

移動境界問題の大規模流体シミュレーションと動的負荷分散の評価



本研究課題は、移動境界問題に代表されるようなメッシュが動的に変化する環境のもとでの流体計算を対象として、大規模並列計算時の効率を検証することが目的である。流体計算は領域分割によって並列計算が可能であり、幅広い分野での応用シミュレーションが実施されつつあるが、詳細な物体形状を表現するための非構造メッシュの導入による空間的な不均一性、レイノルズ数が時間・空間によって異なるような現象自体の複雑性などさまざまな要因で、計算負荷を均等に分散させることが難しくなる場合がある。また、物体と流体との相互作用を表現しようとする時など、一般的に自由境界・移動境界問題の形で、時々刻々変化する状況での並列計算を実施するには、静的な負荷分散を行うだけでは高並列計算での効率は望めない。本課題では、動的なメッシュ生成を含む流体力学計算に対して、並列計算時の負荷分散手法を実際の応用計算を実施する中で評価する。

非構造メッシュによる数値計算

エアリード楽器の発音シミュレーション(図1)では、圧縮性Navier-Stokes方程式の時間発展を計算している[1,2]。空気の流れと音波の空間スケールの違いと、楽器形状の正確な表現のために、非構造メッシュを導入するが、このとき、各部分での特徴的な時間スケールの違いなどからメッシュ点数あたりの計算負荷が異なり、静的な負荷分散では限界がある。

これまでは、二次元モデル(図2上)を中心に行ってきたが、三次元モデル(図2下)[2,3]での大規模並列計算を実施するために、適切な負荷分散を実現することが重要である。

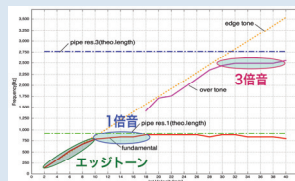


図1 エアリード楽器の発音周波数

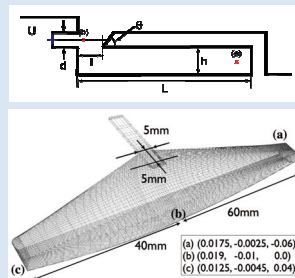


図2 楽器の2D/3Dモデル

多成分流体の数値計算

界面補足法による非圧縮Navier-Stokes方程式の時間発展[4]。AMRなどにより境界表現を精密化する場合や、界面と連動してメッシュが移動する界面追跡法では、動的な負荷分散が不可欠になる。

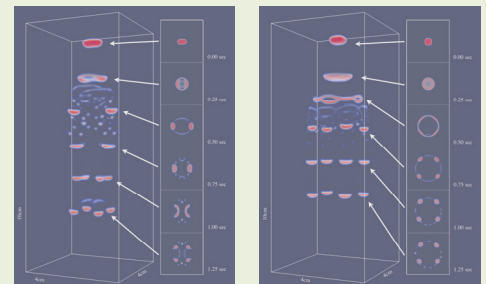


図3 二成分流体による滴の分離計算

動的メッシュ／移動メッシュ計算と動的負荷分散

メッシュ表現が動的に変化するのは、以下のような場合がある:

- 計算領域の境界が移動する場合(移動境界問題)やトポロジーが変わる場合(図4上)
- Adaptive Mesh Refinement (AMR)など動的にメッシュの精度を変える場合(図4中)
- 境界面の運動に連動したメッシュ表現をする場合(自由表面・界面追跡法)(図4下)

いずれの場合も、メッシュの移動に伴い、その上で表現される流体運動も変化して行くため、領域分割によって複数の計算機に分担させる場合、各計算機での負荷が均等になるようにするには、なんらかの動的負荷分散の機構が必要になる。計算機による大規模科学計算を効率よく実施するために、動的表現に適した負荷分散法を検討する。

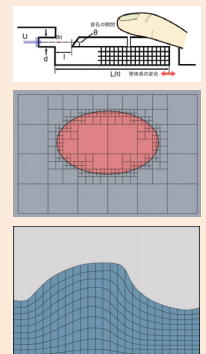


図4 動的メッシュ表現

参考文献

- [1] 宮本真孝、高橋公也、高見利也、小林泰三、西田晃、青柳睦、「圧縮性LESを用いた小型エアリード楽器の数値解析」、音楽音響研究会資料 MA2009-77, 7-12 (2009).
- [2] K. Takahashi, M. Miyamoto, Y. Ito, T. Takami, T. Kobayashi, A. Nishida, and M. Aoyagi, "Numerical analysis on 2D and 3D edge tones in terms of aerodynamic sound theory", to appear in proceedings of 20th International Congress on Acoustics (2010).
- [3] T. Kobayashi, T. Takami, M. Miyamoto, K. Takahashi, A. Nishida, and M. Aoyagi, "3D Calculation with Compressible LES for Sound Vibration of Ocarina", in Proceedings of Open Source CFD International Conference (2009).
- [4] T. Takami, M. Shimokawa, H. Fujisaki, and T. Kobayashi, "Deformation and separation dynamics of a coffee droplet in milk", Poster presentation in Dynamics Days Asia Pacific 6 (2010).