

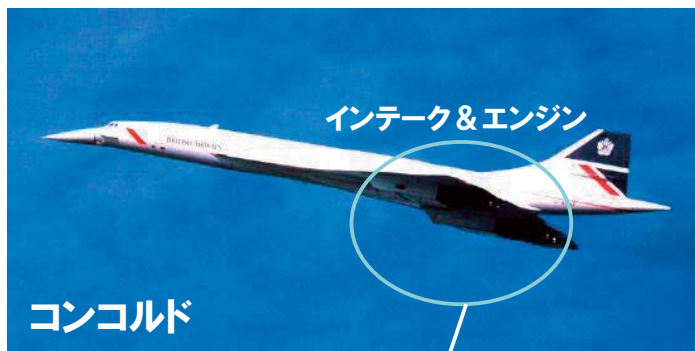
# インテークバズの発生メカニズム解明とその制御 亀田正治（東京農工大学）

- ・ 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
- ・ 研究内容
  - バズ発生 of 2つの型: Ferri型, Dailey型
  - いずれも「**ディフューザ**」での**流れのはく離**が原因
  - UPACSベースの三次元インテークバズ解析
  - JAXA, 農工大風洞実験による検証
  - ディフューザはく離とバズの関係性を明確にし、**効果的なバズ抑制法を提案**

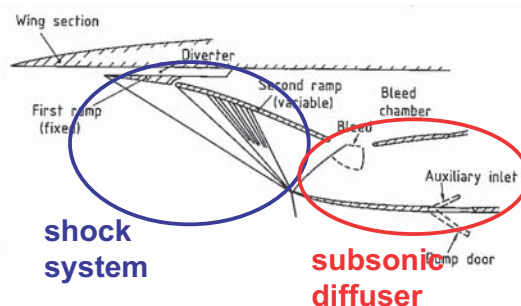


1  
2

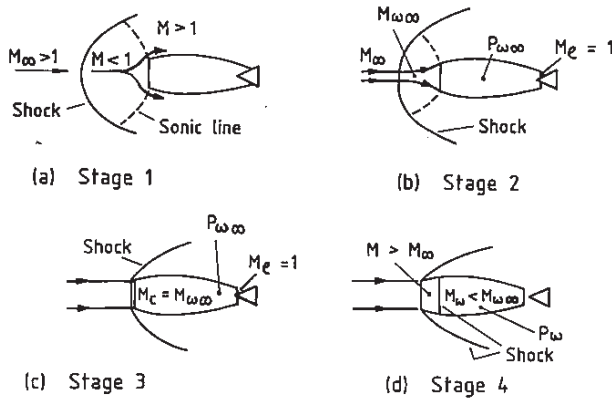
## 超音速エンジンインテーク



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



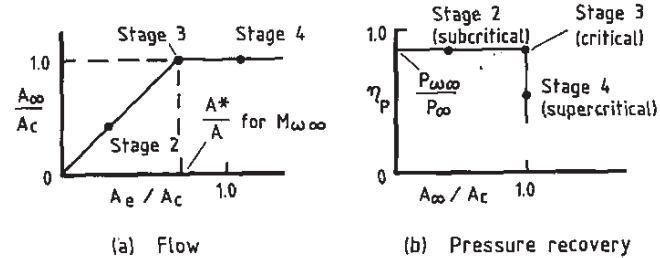
# 超音速インテークの作動状態 (1)



出口開度の違いによる

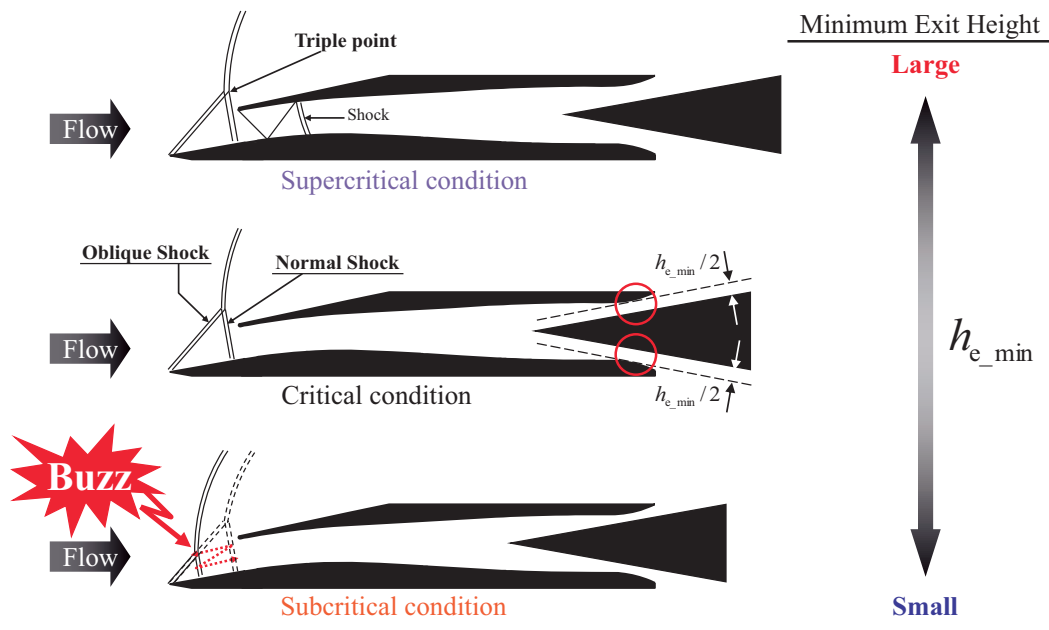
左: 流れ場(衝撃波位置)

下: (a)流量比, (b)総圧回復率  
の変化



出典: Seddon & Goldsmith, Intake Aerodynamics (2<sup>nd</sup> ed) (1999), AIAA

# 超音速インテークの作動状態 (2)



I

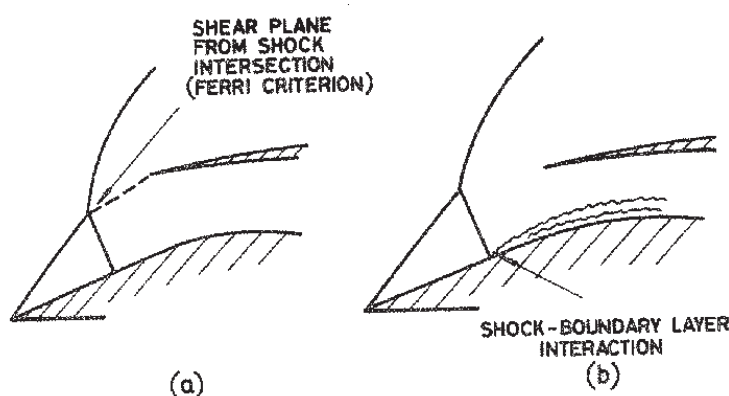
## 衝撃波システム振動現象(buzz) 2つの型

### (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)



バズ発生の予測を正確に行うためのCFD技法の確立  
および、その現代的な検証実験が必要

## 先行CFD研究

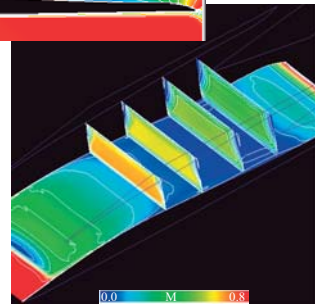
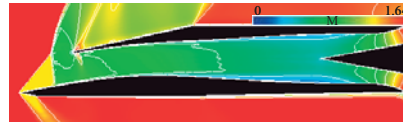
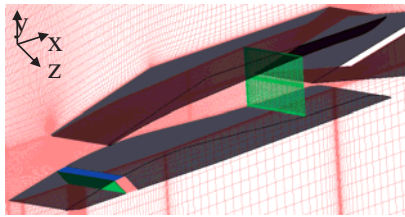
- Lu, P-J. and Jain L-T., *J. Propulsion and Power* 14 (1998), 90-100
  - 台湾の研究グループ
  - Dailey (1955) のコーン型ノーズつきインテークバズ実験との比較
  - RANS方程式 (Baldwin-Lomaxモデル)
  - 支配周波数は実験と良く一致
- Trapier, S., Deck, S. and Deveau, P., *AIAA J.* 46 (2008), 118-131
  - ONERAの研究グループ
  - 同著者 (Trapier, Deveau and Deck *AIAA 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

# 研究計画

## 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

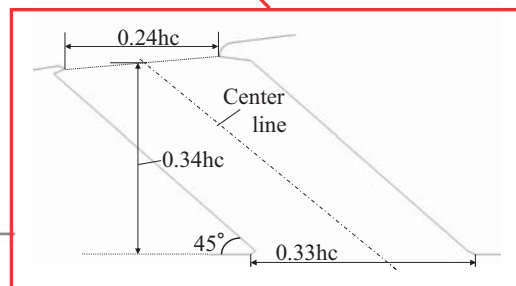
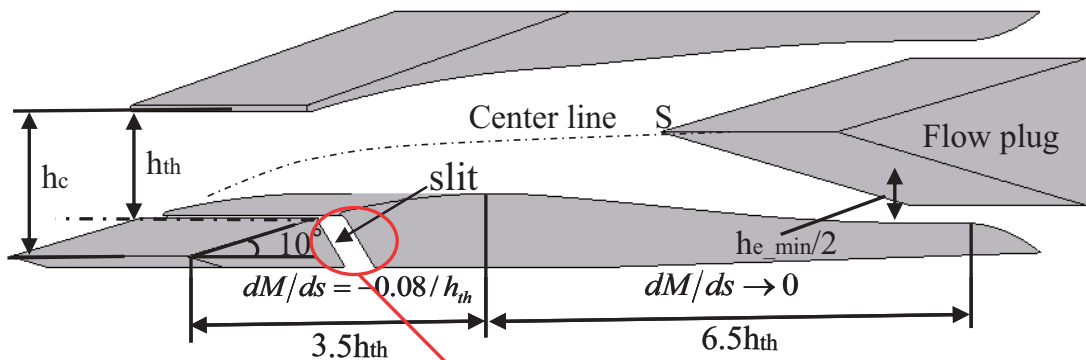


農工大インテーク模型周り  
三次元流れ解析用メッシュと  
解析結果例  
(亜臨界作動時のマッハ数コンター)



これまでの実績を拡張し, JAXA SWT1-05-09  
風洞実験模型周り流れの解析を実施

## これまでの研究成果 農工大インテーク模型のシミュレーション

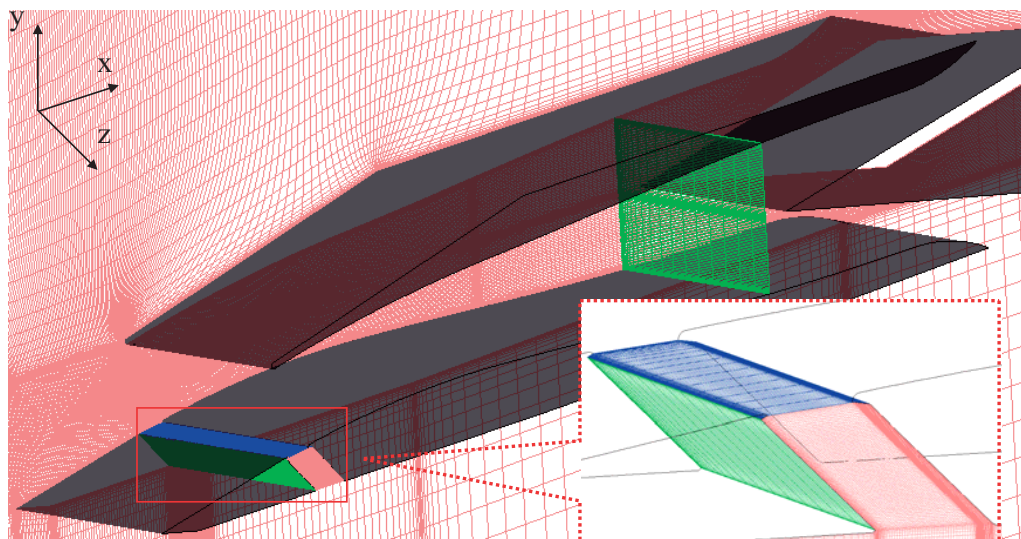


ランプ面側の  
スリット抽気の影響  
に着目



9

## 農工大インテーク模型のシミュレーション 計算格子



- ・格子点総数・・・220万点
- ・側壁から中心軸までの領域のみを計算対象
- ・スリット部には18万点の格子を配置

10

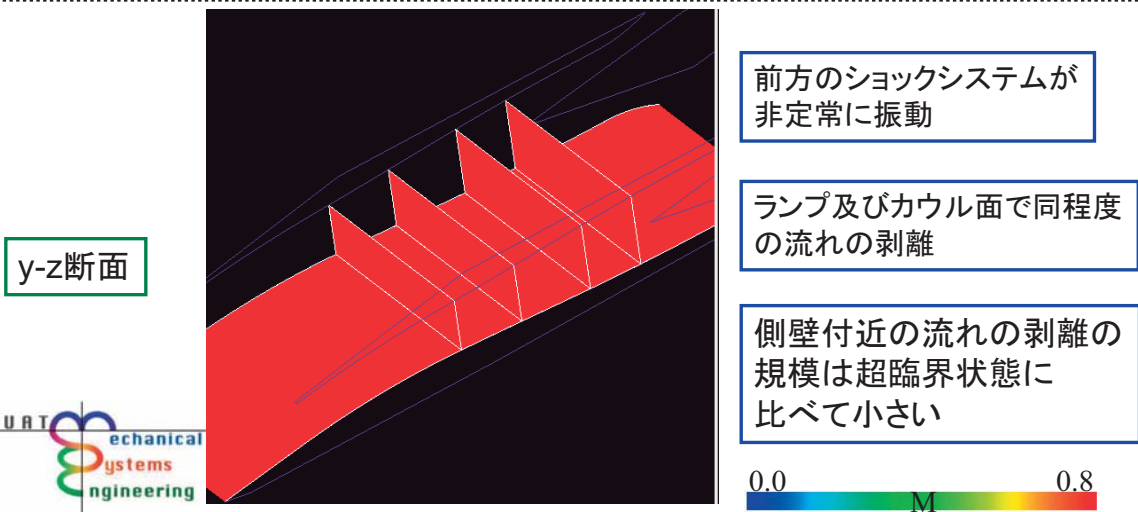
## 農工大インテーク模型のシミュレーション 計算方法, 条件

計算ソルバー	UPACS (Unified Platform for Aerospace Computational Simulation)	
支配方程式	RANS方程式 (Reynolds Averaged Navier-Stokes equation)	
乱流モデル	SAモデル (Spalart-Allmaras model)	
計算条件	一様流マッハ数 $M$	1.64
	よどみ点圧力 $P_0$	300[kPa]
	よどみ点温度 $T_0$	約400[K]
	レイノルズ数 $Re$	約 $2.9 \times 10^5$



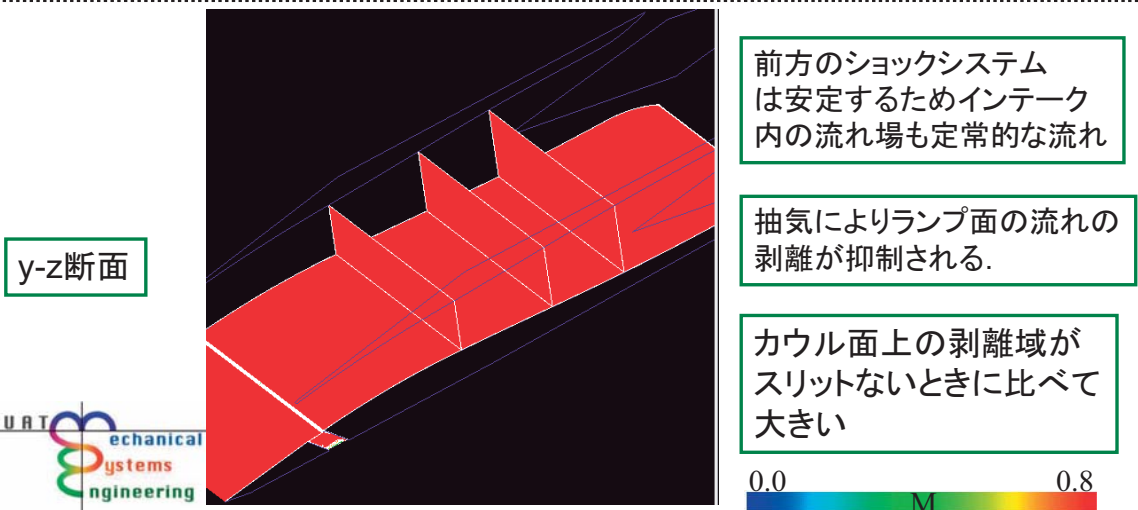
## インテーク内の流れの様子(slitなし)

11



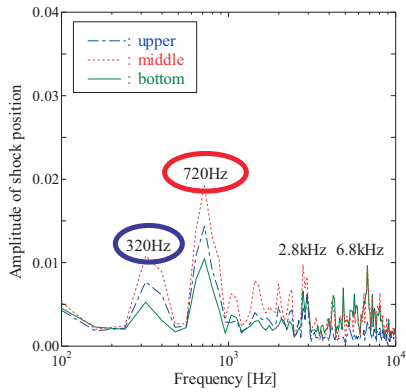
## インテーク内の流れの様子(slitあり)

12

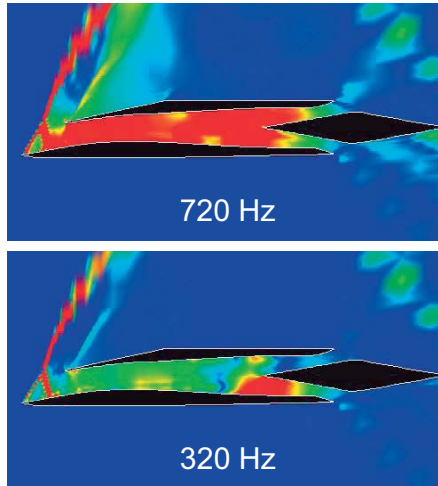




## これまでの研究成果 支配周波数と振幅コンター (Nishizawa et al. 2006)



スリット無しインテークの  
衝撃波位置変動周波数解析結果



気柱共鳴による  
ダクト全体の  
圧力変動

はく離域がダクト出口  
を通る際に生じる  
圧力変動

静圧変動振幅コンター

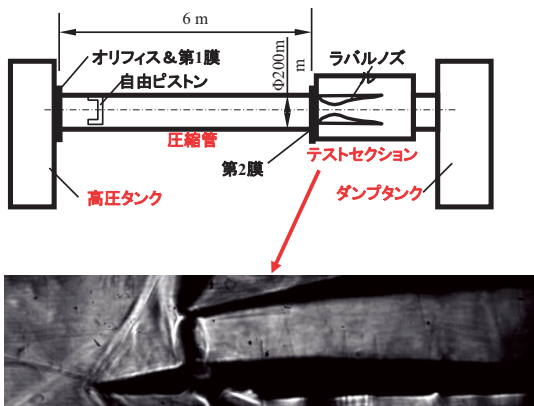


バズの支配周波数と現象との相関が明らかに、  
スリット抽気によって、これらのモードの振幅は抑制。

## 研究計画

### ② JAXAおよび本学風洞実験データによる検証

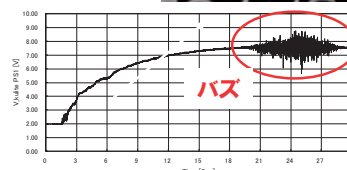
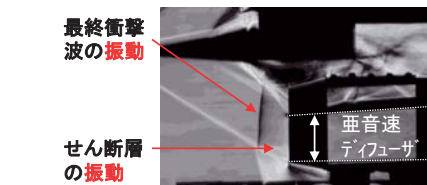
農工大小型超音速風洞による実験



二次元インテーク模型周り流れの  
シュリーレン可視化



JAXA SWT1-05-09  
1m×1m超音速風洞試験

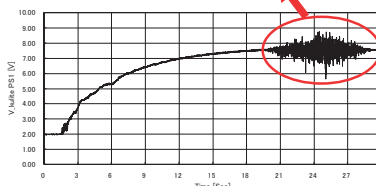
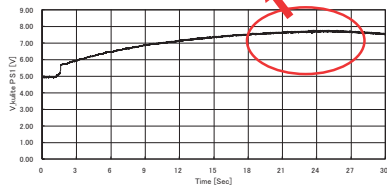
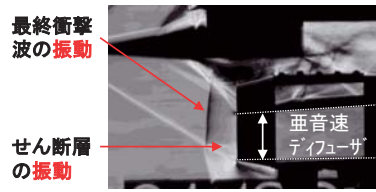
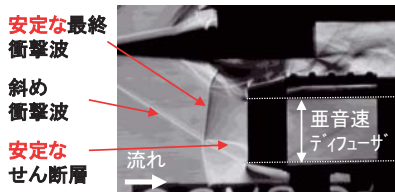


静圧時間履歴

# 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

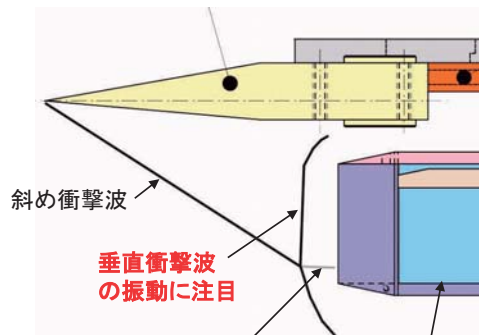
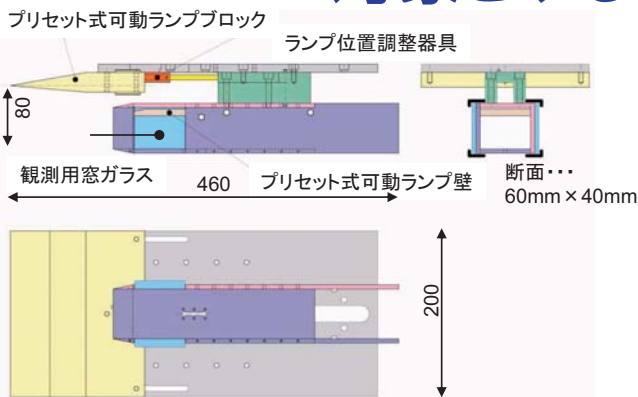


- ・衝撃波振動特性の把握
- 衝撃波振動制御に向けたデータベースに活用
- ・亜音速ディフューザ形状の重要性が明らかに
- 衝撃波の振動を抑制する新たな亜音速ディフューザ設計法の開発に向けた重要な指針となる

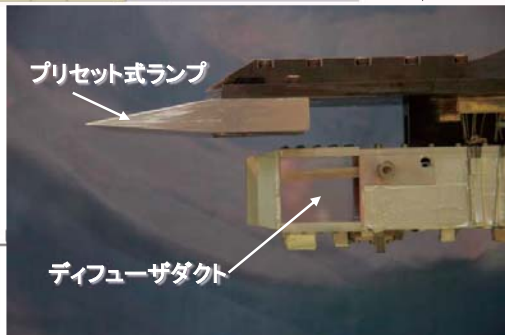
IIU 衝撃波の振動特性を明らかにし, 将来設計技術開発に対する重要な知見を得た



# 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



5箇所で非定常圧力の計測



### 衝撃波の振動現象に関して

- ・せん断層強さの影響
- ・亜音速ディフューザ形状の影響

### 衝撃波の振動特性を取得するために

- ・高速度ビデオによる流れ場の観察
- ・パルス光源による瞬間的な流れ場の観察
- ・非定常圧力変動計測による解析

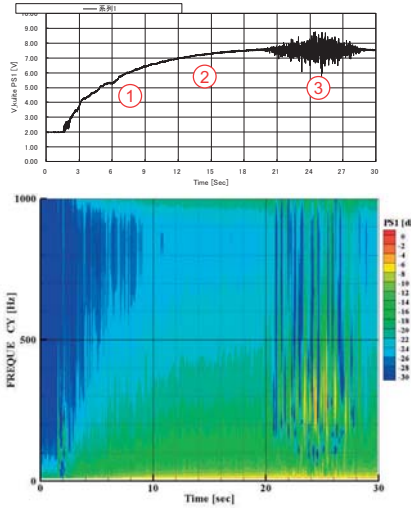


### 試験結果概要 ～バズが発生する場合～

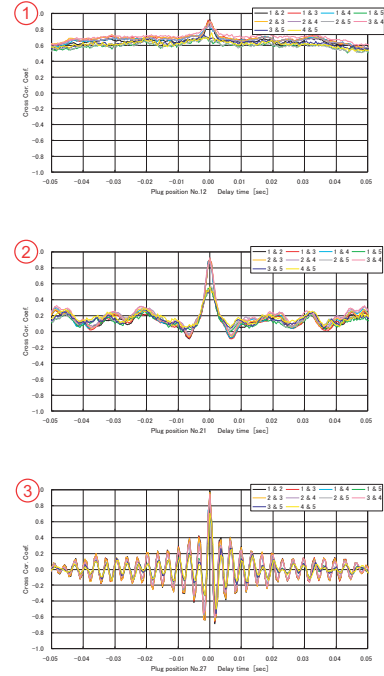
17



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)

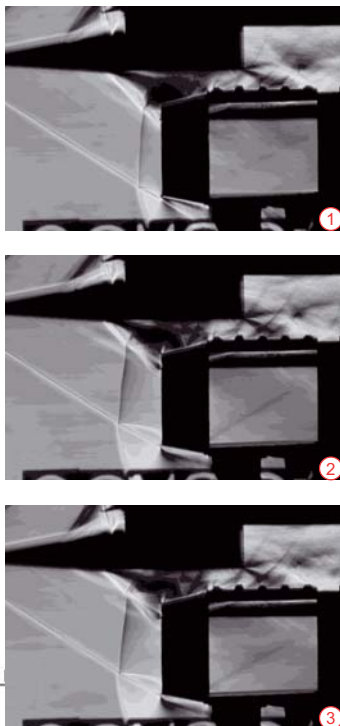


相互相関係数

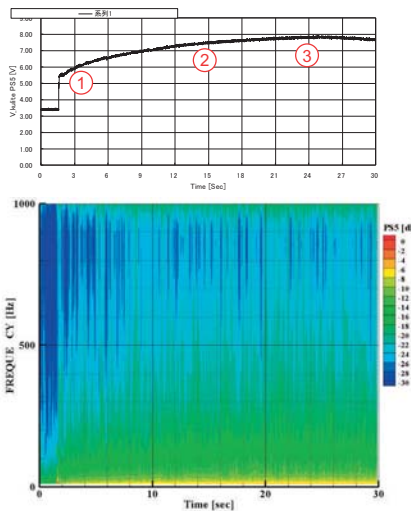
SWT1-05-09超音速インテークのバズ特性風洞試験

### 試験結果概要 ～バズが発生しない場合～

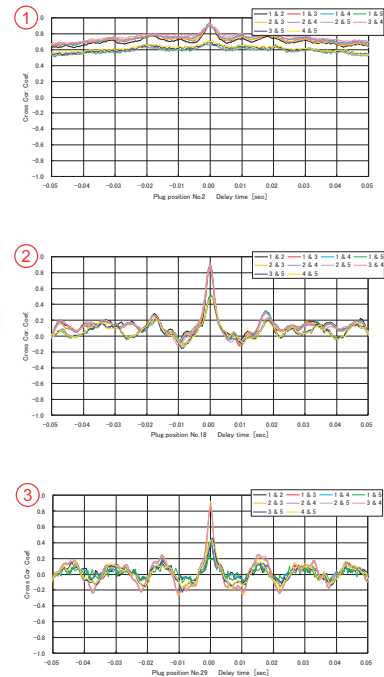
18



M = 2.0  
 $\delta = 5.0 \text{ deg}$   
直管



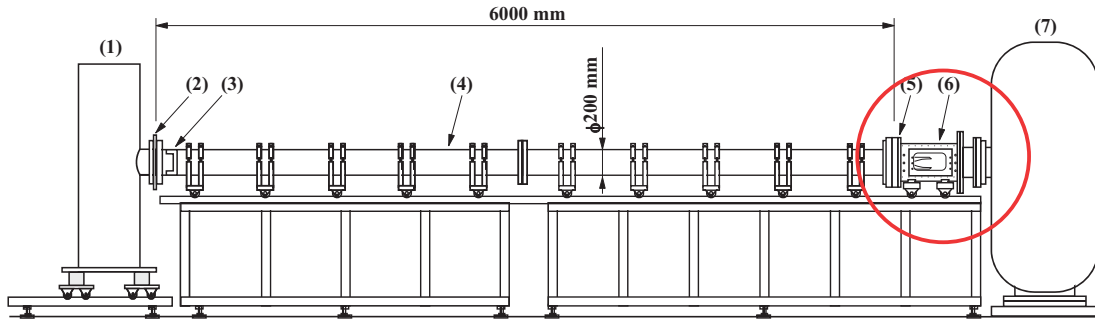
圧力波形(上)と  
時間周波数解析結果(下)



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

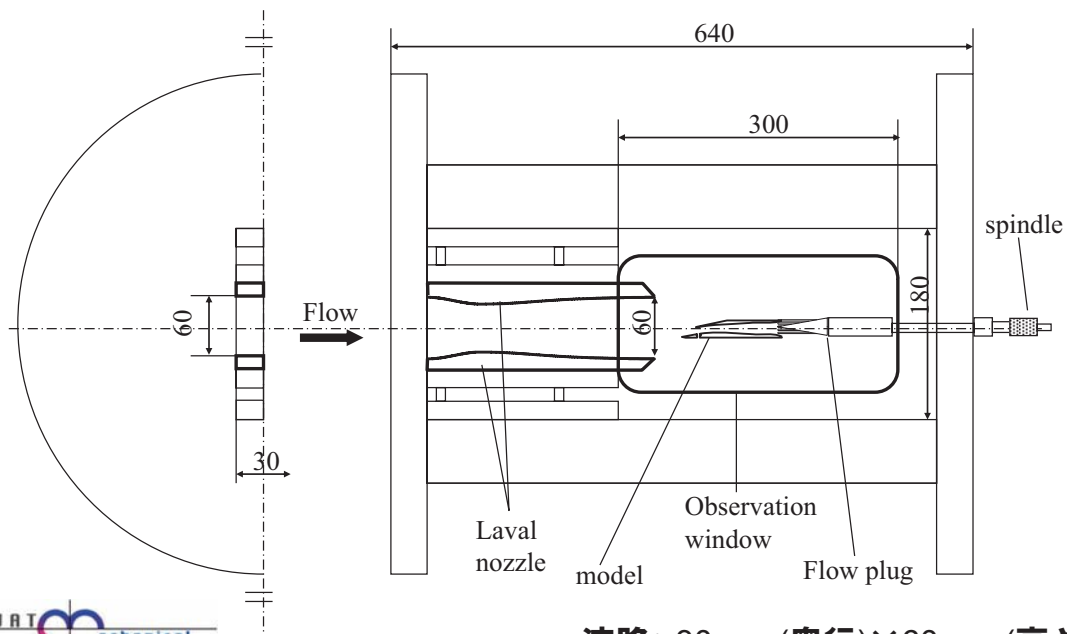
## これまでの研究成果 農工大小型超音速風洞



- (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

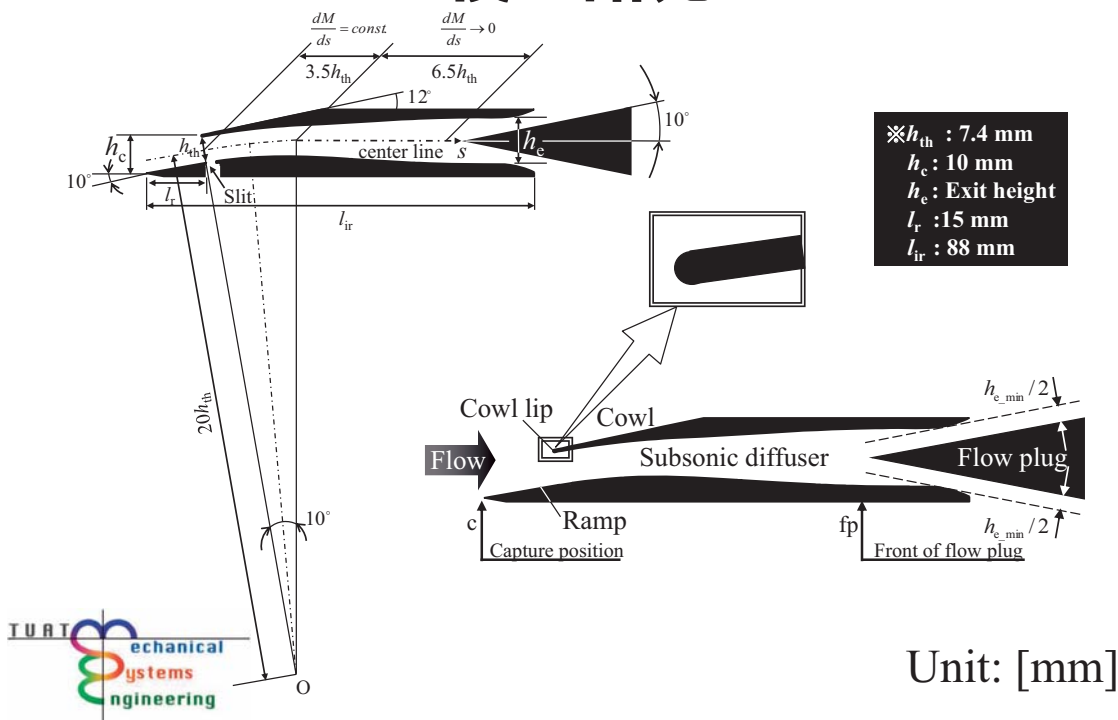
## 農工大小型超音速風洞実験 テストセクション



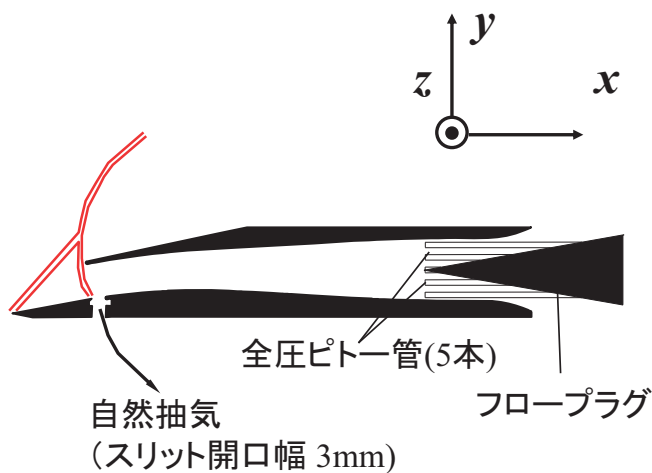
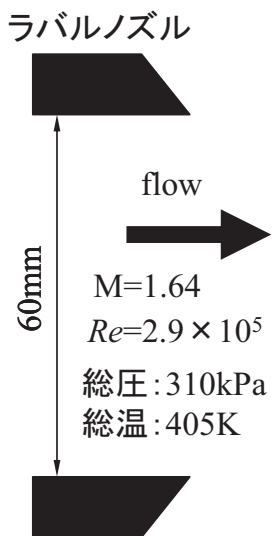
流路: 30 mm(奥行) × 60 mm(高さ)  
模型: 捕獲高さ10 mm, 全長80 mm



# 農工大小型超音速風洞実験 模型諸元



# 農工大小型超音速風洞実験 テストセクション



撮影: シュリーレン法  
(29,000コマ/秒)

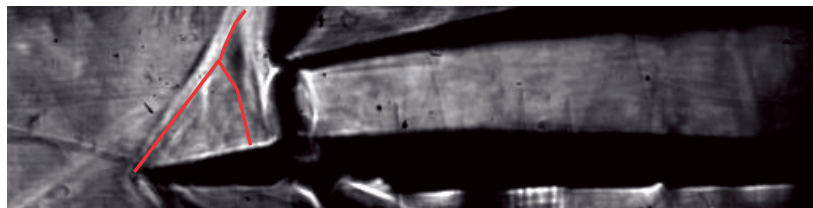


## 農工大小型超音速風洞実験 実験結果（可視化結果）

スリットなし



スリットあり



いずれのケースでもバズが発生

… 風洞側壁が主流に与える影響が原因か？



## 研究計画

③ ①, ②をベースとしたバズ抑制手法の概念検討, 検証実験

