

# Investigation of Sound-Flow Interaction of Acoustic Liner using CFD/CAA Hybrid Approach

研究代表者: 佐々木大輔  
(金沢工業大学 工学部 航空システム工学科)

[dsasaki@neptune.kanazawa-it.ac.jp](mailto:dsasaki@neptune.kanazawa-it.ac.jp)

# 概要

- 研究の意義と目的
- 研究体制と特色
- BCMの概要
- 成果報告
- 達成状況と今後の展望

# 研究の意義と目的(1)

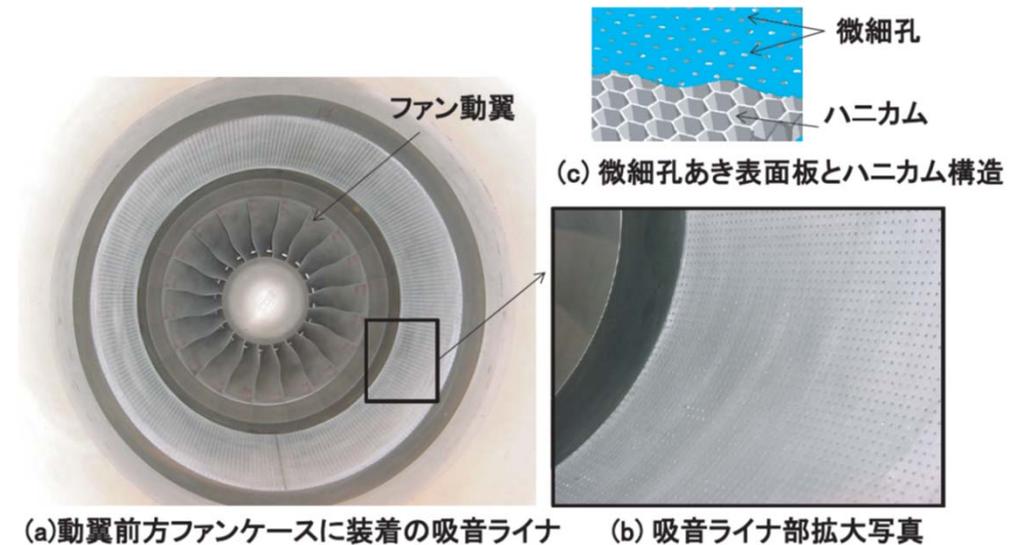
- 環境適合型航空機開発に対するジェットエンジンへの要求

高効率 かつ 低騒音



- バイパス比(ファン径)を向上させる
- 重量増加を抑えるためのファン部のケーシングを短くする
- 吸音ライナによる吸音性能の向上が低騒音化には不可欠

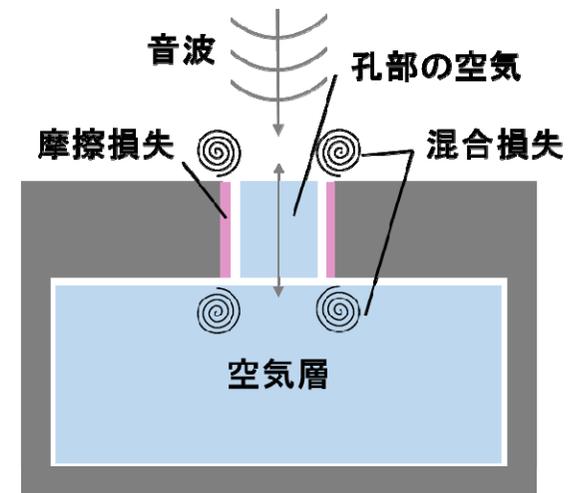
例えば, ファン騒音低減のために取り付けられているファンケース内面の吸音ライナの高性能化(広い周波数帯域での吸音性能)



【1】 大石勉, 「航空機騒音源の低減対策について」, 日本音響学会誌, 73巻, 11号, 2017年

## 研究の意義と目的(2)

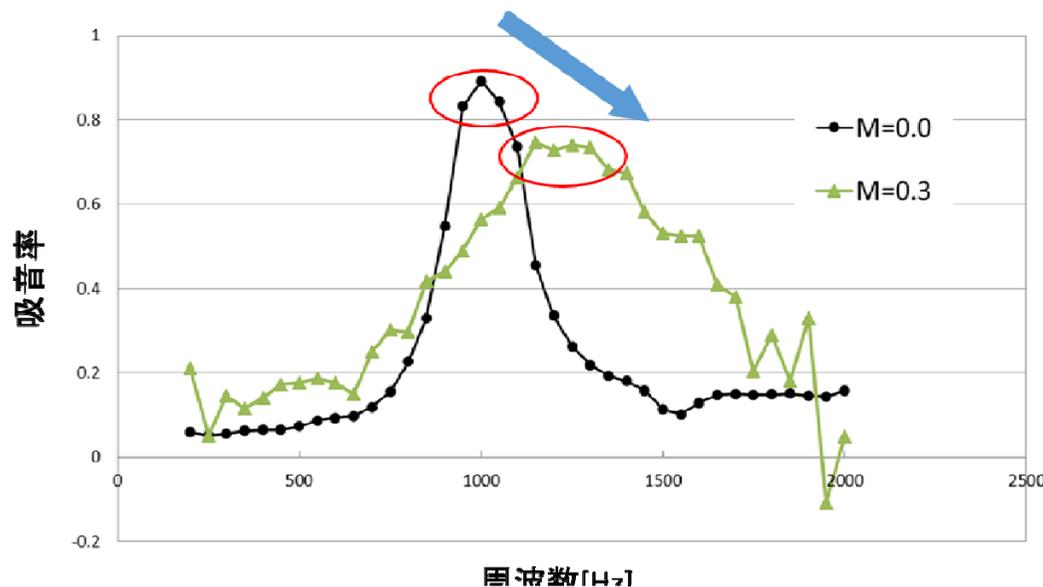
- 吸音ライナ(ヘルムホルツ共鳴器)の吸音原理
  - キャビティ内の空気層がバネの役割をして、孔部の空気が振動する(共鳴周波数)
  - ヘルムホルツ共鳴器を通過することで、音エネルギーが力学的エネルギーに変換されて吸音される
    - 孔部における摩擦
    - 吹き出しによる混合損失



Principle of Helmholtz resonator

# 研究の意義と目的(3)

- ジェットエンジンから生じるファン騒音に対する吸音ライナ
  - グレージング流れ下では, 吸音性能が大きく変化する
  - 流入速度が速い, あるいは流入音圧が高い場合, 非線形効果が現れる
  - リグ試験装置による現象の理解は難しい



## 目的

吸音ライナに対して空力音響解析手法を適用することで, 吸音ライナにおけるグレージング流れが(吸)音に対して与える影響を明らかにする

## 意義

- 吸音ライナの設計に役立つ指針の取得
- 本空力解析手法の適用による高性能化

流速無し (M=0.0) では, 共鳴周波数付近で高い吸音率  
流速あり (M=0.3) では, 吸音率が下がると共に吸音される周波数域は広がる

# 研究体制と特色

超大規模数値計算系応用分野

数値流体力学の研究グループ

- ・ 金沢工業大学工学部

吸音ライナの研究グループ

- ・ サウサンプトン大学騒音振動研究所

**連携**

計算機科学の研究グループ

- ・ 東北大学サイバーサイエンスセンター

- ・ 吸音ライナに適した空力音響手法の開発
- ・ 解析結果の妥当性検証・手法の改善

多様なプラットフォームにおける  
並列性能評価, 並列化の検討  
(本枠組みの有効性)

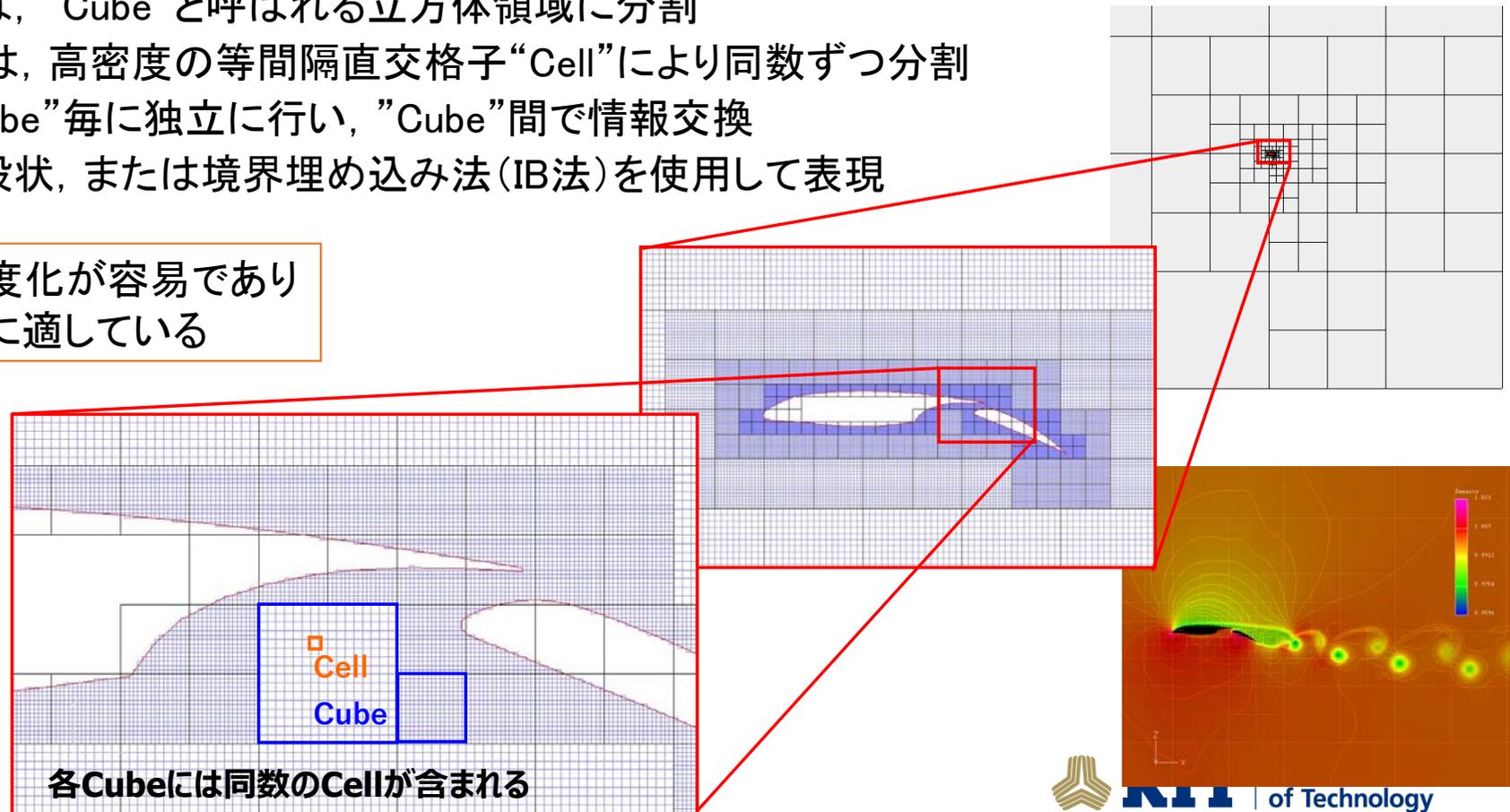
実形状への展開に向けた大規模  
空力解析への拡張(3次元化)

# BCMの概要

- Building-Cube法 (BCM) の特徴

- 計算空間は, “Cube” と呼ばれる立方体領域に分割
- 各Cube内は, 高密度の等間隔直交格子 “Cell” により同数ずつ分割
- 計算は “Cube” 毎に独立に行い, “Cube” 間で情報交換
- 物体は階段状, または境界埋め込み法 (IB法) を使用して表現

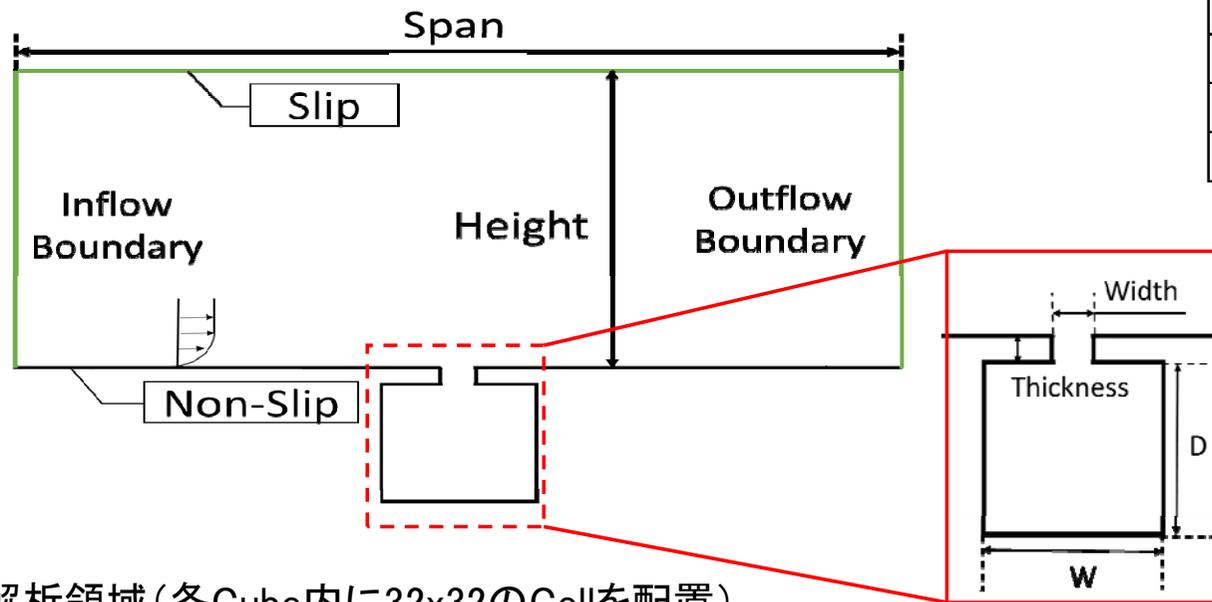
空間の高次精度化が容易であり  
空力音響解析に適している



各Cubeには同数のCellが含まれる

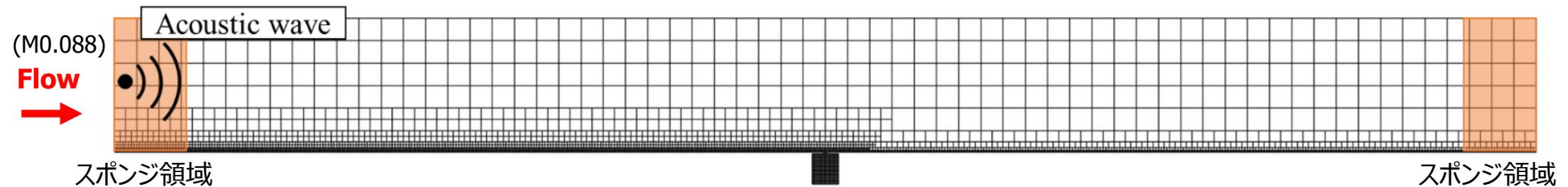
# 解析対象

- 吸音ライナの簡略化モデル (single cellモデル)



	Single-Cell
Passage Span	0.60[m]
Passage Height	0.254[m]
Slit Width	$6.35 \times 10^{-3}$ [m]
Slit Thickness	$3.18 \times 10^{-3}$ [m]
Cavity Depth	$5.745 \times 10^{-2}$ [m]
Cavity Width	$5.08 \times 10^{-2}$ [m]

吸音ライナの解析領域 (各Cube内に32x32のCellを配置)



# 空力音響解析手法(直接解法)

## • 解析手法

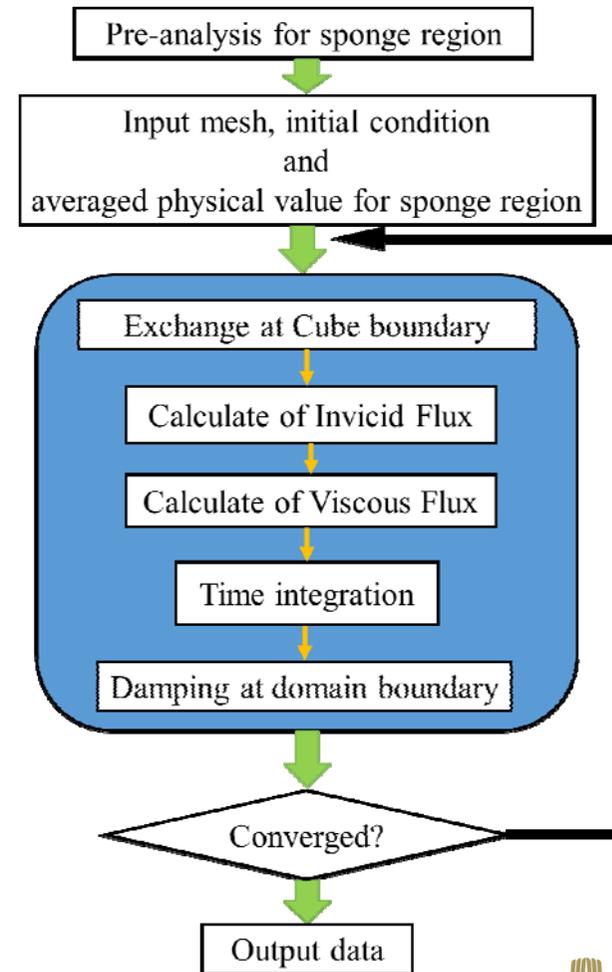
- 2次元圧縮性BCMソルバー
- Navier-Stokes方程式 (層流)
- 4次精度ルンゲクッタ陽解法
- 5次精度WENOスキーム

## • 流入境界条件

- マッハ数 0.088  
(レイノルズ数13123 頸部幅基準)
- 層流境界層 (ブラジウス解)
- 正弦平面波 (130 dB)
- スポンジ領域

## • 流出境界条件

- スポンジ領域



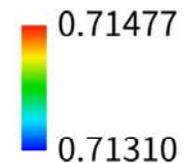
# 空力音響解析結果(1)

- 吸音ライナの基礎的性質の理解
  - 空力音響解析によるグレージング流れの吸音現象に対する影響
  - 複数のセル(共鳴器)の場合の干渉の影響
  - 流入音圧の影響

Aeroacoustics analysis

圧力瞬間値の可視化により, ライナを通過後の圧力の低下が確認できる

Pressure [PLOT3D]



(M0.088)

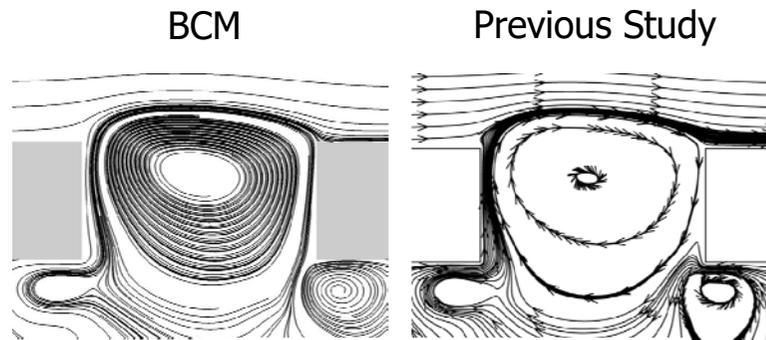
Flow



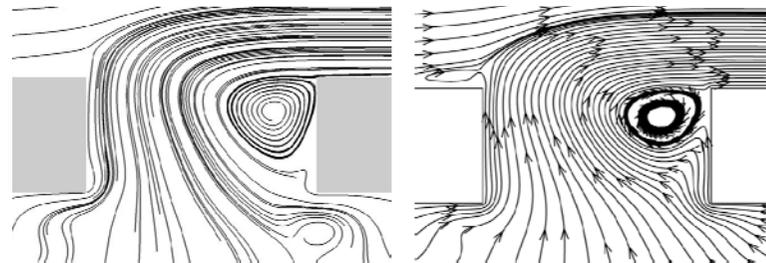
Sound wave  
(130dB)



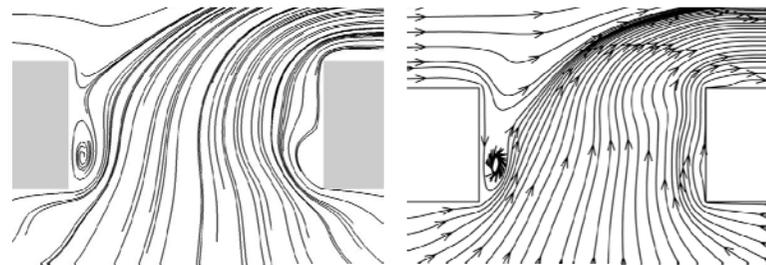
# 空力音響解析結果(2):流線の比較



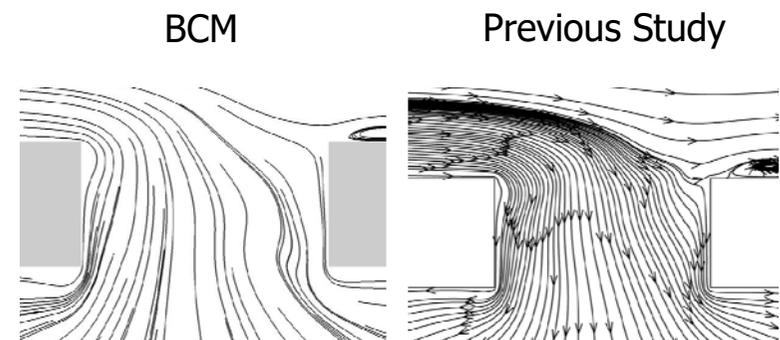
(a)  $t = 0$  (beginning of period)



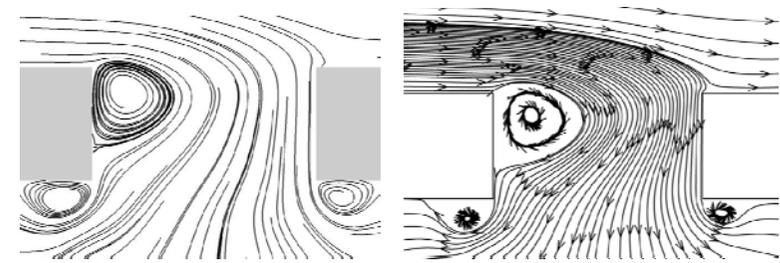
(d)  $t = 0.375T$



(h)  $t = 0.875T$



(b)  $t = 0.125T$



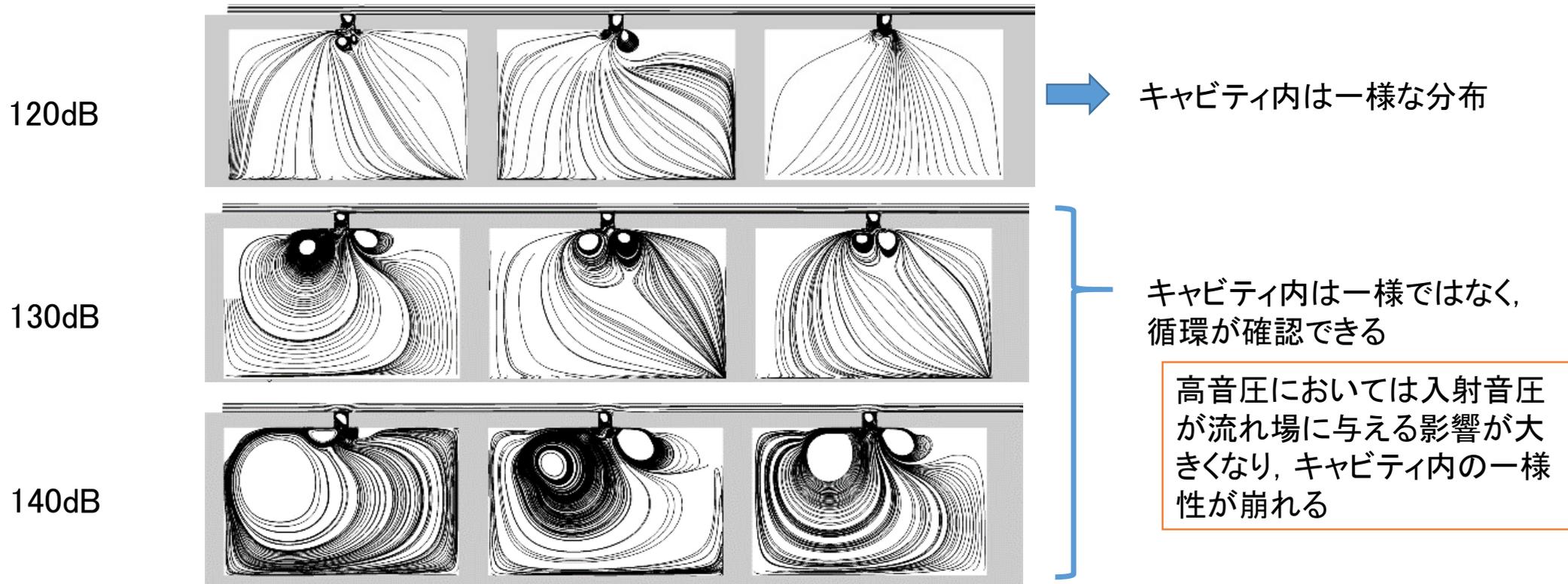
(f)  $t = 0.625T$

- 過去に実施されたTamらの解析結果とよく一致している
- 本手法においても渦が適切に解像されている
- 本手法の妥当性が示された

# 空力音響解析結果(3):流入音圧の影響

- 入射音圧の影響

- キャビティ間の干渉の影響を考慮するために3セルモデルを使用
- 周波数を固定した空力音響解析を実施し, 各セルの平均場の流線を比較



# 達成状況と今後の展望

- 吸音ライナモデルに対する2次元空力音響解析手法の確立と検証, 3次元化への拡張を当初予定していた
  - 吸音ライナモデルに対して2次元空力音響解析を実施し, 他者の直接解法との一致が確認できたことから, 本解析手法の妥当性を示した
  - 入射音圧を変化させた解析を実施し, 130dBを超えるとキャビティ内の非線形性が確認でき, 流れに対する流入音波の影響が大きくなることが明らかとなった
  - 複数セル(キャビティ)を配置した解析ではキャビティ間に干渉が生じる
  - 上記の解析及び検証に時間がかかったため, 3次元化は未達である

## 今後の展望

- グレージング流れ下での詳細な解析の検証には実験値との比較に適した後処理(インピーダンス推算等)が必要である
- 吸音ライナにおける流れと音の相互作用等を理解するには, 3次元化を進めると共に様々な条件下での解析を実施することが求められる