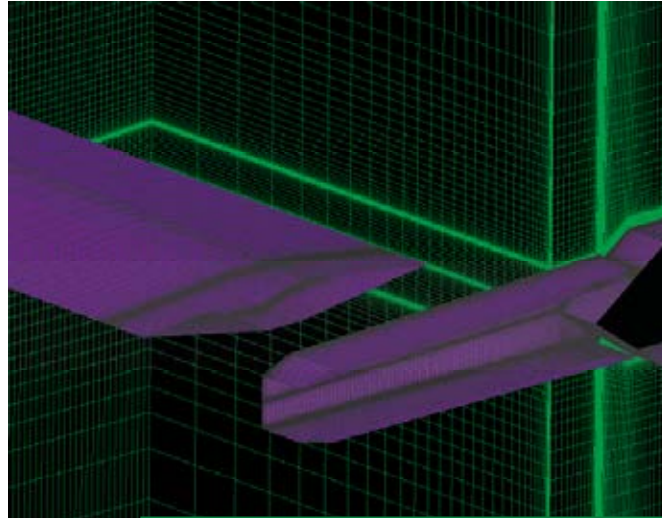


流れの対称性を仮定  
中心軸で分割



21

## UPACSを用いたインテークバス3次元数値解析 計算格子



- ・格子点総数・・・320万点
- ・側壁から中心軸までの領域のみを計算対象
- ・最小格子幅  $10^{-4}$ /ダクト高さ

## UPACSを用いたインテークバス3次元数値解析 計算条件

主流マッハ数 : 2.0

Re数 :  $1.43 \times 10^7$  /m

支配方程式 : RANS

乱流モデル : Spalart-Allmarasモデル

対流項 : Roeスキーム(空間3次精度)

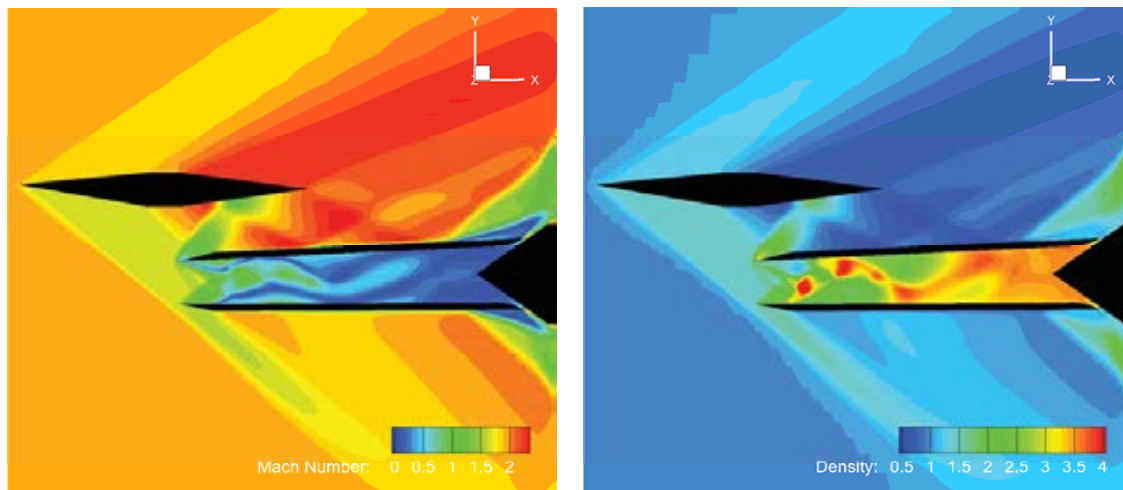
CFL数 : 2000

計算回数 : 70000ステップ



23

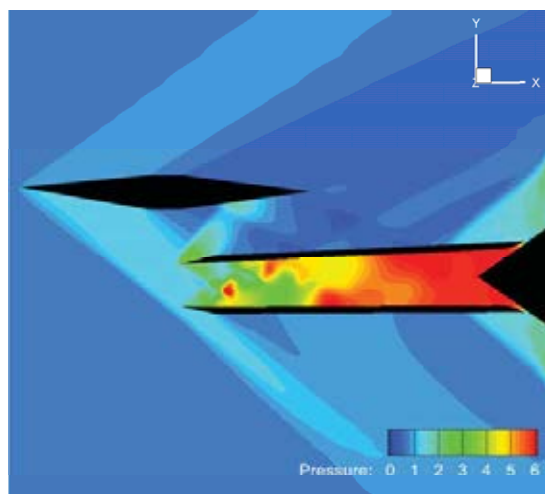
## UPACSを用いたインテークバス3次元数値解析 計算結果



ランプ角 10° , フロープラグ押し込み量 32 mm

24

## UPACSを用いたインテークバス3次元数値解析 実験との比較



実験のフロープラグ押し込み量 最大30 mm  
計算のほうがダクト流量が小さいためにバズが起きない？  
計算が過度に平滑化されている可能性はあるか？

25

今後の予定

### ③ 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

モデル実験が進行中

