

高橋公也 (九州工業大学)

# 移動境界問題及び連成計算の大規模流体シミュレーションと動的不可分散の評価



## 研究目的

本研究課題は、九州大学の超並列計算機にインストールされているフリーの大規模解析ソフトウェアOpenFOAMをもとに大規模な並列計算における移動境界問題および連成計算を効率的に実行するソルバーを開発し、効率的な計算に必要なソルバー間負荷分散の評価を行うことを目的とする。対象として、流体音の問題として興味深いエアリード楽器を取り上げる。一般に、大規模な流体計算では、分散メモリ形式の並列計算機であっても、領域分割を適切に行うことによって、かなりの並列化効率を得られることが分かっている。これによって幅広い分野での応用シミュレーションが可能になりつつある。

しかし、本研究で取り扱う様な複雑な形状を持つ楽器を取り扱う場合、複雑な境界条件を詳細に表現するための非構造メッシュの導入が必要となる。さらに、遠方音場の再現には、流体音源とそこから生成される音場の連成解析が必要である。楽器の複雑な境界条件のもとで時間的に変化する流体音源と音場の連成解析を効率的におこなうためには、各ソルバーの計算状況に応じた動的なスケジューラーの開発が必要である。

## 研究課題

### 1) 管長の変化する楽器のシミュレーション

圧縮流体用LESで機能する移動境界ソルバーを用い管体長の変化する3次元のエアリード楽器のシミュレーションを行い、音高の変化が再現可能か確認する。楽器の複雑な境界条件の変化を表現するためには動的な非構造メッシュが必要となる。動的な非構造メッシュの並列化の効率を上げるにはどのような負荷分散が必要かを検討する。

### 2) 音孔の開閉と音高変化の再現

楽器の音孔が開いている場合の3次元シミュレーションを行い、所望の音が発振するか確認する。さらに、音孔開閉(境界条件のトポロジ的な変化)を再現可能なソルバーの開発の検討を行う。

### 3) 遠方音場の再現

遠方音場の再現のために、流体と音波の連成解析を行う。流体ソルバーでLighthillの音源を計算し、それを音波ソルバーにマッピングすることで、遠方音場の再現が可能となる。音波ソルバーを開発し、圧縮流体用LESとの連成を行う手法の開発を目指す。流体の運動とともに変化する音源を効率的に音波ソルバーにマッピングするためには、音源解析モデルの導入が必要と考えられる。音源領域の変化に伴う計算負荷がどの程度になるかを試算し、計算精度と負荷分散を制御するアルゴリズムや実装法について検討する。

### 4) 流体と音波の相互作用の解析

Howeの評価式を用い音波と流体のエネルギー変換の評価を行う。そのためには、音波と流体を分離する必要があるが、数値データからそれを行うのは不可能である。流体的に静止した状態で、音源(スピーカー)により管体内に共鳴音場を作り出し、発振状態の音場を近似的に求める。これと発振状態の流体の流れ場の情報からHoweの評価式の評価を行う。

$$\Pi = \rho_0 \int (\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}) \cdot \boldsymbol{u} \, d\boldsymbol{r}$$

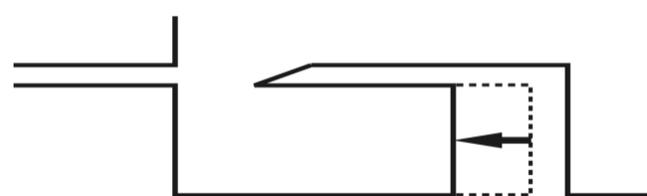


図1 管体長の変化する楽器



図2 音孔のついた楽器の圧力分布(3D)



図3 遠方音場の再現手順

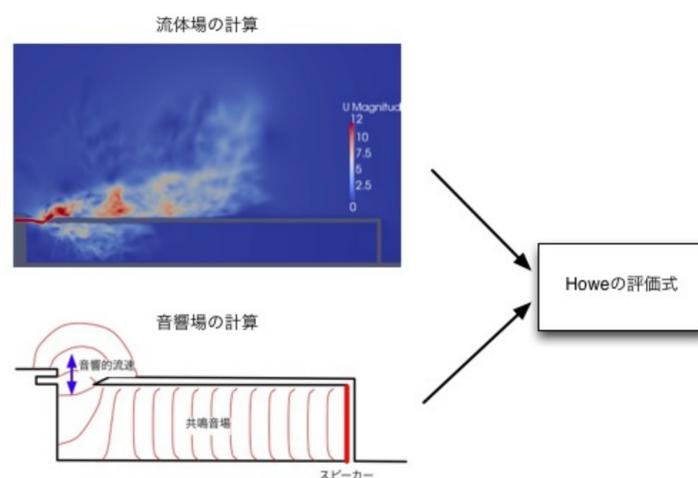


図4 Howeの評価式の計算手順