

NURBS メッシュを用いた space-time 有限要素法による 大動脈弁近傍の流体解析

Heart-Valve Fluid Mechanics Computation with the Space-Time Isogeometric Analysis with Topology Change

- 寺原 拓哉, 早稲田大学, 東京都新宿区大久保 3-4-1, E-mail: Takuya.Terahara@tafsm.org
滝沢 研二, 早稲田大学
Tayfun E. Tezduyar, Rice University

Fluid mechanics computation of a heart valve with an interface-tracking (moving-mesh) method was one of the classes of computations targeted in introducing the space-time (ST) interface tracking method with topology change (ST-TC). The method is introduced with finite element discretization. Now, we apply the method to isogeometric analysis (IGA) to calculate more accuracy computation and simplify the master-slave treatment in ST-TC method towards fluid-structure interaction (FSI) analysis.

1. 緒言

大動脈弁は変形時に、弁同士、ならびに血管壁と接触するため、その空間のトポロジー変化を捉えた計算は困難である。我々の研究チーム TAFSM (Team for Advanced Flow Simulation and Modeling) では、space-time 有限要素法を用いたトポロジー変化を伴う流れの解析手法 [1] を考案し、それを大動脈弁解析 [2] を行った。本稿ではより詳細な流れを捉えるため、高次モデルである non-uniform rational B-spline (NURBS) メッシュに本手法を適用することにより、接触部を伴う大動脈弁近傍の流れ解析及び、大動脈弁表面にかかるせん断応力の算出が可能となる。

2. 解析モデル

NURBS とは computer-aided design (CAD) などに用いられる曲線、曲面理論であり、図 1 に示すような制御点と基底関数で、なめらかな形状を表現することができる。この

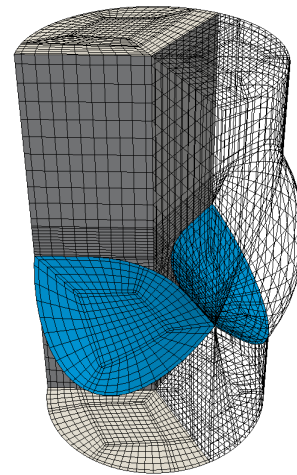


Fig. 2: Control mesh of the domain. The leaflets (which has two control points) are shown as blue color

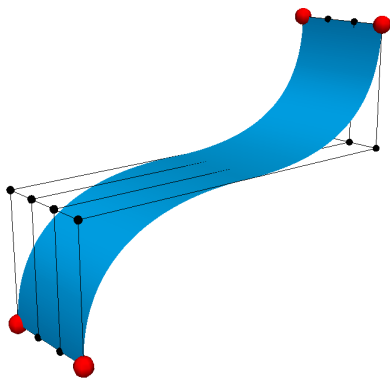


Fig. 1: NURBS surface (order=2) and control mesh (red and black points)

滑らかな基底関数で解析する手法を isogeometric analysis (IGA) [3] と呼び、要素間にも滑らかさがあるため、従来の有限要素法と比べて高い正確性と安定性を持つ。NURBS を用いた大動脈弁近傍の流体メッシュを図 2 および 3 に示す。

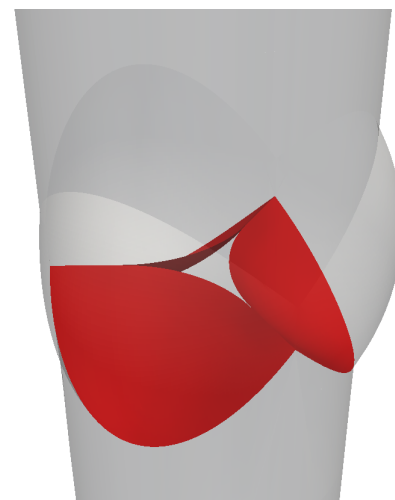


Fig. 3: Surface of the leaflets (red) and arterial wall lumen

3. 解析結果

本解析では支配方程式に非圧縮性ナビエーストークス方程式を用いる。計算手法は、ST-VMS [4] を用い、離散化には IGA 法を用いる、これを ST-IGA と名付ける。また、本解析は連成ではなく、流量を設定し、大動脈弁を变形を与えられたものとして、解析する。図 4 に予備計算の結果を示す。

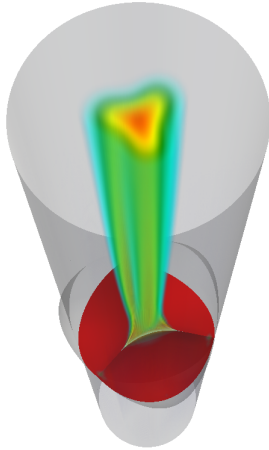


Fig. 4: Velocity magnitude

4. 結言

本研究では、大動脈弁に働くせん断応力を高精度に得るための解析手法 ST-TC を NURBS メッシュに適用した。今後は、本手法を用い、流体構造連成解析を行う予定である。

参考文献

- (1) K. Takizawa, T.E. Tezduyar, A. Buscher, and S. Asada, “Space-time interface-tracking with topology change (ST-TC)”, *Computational Mechanics*, **54** (2014) 955–971, doi: 10.1007/s00466-013-0935-7.
- (2) K. Takizawa, T.E. Tezduyar, A. Buscher, and S. Asada, “Space-time fluid mechanics computation of heart valve models”, *Computational Mechanics*, **54** (2014) 973–986, doi: 10.1007/s00466-014-1046-9.
- (3) T.J.R. Hughes, J.A. Cottrell, and Y. Bazilevs, “Isogeometric analysis: CAD, finite elements, NURBS, exact geometry, and mesh refinement”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, **194** (2005) 4135–4195.
- (4) K. Takizawa and T.E. Tezduyar, “Multiscale space-time fluid-structure interaction techniques”, *Computational Mechanics*, **48** (2011) 247–267, doi: 10.1007/s00466-011-0571-z.