

高橋公也(九州工業大学)

管楽器の大規模流体音響解析

[概要]

本研究では、管楽器の発音機構の問題を、低マッハ数における流体音(空力音)の発生機構の問題として捉え、その大規模解析を行う。楽器の繊細な発音機構を再現するためには、流体と音を同時に再現可能な圧縮流体の高精度解析が必要である。流体計算の厳密解析には、**Direct Numerical Simulation (DNS)** が用いられるが、現実の楽器の3次元解析には、数兆を超えるメッシュ数を必要とし、時間刻みも 10^{-8} s以下に設定する必要がある。そのため、現在のスーパーコンピュータでは、2次元解析が限界である。DNSの次に正確な手法として**Large Eddy Simulation (LES)**がある。この場合でも、小型の管楽器の3次元モデルでは10億近いメッシュが必要であり、時間刻みも 10^{-7} ~ 10^{-8} sに設定する必要がある、依然として大規模解析になる。

本研究では、これらの現状を踏まえ、**3次元モデルのLES解析**を行う。また、**2次元と3次元の違いを考慮しながら、2次元モデルの厳密解析をDNSを用いて行う**。これらに加え、管体の形状や音孔の開閉の違いが発音機構に与える影響を容易に解析できる**遅延方程式モデル**の基礎解析も行う。

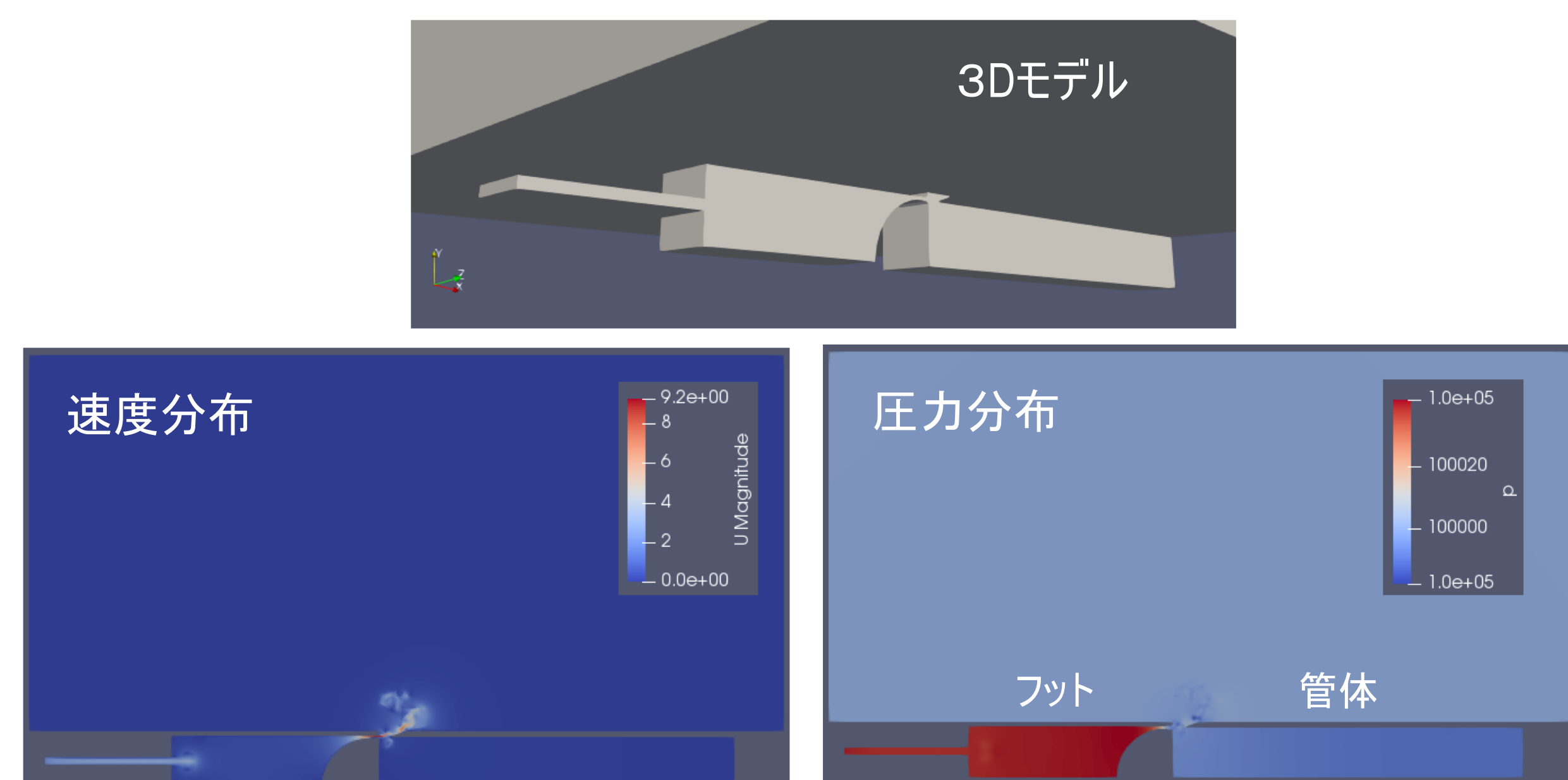
これまでの研究においてLESを用いた2次元から3次元へと解析を発展させてきたが、本研究ではこれまでの研究をさらに発展させ、**3次元LES解析に必要な大規模並列解析の効率化とそれに伴うプレポスト処理および可視化の問題を解決し3次元の流体音の発生機構の解析を行う**。さらに、低マッハ数領域の圧縮流体の計算に必要な**OpenFOAMの開発改良を行い、その成果を利用拠点に共有・提供する**。また、DNSの解析では、計算の効率化、高速化の検討を行う。

[研究項目]

1. LESを用いた管楽器モデルの大規模計算解析

a) オルガンパイプのフットの解析

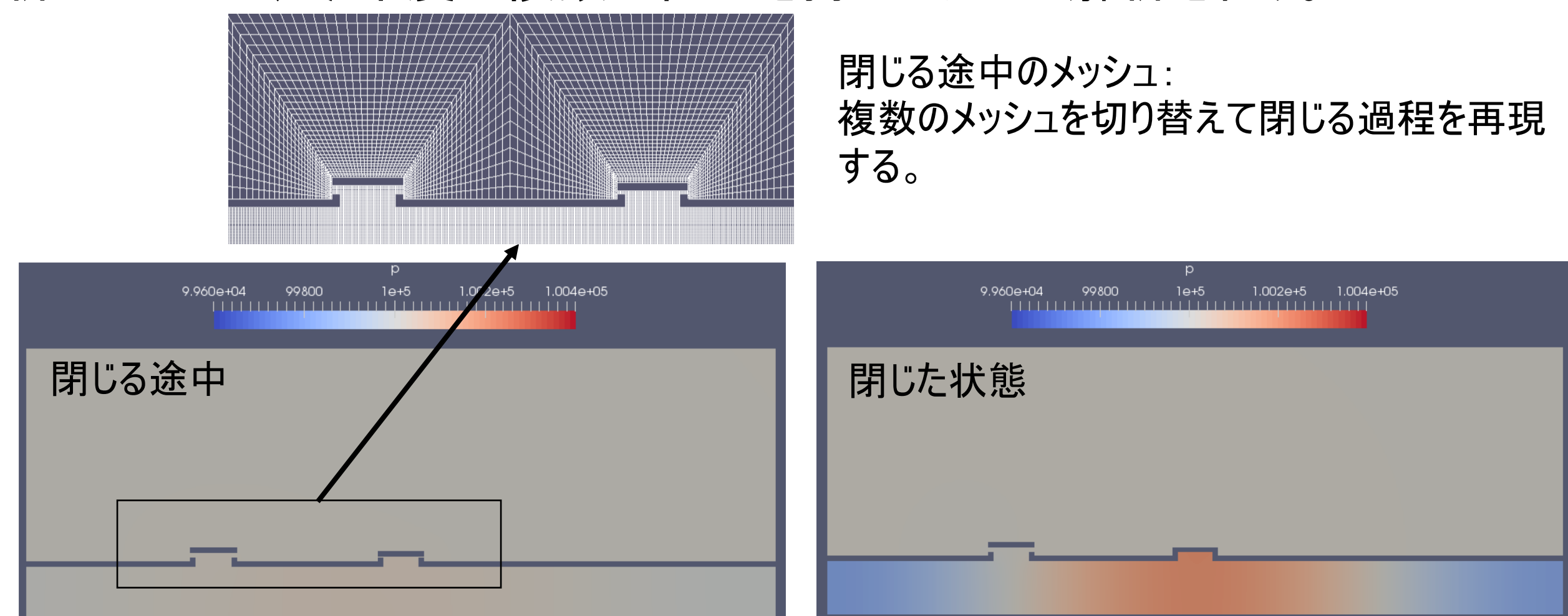
これまでの2次元モデル解析で、フットがヘルムホルツ共鳴器として働き、共鳴パイプとの相互作用で安定な発振が起きることが確認された。前年度から着手している3次元モデルの解析を進めこの結果を検証する。



定常発振状態で見られる管体とフットの逆同期状態

c) 木管楽器の音孔の開閉を再現

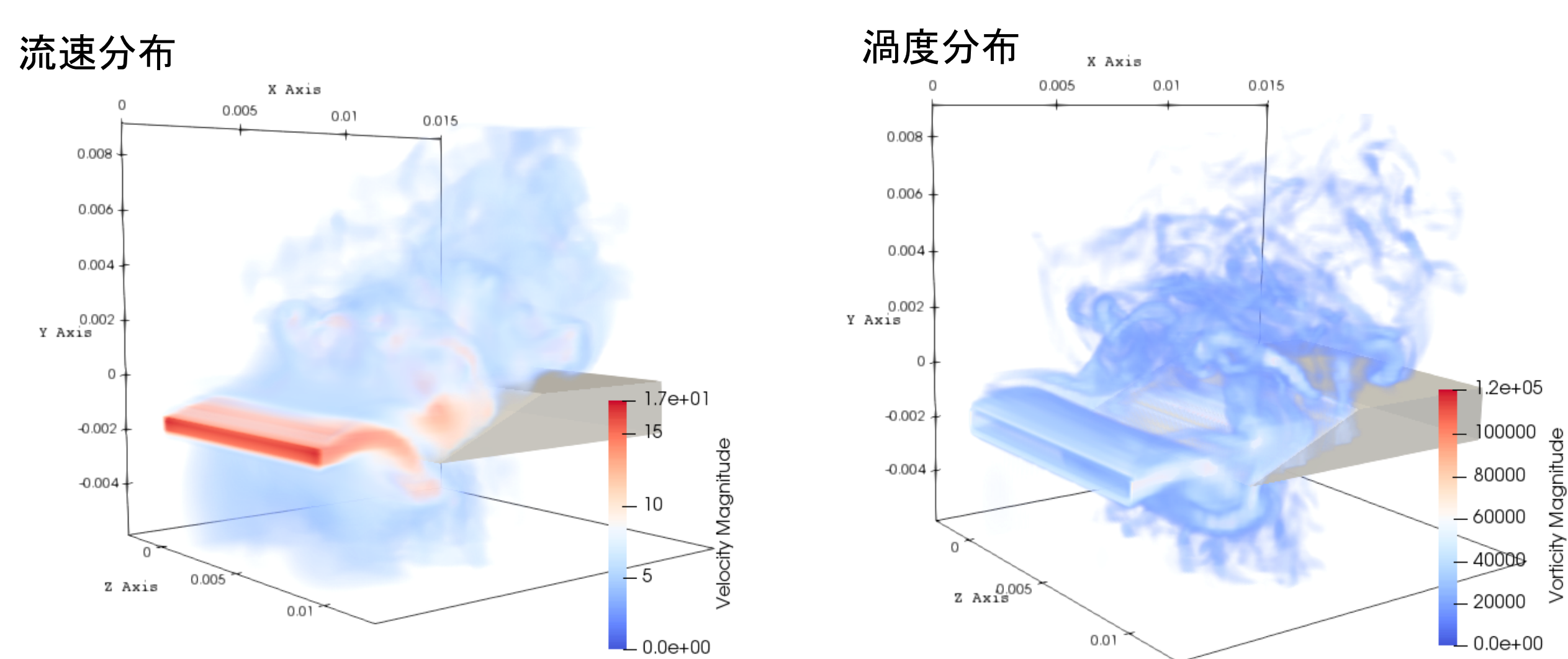
木管楽器の音孔の開閉を再現するためには、トポロジー変化を伴う移動境界問題の解析が必要である。これまでは1つの音孔を持つモデルの解析してきたが、今年度は複数の音孔を持つモデルの解析を行う。



中央の音孔を閉じていく時の倍音の発振

b) 3次元小型エアリード楽器の音響エネルギー発生領域の解析

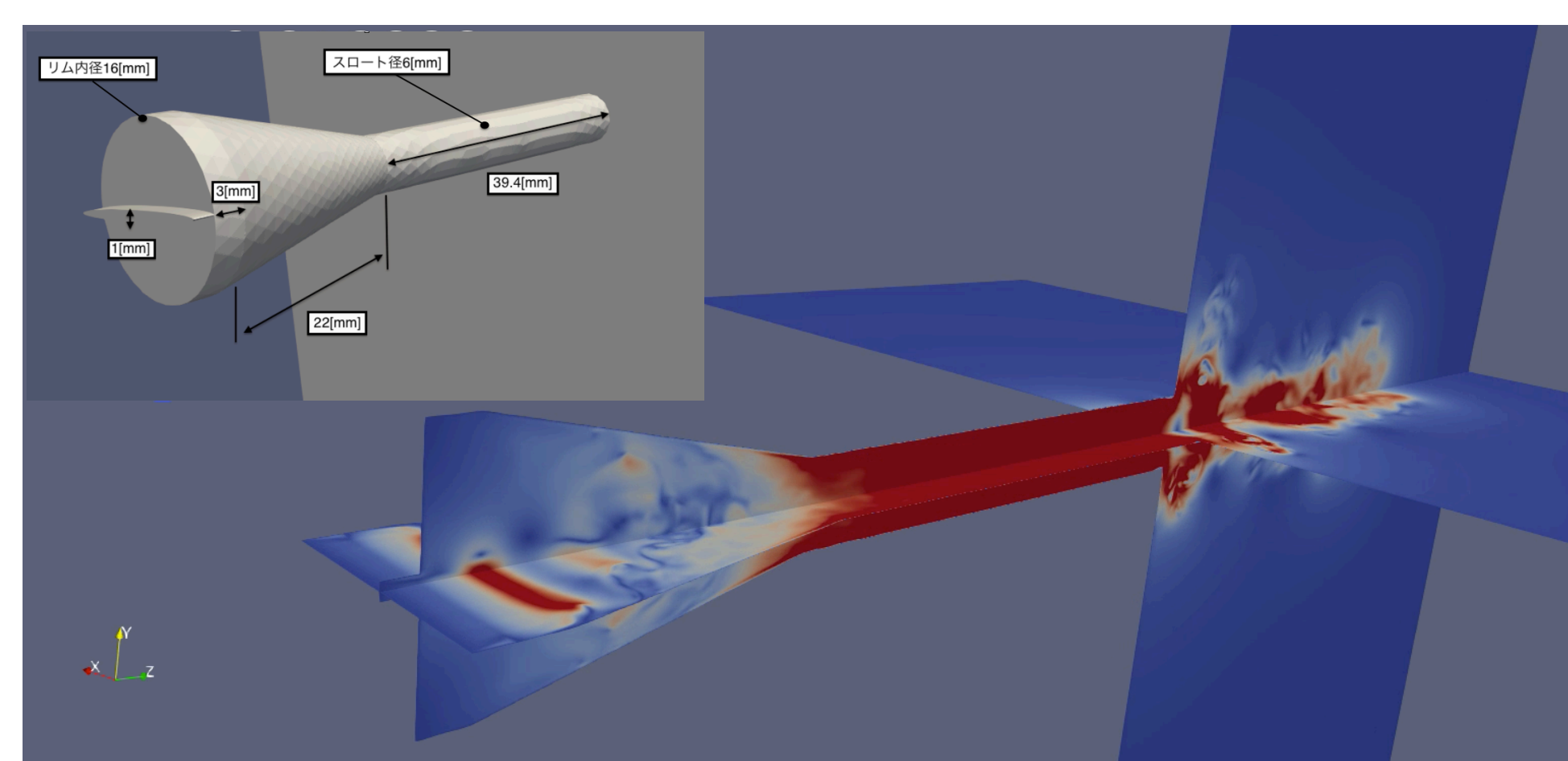
前年度から行っているHoweのエネルギー推論(HEC)を用いた解析を発展させ、完成させる。この解析には流体から切り離された音場の再現も必要であり、そのために音響ソルバーFDTDの並列計算の高速化も検討する。



HECの計算で使う歌口近傍の流速と温度

d) 金管楽器のマウスピース内の流体音響解析

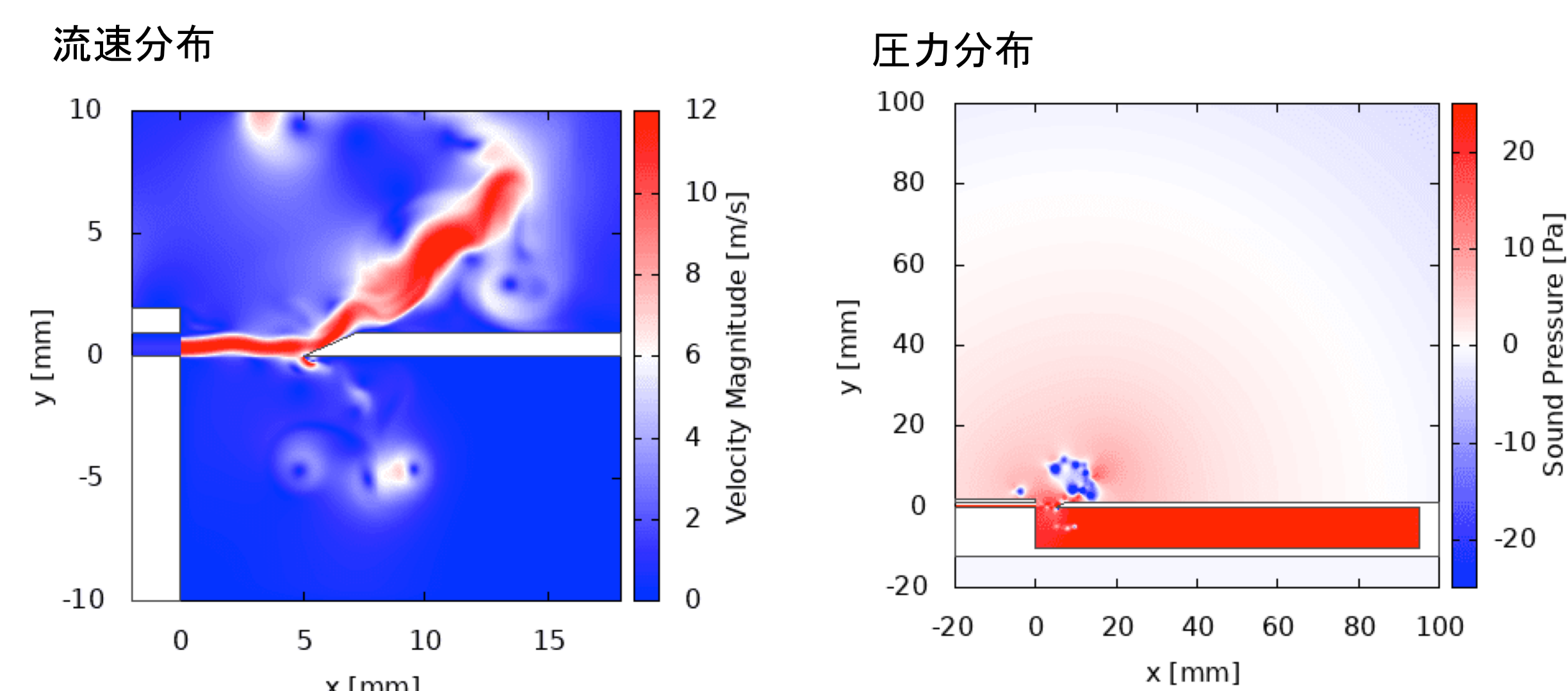
管楽器のマウスピース内でどのようにして流体が音波に変わるかはまだ解明されていない重要な問題である。ホルンのマウスピースの3次元モデルの解析を行いこの問題を検討する。さらに、DNSによる2次元モデルの解析も検討する。



ホルンのマウスピース内部の流速分布

2. DNSを用いた2次元管楽器モデルの厳密数値解析

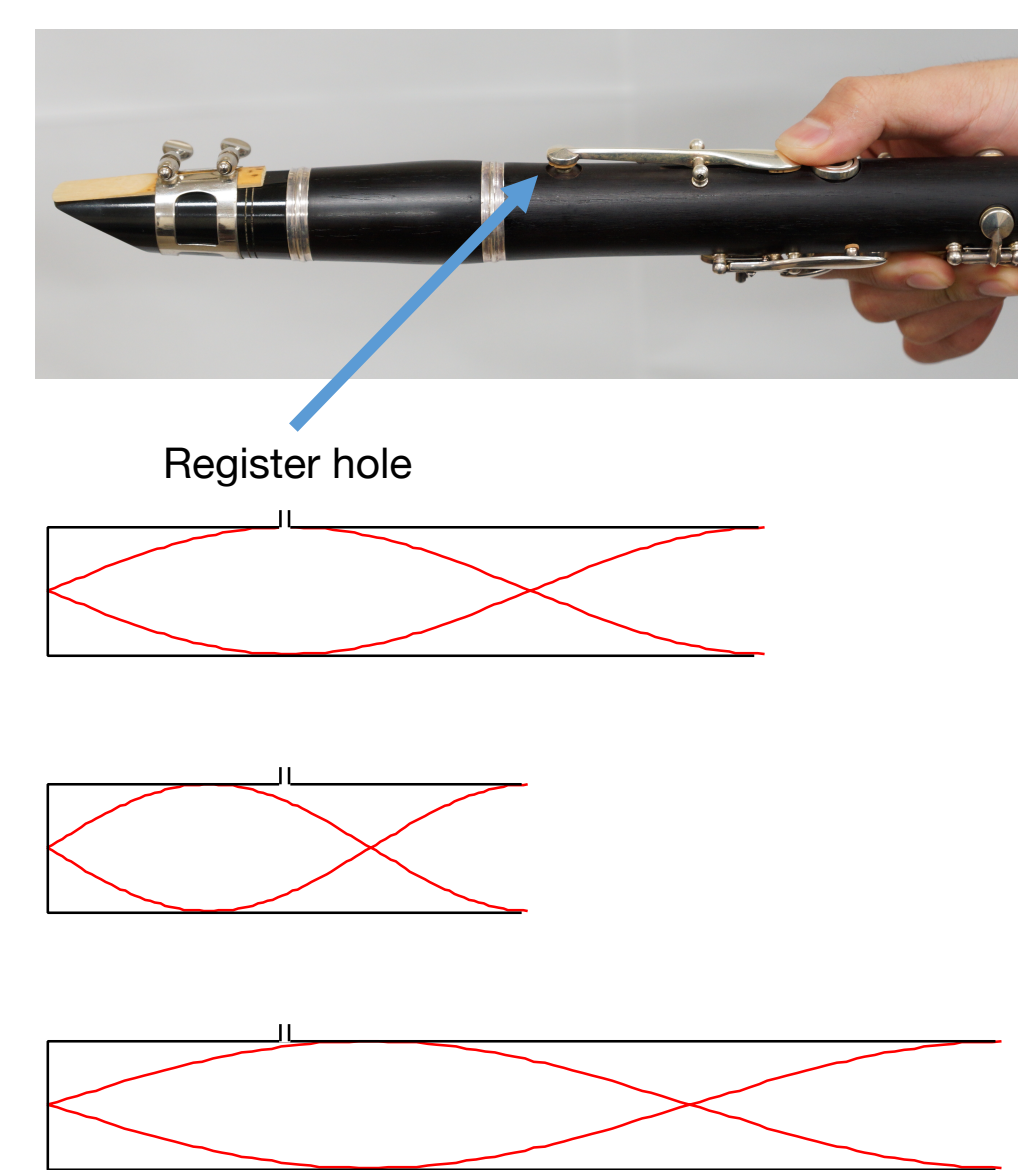
解析対象: エッジトーン、小型エアリード楽器、金管楽器のマウスピース
これまでの音源となるエッジトーンの成果を踏まえ、小型エアリード楽器の発音機構のDNS解析を行う。さらに、並列計算の効率化についても検討する。



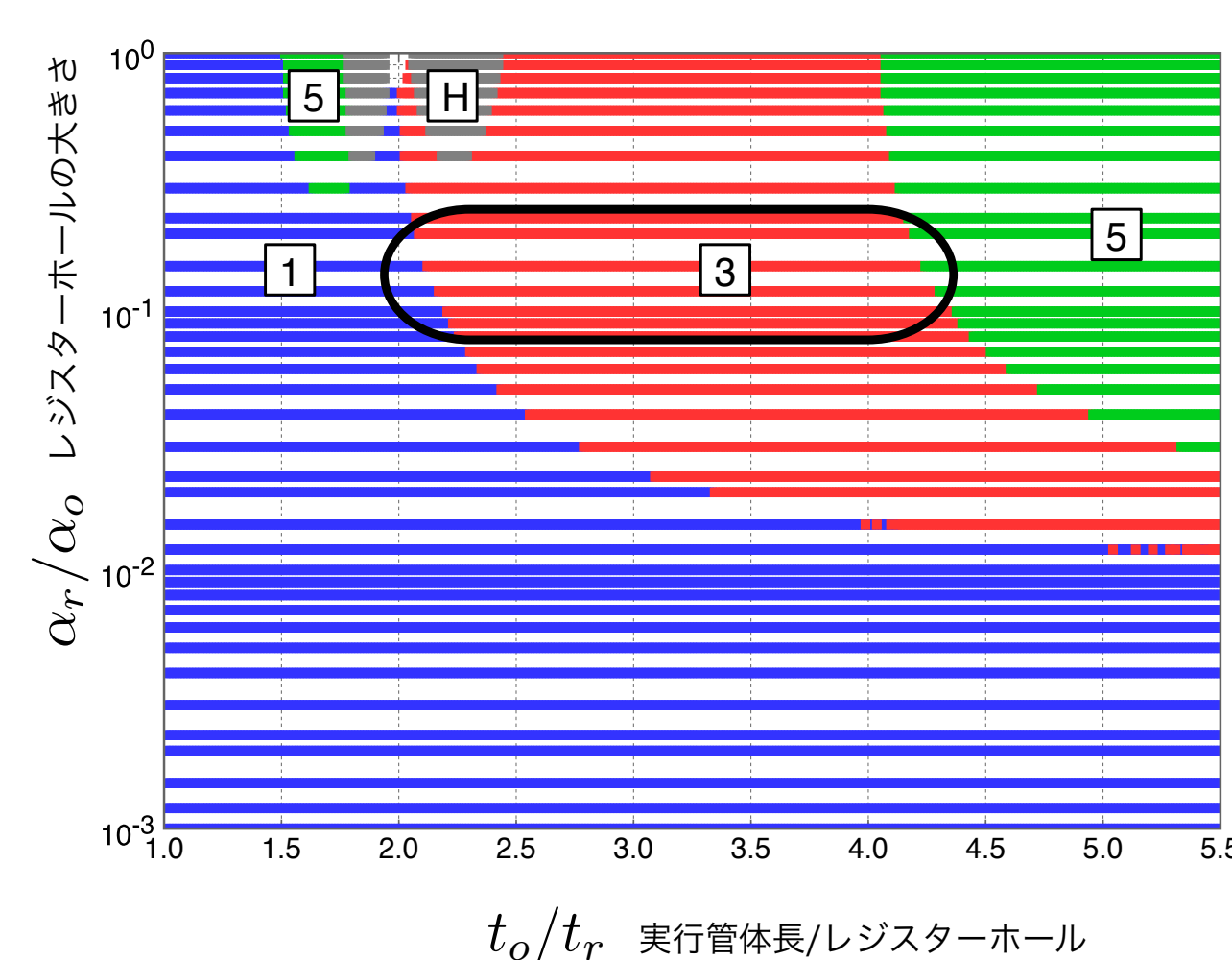
DNSの計算で再現された発振状態

3. 管楽器の発音機構の遅延方程式モデルを用いた基礎解析

前年度から進めている3倍音を出すのに使われるクラリネットのレジスターホールの機能の解析を進め、より現実の管体に近いモデルの解析を行う。



実行管体長とレジスターホール



ベルとマウスピースの効果を取り入れたモデルの発振特性図

共同研究者: 小林泰三(九州大学、副代表)、服部裕司(東北大学)、高見利也(大分大学)、南里豪志(九州大学)、大島聡史(名古屋大学)、緑川博子(成蹊大学)、田畑諒也(九州工業大学)、伊香賀子龍(九州工業大学)、住田玲(九州工業大学)、高浪彰太(九州工業大学)