

# 小型温度センサーを用いた流速計測

2021年12月9日(木) 第17回NMIJ 流量計測クラブ

竹川 尚希

# 本日の発表内容

2

## 高空間解像度を有する流速測定手法の評価・検証

液体流量標準研究グループ 竹川 尚希

### 1. 研究背景と課題

### 2. 流速計測手法の説明

### 3. 提案した流速計測手法と流速標準設備との比較実験

3.1 実験概要

3.2 実験結果

### 4. 提案した流速計測手法を用いたノズル内流れの計測

4.1 実験概要

4.2 数値解析概要

4.3 実験および数値解析結果

### 5. まとめと今後

# NMIJの標準範囲(気体流量)

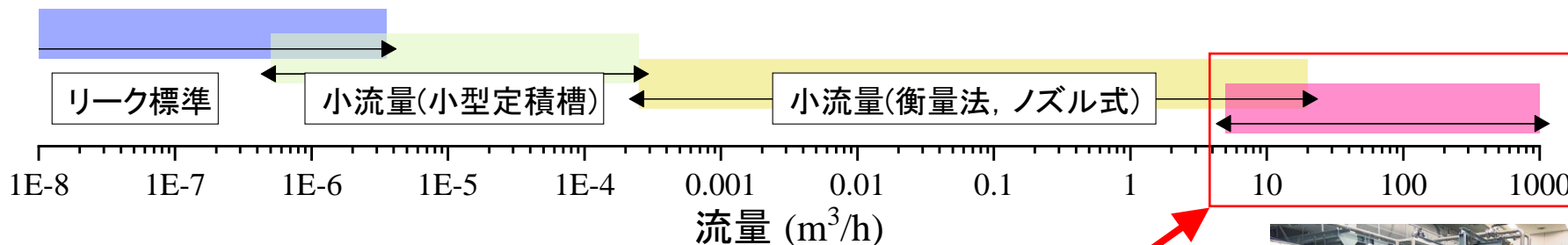
3

気体中量以上 : 大型エンジン、パイプライン

気体中流量 : プラント内の流量管理、ガスメータ、排ガス

気体小流量(衡量法、ノズル式) : 半導体、水素ステーション、ガスメータ

気体小流量(小型定積槽) : 半導体



気体中流量(定積槽および閉ループ)を担当



# 気体中流量のトレーサビリティ

4

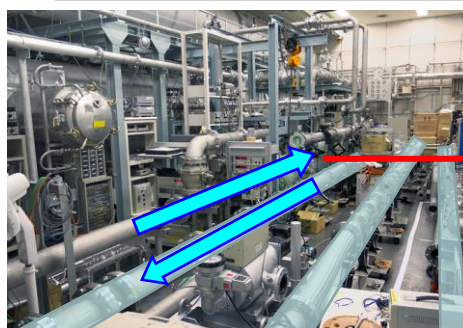
定積槽 (国家標準)

流量: 5~200 m<sup>3</sup>/h, 圧力: 0.1~0.5 MPa



臨界ノズル (2次標準)

流量: 5~1000 m<sup>3</sup>/h, 圧力: 0.1~0.5 MPa



臨界ノズル設置位置

閉ループ

被校正流量計

150A 100A 50A 流量計校正ライン

## 流量計の校正には臨界ノズルを使用

# ISO 9300と臨界ノズル

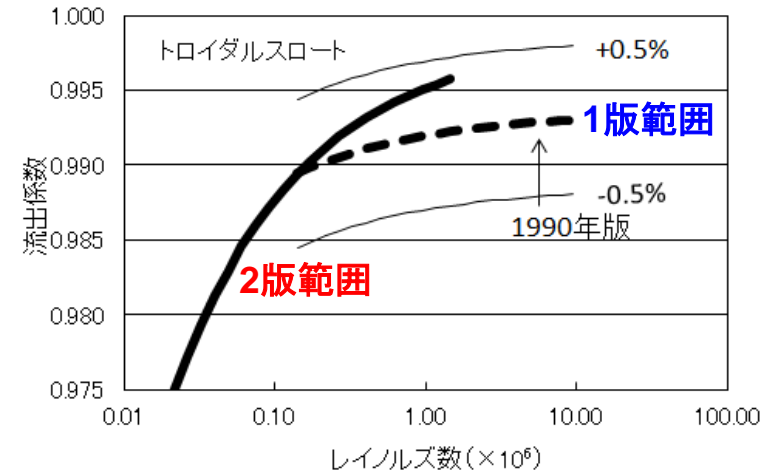
5

第1版1990年



低流量域の特性を追加し、第2版となる。

第2版2005年



2020年から第3版の作成が行われている。

現在、国際規格原案 (Draft International Standard) の承認までが終了している。

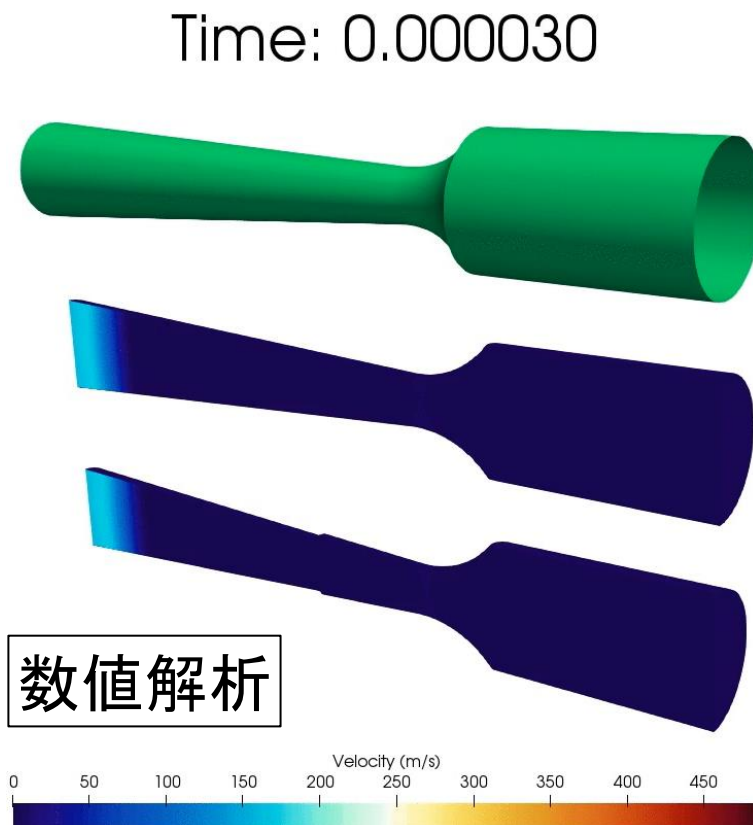
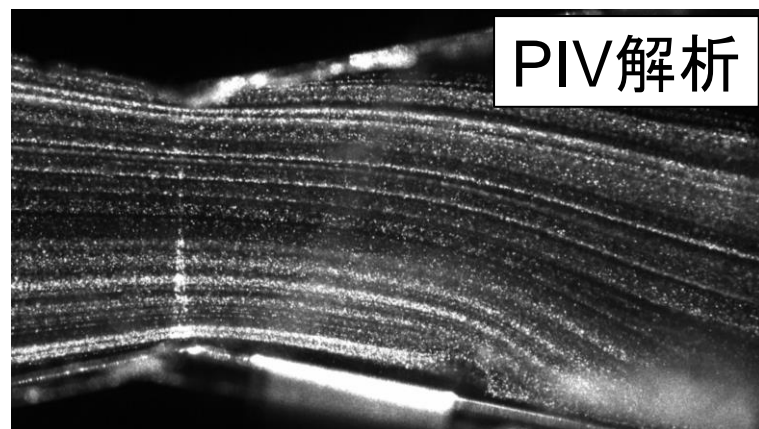
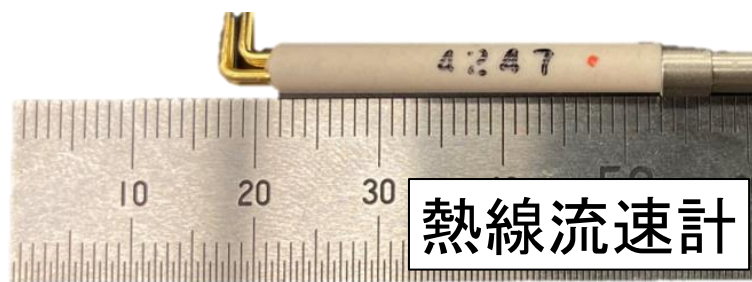
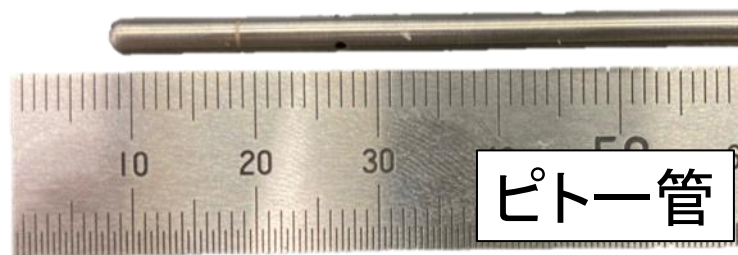
第3版での改定内容

- Sカーブ (層流 $\leftrightarrow$ 乱流遷移を考慮) の導入
- 1点校正法の導入
- ノズル形状に関する仕様の緩和
- 臨界関数の値の検証

課題

- ノズル形状の合理的な設定
- 臨界背圧比の推定

# ノズル内計測の難しさ



# 本日の発表内容

7

## 高空間解像度を有する流速測定手法の評価・検証

液体流量標準研究グループ 竹川 尚希

### 1. 研究背景と課題

### 2. 流速計測手法の特徴と応用

### 3. 提案した流速計測手法と流速標準設備との比較実験

3.1 実験概要

3.2 実験結果

### 4. 提案した流速計測手法を用いたノズル内流れの計測

4.1 実験概要

4.2 数値解析概要

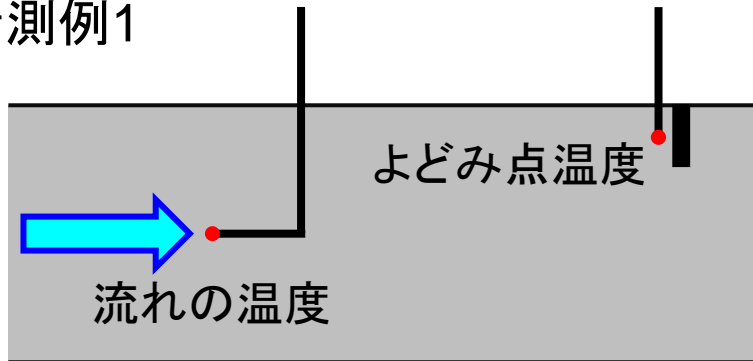
4.3 実験および数値解析結果

### 5. まとめと今後

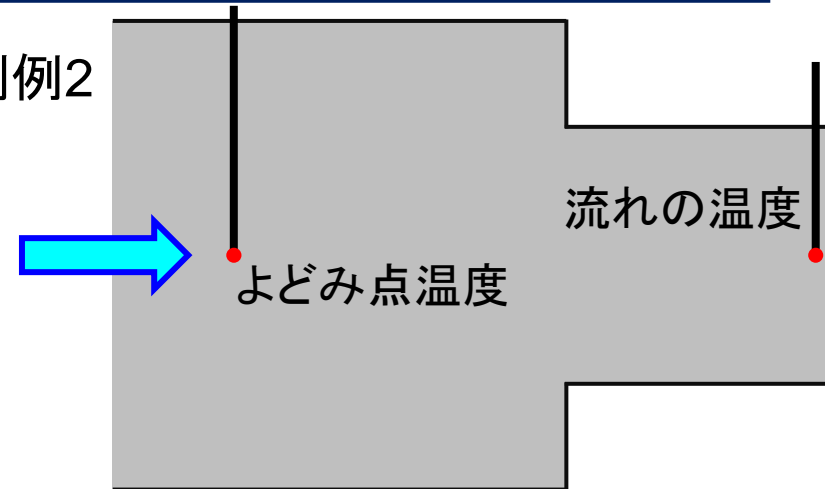
# 提案した流速計測手法の特徴

8

計測例1



計測例2



## 考えられるメリット

- 微小空間内での低擾乱な計測が可能。  
(⇔ピトー管)。
- 物理モデルに基づく計測手法  
(校正不要?? ⇔熱線流速計)。
- 高速流に適用可能
- 高温場での適用が可能。
- 温度計の種類に依存しない。
- 30Hz程度の応答速度(今回の場合)。
- 安価で簡便な手法  
(現場での適用が可能⇔PIV & LDV)。

## 考えられるデメリット

- 2点での測定が必要(温度差)。
- 流速40 m/s以下での適用が難しい。
- 液体に適用できない。
- 断熱流れを仮定。

詳細な計測原理については下記論文をご参照願います。  
(9日時点ではアクセスできません。11日以降アクセス可。)

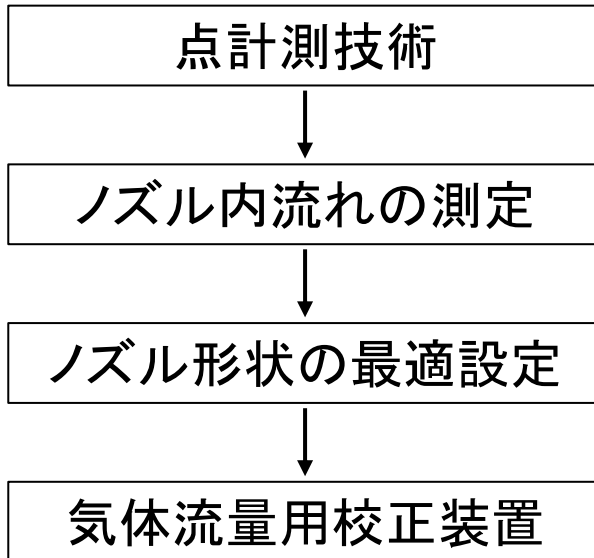
<http://www.nature.com/articles/s41598-021-02877-w>



# 提案した流速計測手法の応用

9

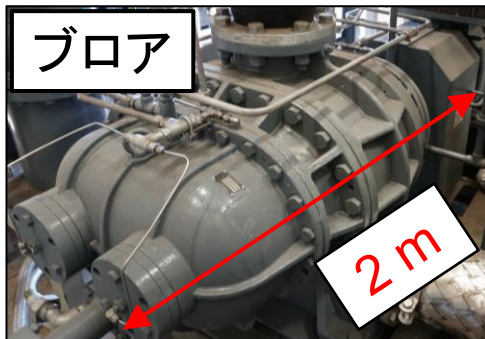
## 今回の内容



## その他での応用

- 高速気体流速
- 宇宙航空分野(高温、高速)
- 変動流・乱流計測
- 装置内流速、微小空間内流速

計測原理  
小型センサー



- 機器効率化
- 設備小型化
- コストダウン
- 省エネ

提案した流速計測手法の精度を検証し、ノズル内の流速計測に応用した。

# 本日の発表内容

10

## 高空間解像度を有する流速測定手法の評価・検証

液体流量標準研究グループ 竹川 尚希

### 1. 研究背景と課題

### 2. 流速計測手法の特徴と応用

### 3. 提案した流速計測手法と流速標準設備との比較実験

3.1 実験概要

3.2 実験結果

### 4. 提案した流速計測手法を用いたノズル内流れの計測

4.1 実験概要

4.2 数値解析概要

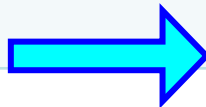
4.3 実験および数値解析結果

### 5. まとめと今後

# 実験概要（流速標準設備との比較実験）

11

Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Flow Velocity (m/s)
394	39
587	58
775	76
957	94



流量標準  
から  
流速標準

Standard nozzle

Blower

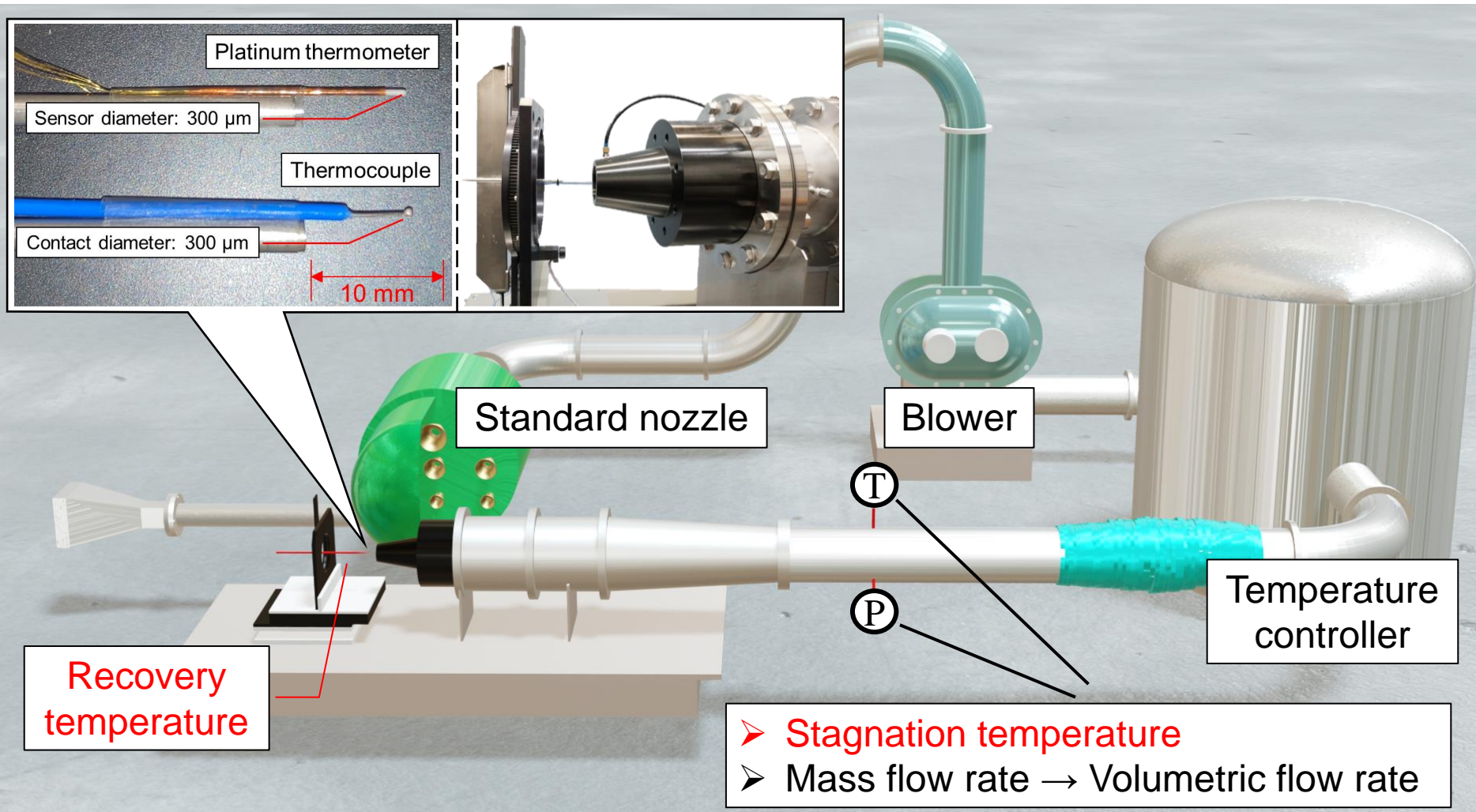
Temperature controller

Recovery temperature

- Stagnation temperature
- Mass flow rate → Volumetric flow rate

# 実験概要（流速標準設備との比較実験）

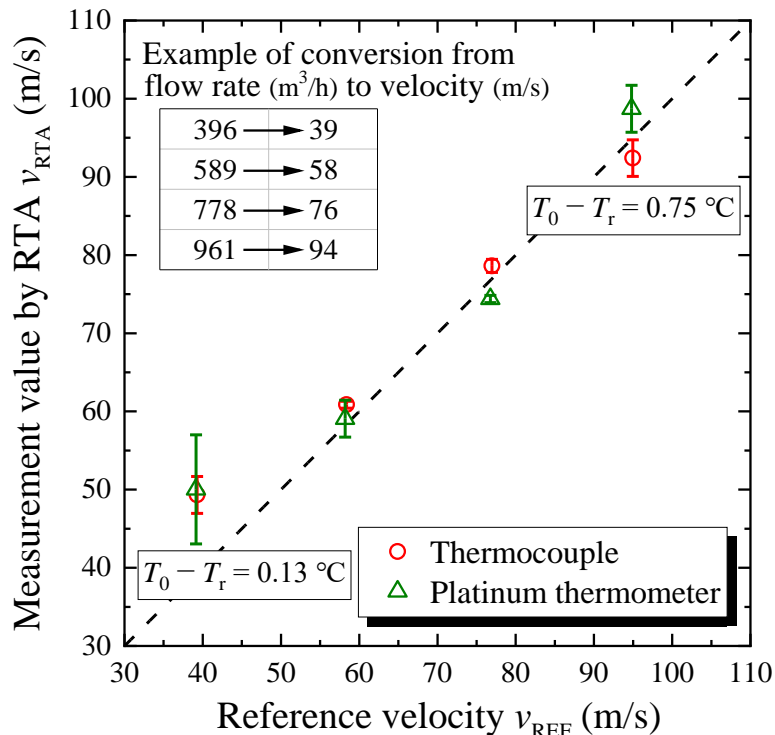
12



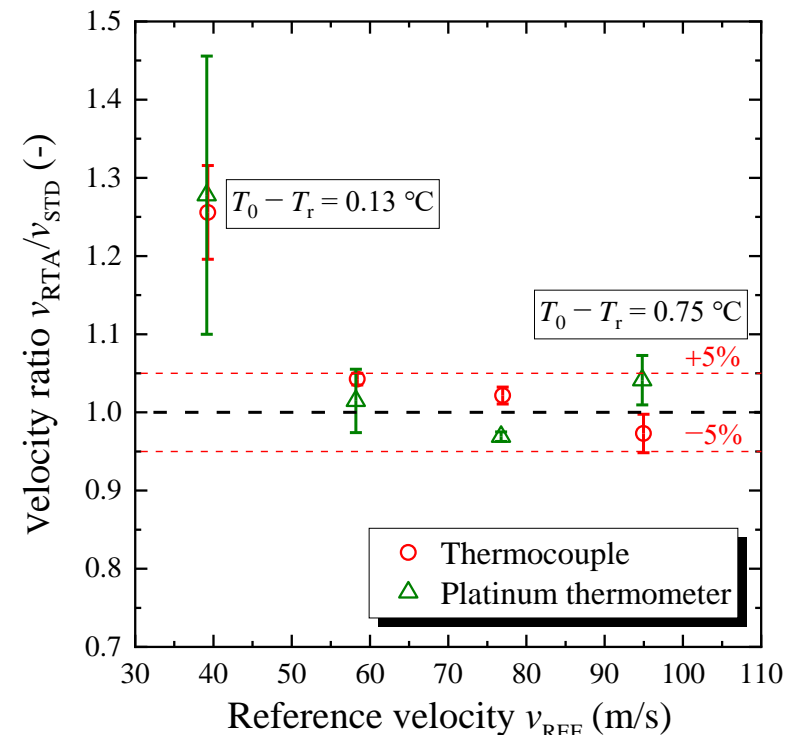
# 実験結果（流速標準設備との比較実験）

13

## 絶対値による評価



## 比率による評価



流速が60~100 m/sの範囲では、温度計の種類によらず流速標準からの差は5%以内に収まることが確認された。

# 本日の発表内容

14

## 高空間解像度を有する流速測定手法の評価・検証

液体流量標準研究グループ 竹川 尚希

### 1. 研究背景と課題

### 2. 流速計測手法の特徴と応用

### 3. 提案した流速計測手法と流速標準設備との比較実験

3.1 実験概要

3.2 実験結果

### 4. 提案した流速計測手法を用いたノズル内流れの計測

4.1 実験概要

4.2 数値解析概要

4.3 実験および数値解析結果

### 5. まとめと今後

# 実験概要

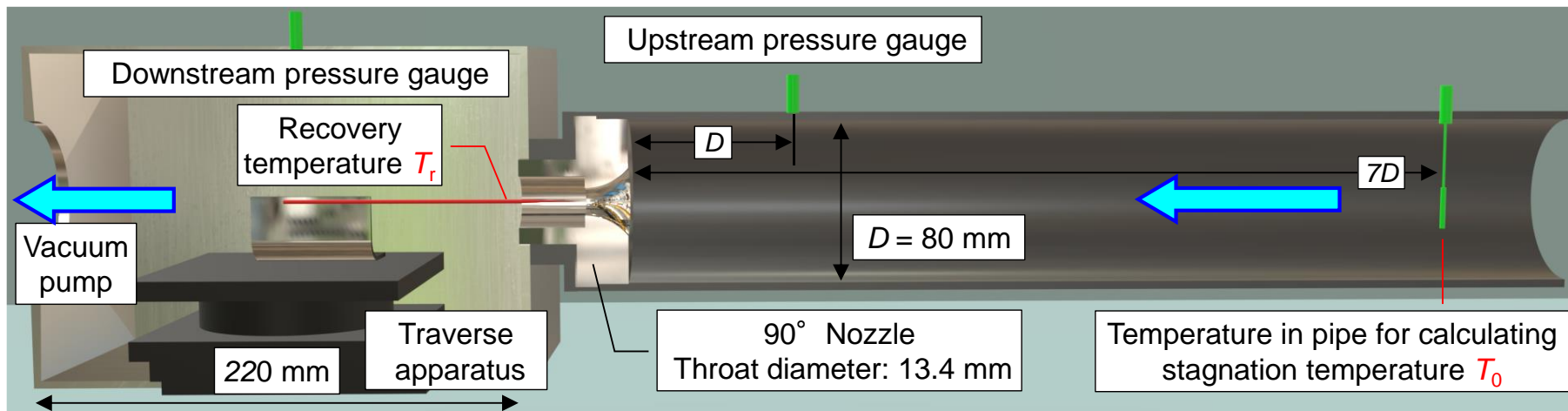
15

## 実験手順

- ① 真空ポンプを用いて、背圧比を段階的に減少させる。
- ② トラバース装置を用いて、スロートおよびスロート下流の流速（回復温度）分布を計測。

※ノズル直径:13.4 mm, 上流圧:100 kPa, 臨界背圧比: 0.53

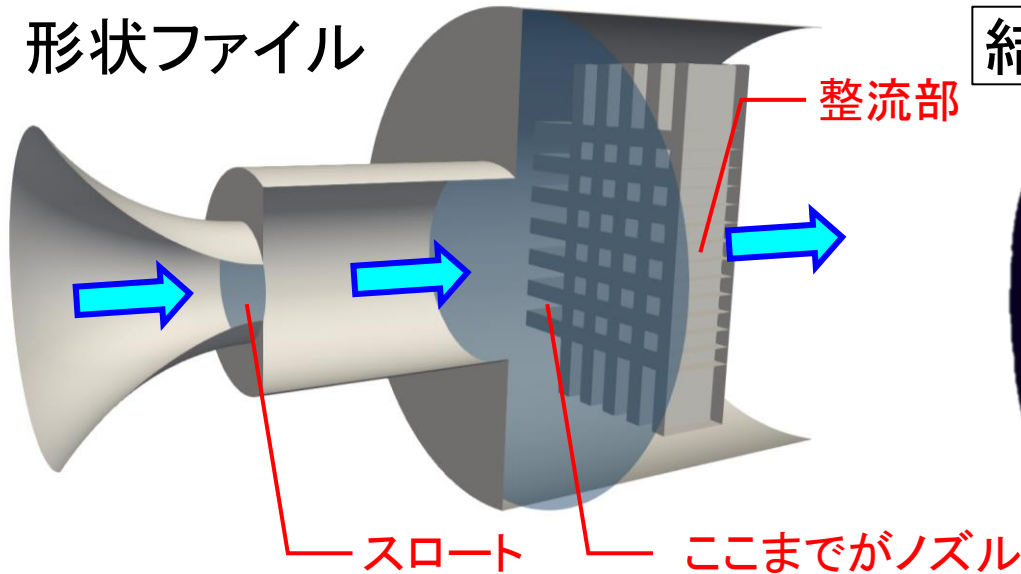
計測項目:スロート下流の流速分布(軸方向)



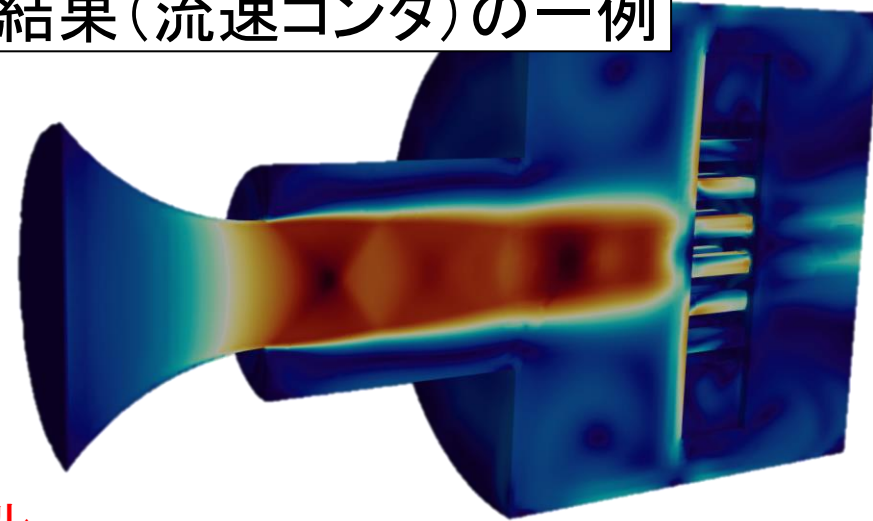
# 数値解析概要

16

形状ファイル



結果(流速コンタ)の一例



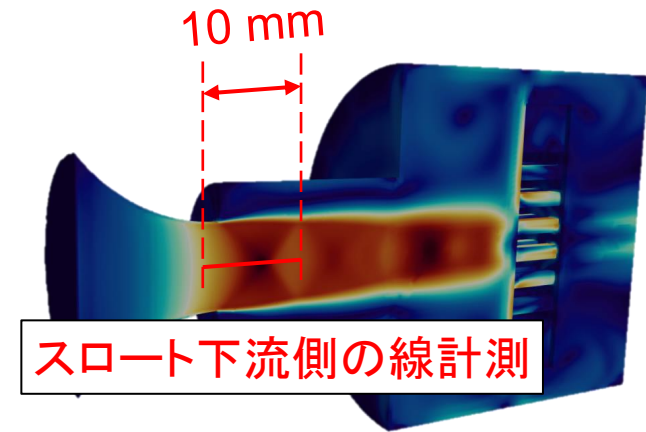
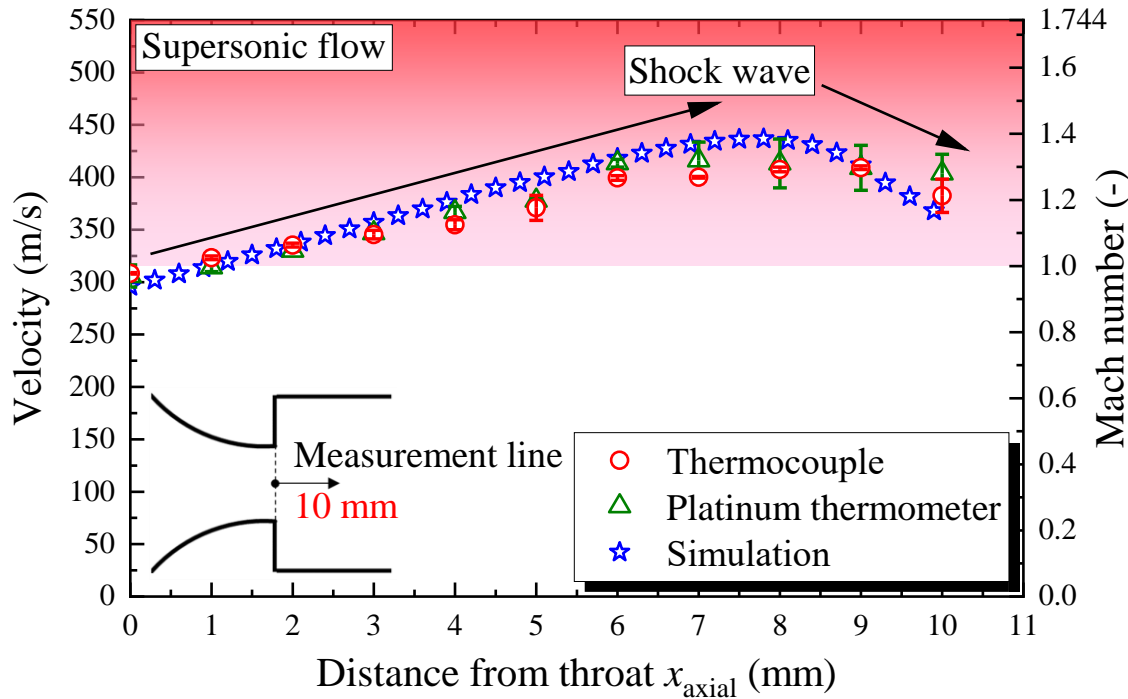
解析ソフトウェアOpenFOAMを用いて非定常解析を実施

- スロート直径: 13.4 mm
- 背圧比: 0.4 (上流: 100 kPa, 下流: 40 kPa)
- 乱流モデル: k-omega Shear Stress Transport (SST)



# スロート下流の流速分布（軸方向）

17



ノズル内部で生じる衝撃波などの傾向を捉えており、超音速領域においても本手法の妥当性が確認される。

# 本日の発表内容

18

## 高空間解像度を有する流速測定手法の評価・検証

液体流量標準研究グループ 竹川 尚希

### 1. 研究背景と課題

### 2. 流速計測手法の特徴と応用

### 3. 提案した流速計測手法と流速標準設備との比較実験

3.1 実験概要

3.2 実験結果

### 4. 提案した流速計測手法を用いたノズル内流れの計測

4.1 実験概要

4.2 数値解析概要

4.3 実験および数値解析結果

### 5. まとめと今後

# まとめ

19

プローブ型熱電対および白金抵抗測温体に注目し、得られた回復温度とよどみ点温度から流速を算出する手法について検証した。

## 実験結果

- 流速標準との比較 → 5%の範囲内で一致
- ノズル流れの計測 → 数値解析と良好な一致

## 考えられるメリット

- 微小空間内での低擾乱な計測が可能。  
(⇔ピトー管)。
- 物理モデルに基づく計測手法  
(校正不要?? ⇔熱線流速計)。
- 高速流に適用可能
- 高温場での適用が可能。
- 温度計の種類に依存しない。
- 30Hz程度の応答速度(今回の場合)。
- 安価で簡便な手法  
(現場での適用が可能⇔PIV&LDV)。

## 考えられるデメリット

- 2点での測定が必要(温度差)。
- 流速40 m/s以下での適用が難しい。
- 液体に適用できない。
- 断熱流れを仮定。

数値解析の紹介？

<https://staff.aist.go.jp/takegawa-naoki/numericalSimulation/>



ご清聴ありがとうございました。