

## 研究題目：気泡径分布モデルに基づいたターボ機械に発生する極低温キャビテーションの数値解析

東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 伊藤 優

## 1：研究目的

ターボ機械に発生する極低温キャビテーションを厳密に取り扱う数値解析の実施を目的とする。具体的には、ターボ機械のキャビテーションで重要な強い剪断場、強い圧力勾配、回転翼との干渉を考慮した数学モデルを採用する。さらに、極低温流体キャビテーションで重要な熱力学的効果を記述するため、気相部の力学的のみならず熱的な釣り合いを考慮した数学モデルを採用する。これらを3次元の数値解析コードに実装し、数値解析を行う。

## 2：数値解析コードの開発

気相部は球形気泡群と仮定し、気泡数密度、気泡質量、気泡半径、気泡半径の時間変化率の4つの基礎式を用いた。同一空間領域内での大小気泡の混在による影響(蒸発凝縮量やスリップ速度の計算)を厳密に取り扱うため気泡径分布モデルを導入し、気泡群を気泡質量に基づいて階級化し、各階級の気泡数密度の確率密度関数の分布を考慮した。ここで階級間の気泡数密度の確率密度関数の移流速度は気泡1個当たりの蒸発・凝縮量となる。各階級の平均気泡に対しては、気泡の半径方向振動を正確に取り扱うため簡略化しないレイリープレセット方程式を、蒸発・凝縮量を正確に求めるため気泡周りに発達する温度境界層内の熱伝導方程式を適用した。これら気泡径分布、レイリープレセット、熱伝導の3つを連立させて、気相部の4つの値の時間変化を求めた。一方、流れ場全体の圧力・速度・温度は、気泡群を内包する液体(気液混合物)と仮定し求めた。これらの数学モデルをOpenFOAMに導入し、液体室素中で回転する3次元のインデューサ(図1)上に発生するキャビテーションを計算した。

## 3：数値解析結果

図2は各階級のキャビテーション分布の数値解析結果の時間変化を示す。赤と青はそれぞれ第1と2階級が支配的な領域を示す。第1階級の小さな気泡群(赤)は翼端部分やキャビテーション領域の外縁部で観察された。一方、第2階級の大きな気泡群(青)はインデューサ翼面の低圧領域や逆流渦の中心軸付近で観察された。第2階級の気泡群は通常、第1階級の気泡群に取囲まれているが、ときどきキャビテーション領域の外側やケーシング壁面上に現れる。ここで、図2(a)の一番右の竜巻状の逆流渦キャビテーションに注目する。この逆流渦キャビテーションはインデューサ翼面上に存在した。逆流渦キャビテーションの公転速度はインデューサの回転速度よりも遅いので、後行のインデューサ翼に追いつかれ、最終的にこの逆流渦キャビテーションは図2(c)では後行翼面上に存在した。構築した数値解析コードは、実験で観察された逆流渦キャビテーションと同様に自身の周りを自転しながら、インデューサ軸周りをインデューサの回転数よりも遅い回転速度で公転する逆流渦キャビテーションを再現した。

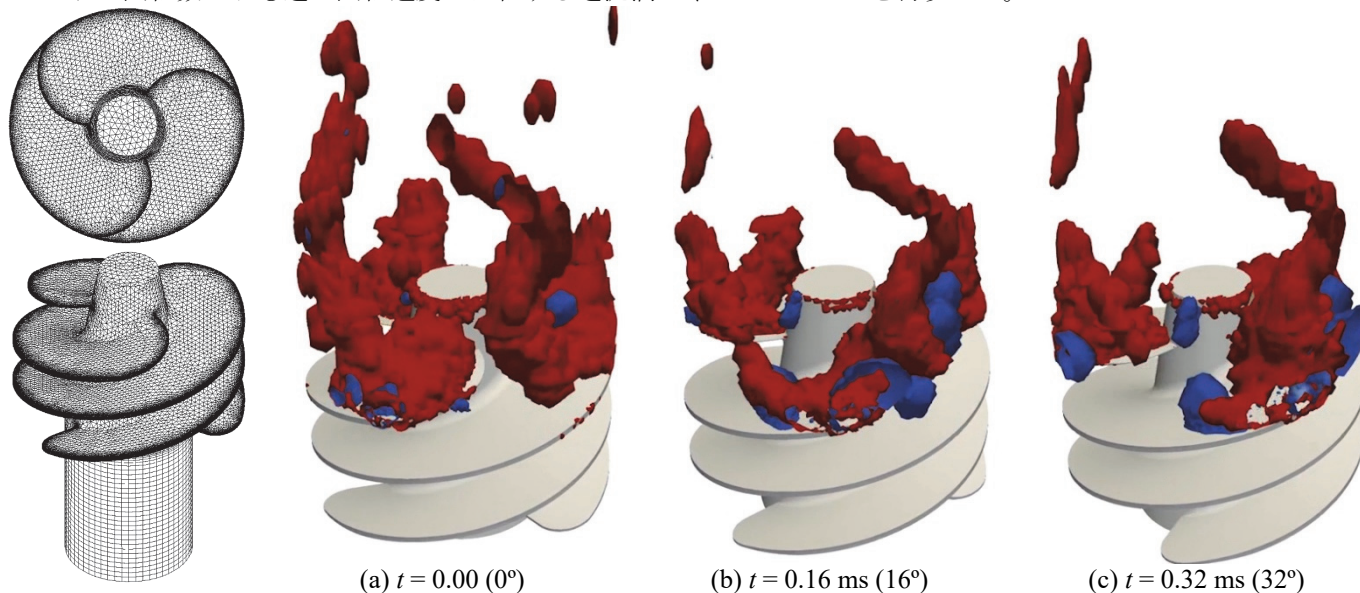


図1：計算格子

図2：キャビテーション領域の時間変化(赤と青はそれぞれ第1と第2階級が支配的な領域)

## 4：本研究助成による研究成果

- [1] Ito Y, Zheng X, and Nagasaki T, One-way coupling numerical simulation of cryogenic cavitation around an inducer, International Journal of Fluid Machinery and Systems (2019) 投稿中
- [2] Ito Y, Zheng X, and Nagasaki T, Numerical simulation using the bubble size distribution model of cryogenic cavitation around an axial helical inducer, IOP Conference Series: Earth Environment Science (2019) Vol.240 p.062015
- [3] Ito Y, Sato Y, Nagasaki T, Theoretical Analyses of the Number of Backflow Vortices on an Axial Pump or Compressor, AJKFLUIDS2019-4970 (2019)
- [4] 東城宗熙, 伊藤優, 長崎孝夫, 極低温回転機械に適したキャビテーションの数学モデルを用いた2次元翼周りキャビテーションの数値解析, 日本航空宇宙学会航空原動機・宇宙推進講演会 (2019)
- [5] 伊藤優, 鄭曉, 長崎孝夫, 気泡径分布を用いた極低温キャビテーションの数学モデル(ターボ機械への適用), 日本機械学会流体工学部門講演会 (2018)
- [6] 佐藤悠平, 伊藤優, 長崎孝夫, レイリープレセット方程式と伝熱方程式を連成させた気泡径分布を用いた極低温キャビテーションの数学モデル(インデューサに発生するキャビテーションへの適用), キャビテーションに関するシンポジウム(第19回) (2018)