

回転デトネーションエンジンにおける燃焼器サイズ効果に関する数値解析

慶應義塾大学理工学部機械工学科
松尾亜紀子

15th JHPCN Symposium, 2023/7/6

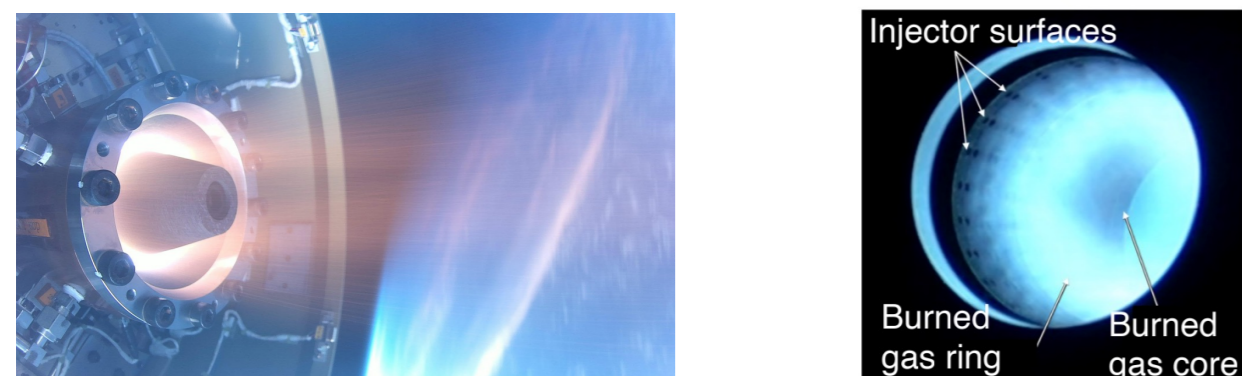
研究背景および目的

デトネーション

- 燃焼波が超音速で伝播する予混合燃焼
- 先行衝撃波, 誘導領域, 反応領域によって構成

回転デトネーションエンジン (RDE)

- 燃焼器内をデトネーションが回転伝播
- 一般的な燃焼器形状は二重円筒型
- 理論熱効率の向上, 圧縮機の簡略化が可能



Space Flight Demonstration of RDE^[1] Cylindrical RDE by Goto et al.^[2]

実用化への課題

- 現在のRDEの実験スケールは未だ小さく, さらなる大型化が想定される
→ 現在の実験スケール: 半径200 mm程度
- 実用化に伴う燃焼器の大型化に関する知見は少ない

[1] Goto et al. Journal of Spacecraft and Rockets, 2023
[2] Goto et al. Journal of propulsion and power, 2022.

本研究の目的

燃焼器のサイズ効果がデトネーションの伝播や推進性能に与える影響を定量的に評価する

本報告の内容

サイズの異なる3種類の二重円筒燃焼器の流れ場および推進性能の比較

数値解析手法および解析条件

(in-house code)

支配方程式

- 3次元圧縮性Euler方程式
- 状態方程式 (熱的完全を仮定)
- 9化学種の保存則
($H_2, O_2, H, O, OH, H_2O, HO_2, H_2O_2, N_2$)

化学反応モデル

Hong et al.(2011)^[3] による詳細反応モデル (9化学種20素反応を考慮)

離散化手法

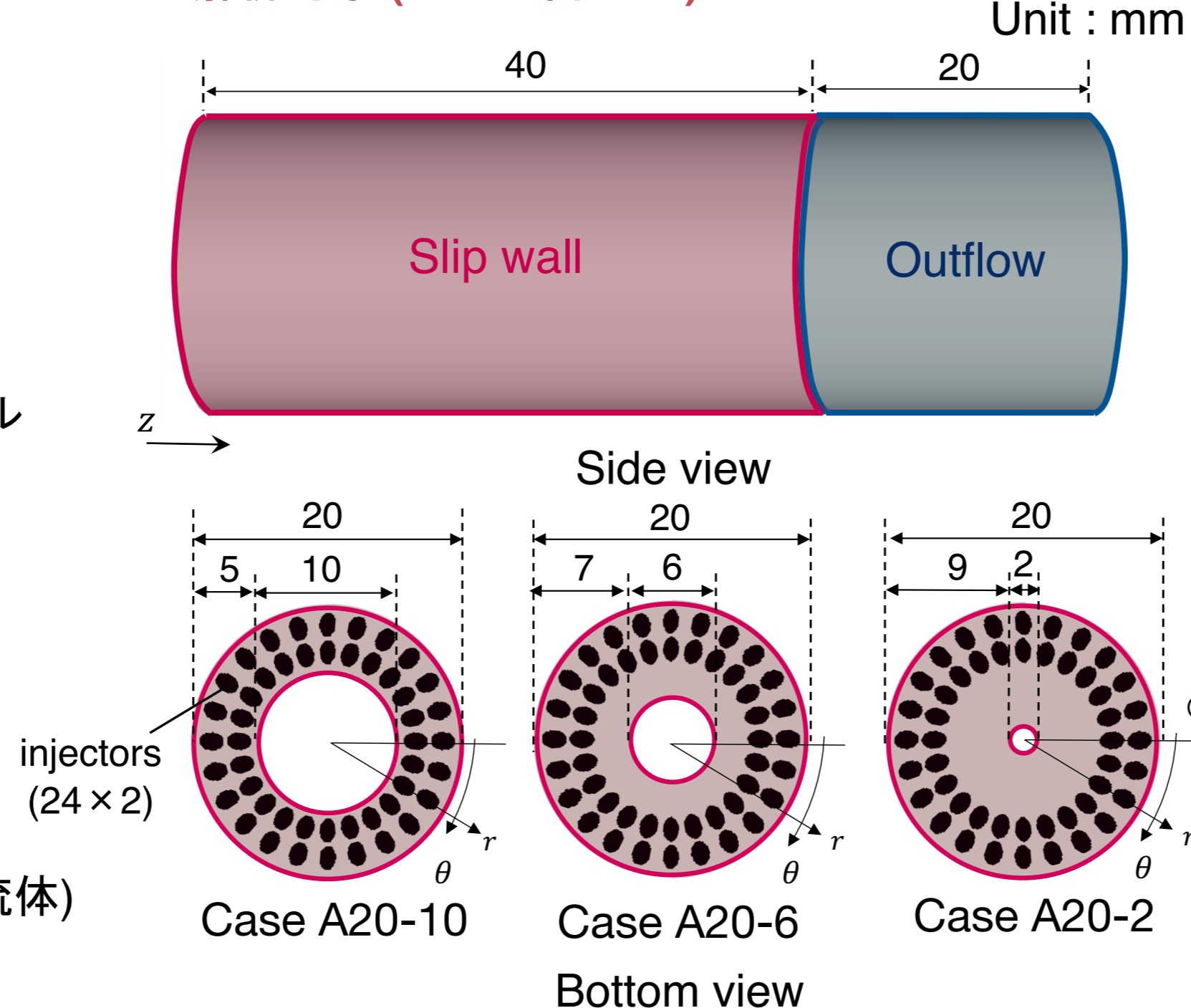
AUSM-DV (MUSCL法により3次精度化)

時間積分手法

- Point Implicit法 (化学反応)
- 3 stages 3rd order TVD Runge-Kutta (流体)

[3] Hong et al. Combustion and flame, 2011.

解析対象 (二重円筒RDE)



流入条件

全圧: 1.0 MPa
全温: 298 K
組成: $2H_2-O_2-3.76N_2$ 予混合気

境界条件

- 断熱滑り壁
- 超音速流出時: 外挿
- 亜音速流出時: 定圧 (10 kPa)

格子条件

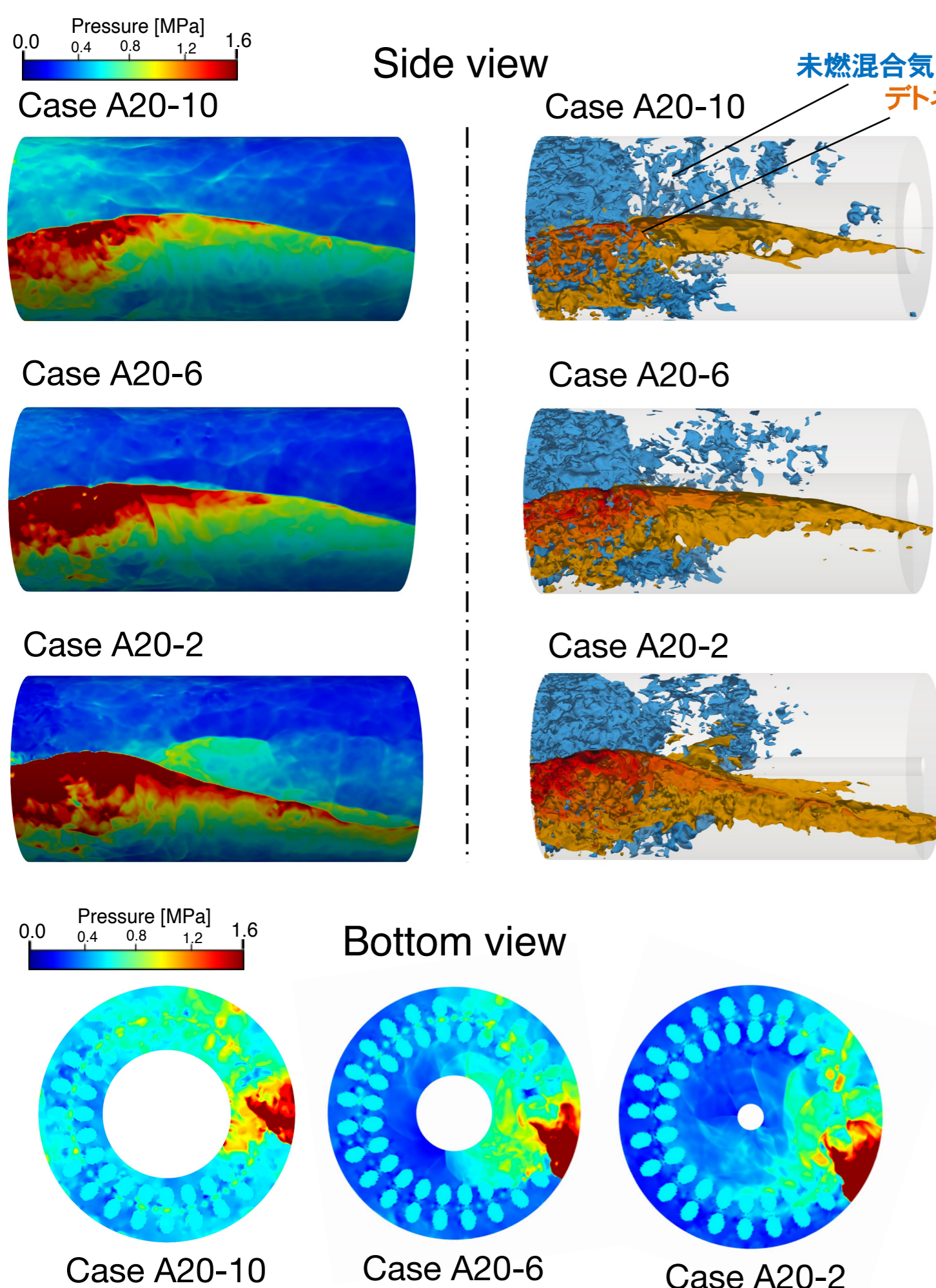
- A20-10** 点数: $105 \times 1005 \times 698$ pts.
格子幅: 31-63 μm
- A20-6** 点数: $145 \times 1005 \times 698$ pts.
格子幅: 19-63 μm
- A20-2** 点数: $187 \times 1005 \times 698$ pts.
格子幅: 6-63 μm

使用した計算機

東北大学サイバーサイエンスセンター
サブシステム AOBA(SX-Aurora TSUBASA)

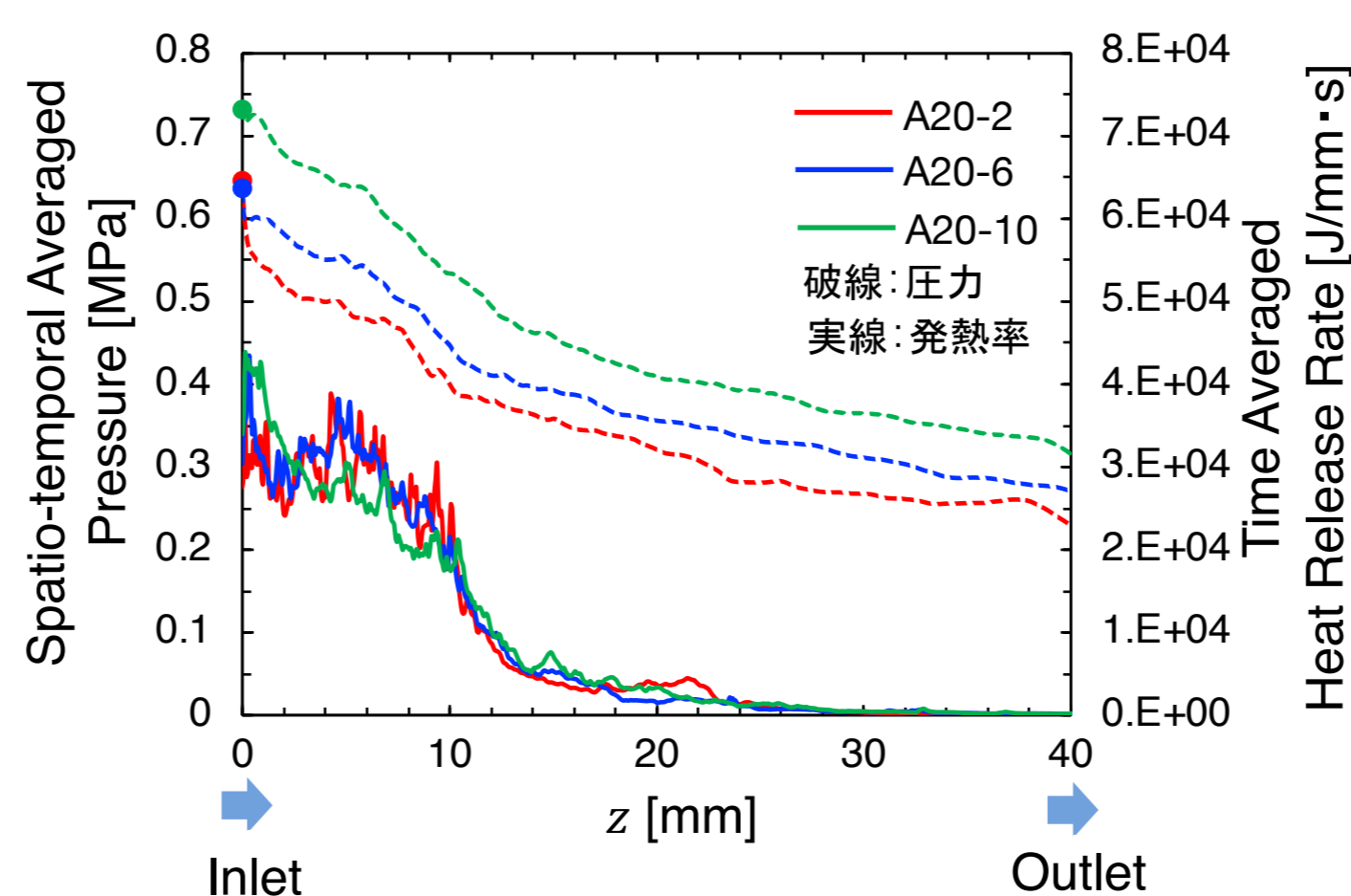
結果および今後の展望

燃焼器内部の可視化

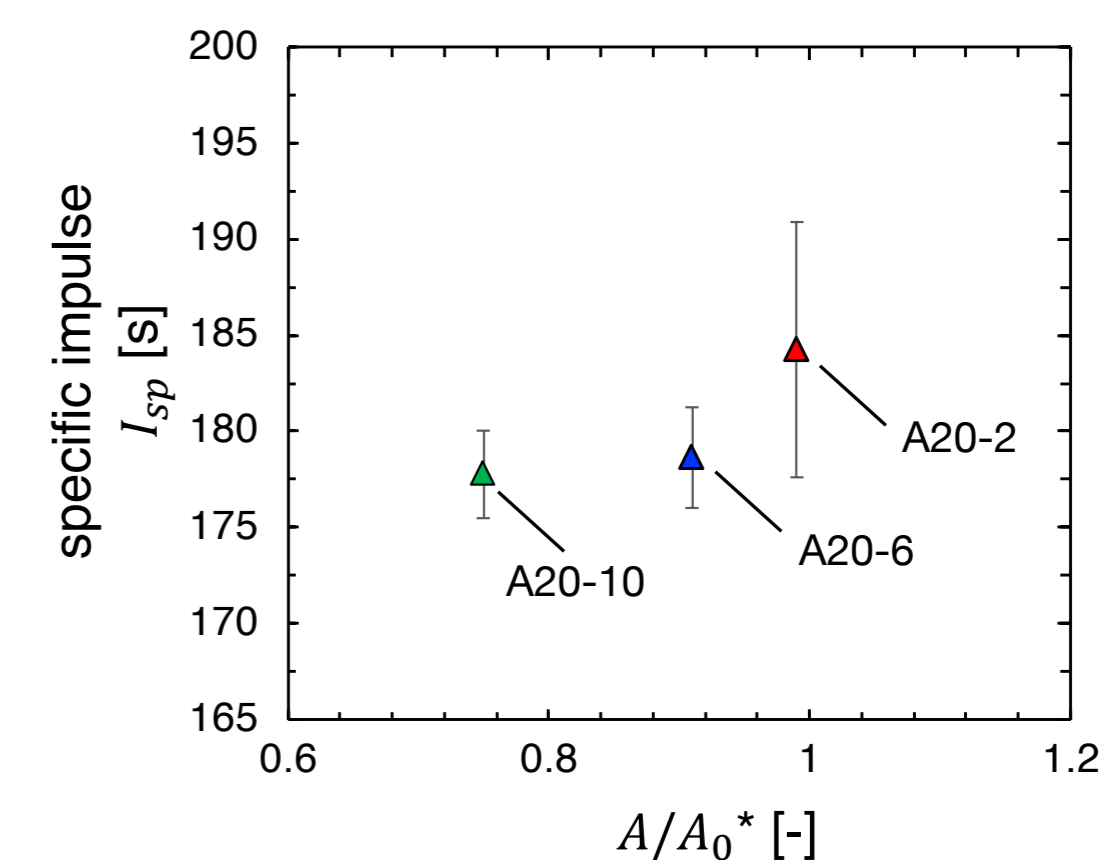


燃焼器特性および推進性能

- はっきりとした斜め衝撃波を伴う波面が1つ伝播
- 内筒の直径が小さくなると推進性能は向上



* 内筒のない直径20 mmの燃焼器の底面積



Case	内筒直径 D_i [mm]	底面積 A [mm ²]	平均流量 \dot{m} [g/s]	推力 F [N]	比推力 I_{sp} [s]
A20-10	10.00	235.62	95.64±1.11	166.77±1.50	177.79±3.09
A20-6	6.00	285.88	99.07±0.68	173.61±1.85	178.63±2.28
A20-2	2.00	311.02	98.20±0.42	177.49±2.08	184.25±2.59

今後の展望

- 内筒直径の変化と推進性能の関係について, 底面の圧力分布に着目しさらに検証を行う
- より高解像度かつ粘性を考慮した解析を行い燃焼器壁面が内部流れに与える影響を明らかにする