

MPS 法による液封式ポンプの3次元シミュレーション

日大生産工 ○細川 裕貴 日大生産工(院) 林 侑希
日大生産工 角田 和彦 日大生産工 豊谷 純

1 はじめに

シミュレーションの手法として粒子法と格子法がある。格子法は計算対象の空間を格子によって分割して計算する手法である。粒子法は連続体を有限個の粒子によって表し連続体の挙動を粒子の運動によって計算する手法であり、SPH法とMPS法¹⁾の2つの手法がある。本来の液封式ポンプは気体と液体の2相流であるが、今回は液体のみを対象とする。

本研究では、MPS法による液封式ポンプシミュレーションを行なうことを目的とし、インペラーの回転数における平均圧力を比較することで、工業の分野でMPS法が活用できるか検証する。

2 液封式ポンプ

液封式ポンプは、気体の圧送または排除に用いられる装置をいう(図1参照)。筒状になっているケーシングの中にインペラーと呼ばれる羽根があり、このインペラーを回転させることで、中の流体がケーシングの壁に押し付けられる形となり、中心には空気の層ができる。この空気の層ができる部分はウォーターリングと呼ぶ。また、液封式ポンプは左側で圧力が低く、右側で圧力が高い製品が性能が高いと評価される。

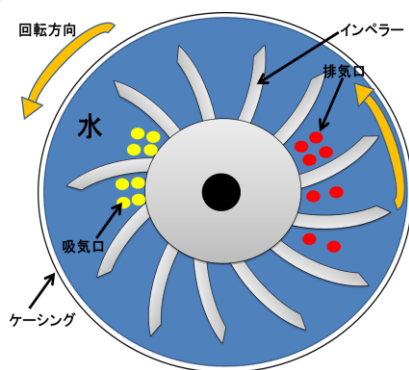


図1 液封式ポンプ

3 支配方程式

非圧縮粘性流れの支配方程式は以下の式で示される。

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \nu\nabla^2 u + g \quad (2)$$

式(1)は質量保存則で、連続の式と呼ばれる。式(2)は運動量保存則で、ナビエーストックス方程式と呼ばれる。 ν は動粘性係数である。ナビエーストックス方程式の左辺は、速度ベクトルに対するラグランジュ微分である。右辺第1項は圧力勾配項、第2項は粘性項、第3項は重力項である。

4 MPS法

粒子法の1つであり、勾配、発散、ラプラシアンといったベクトル解析の微分演算子に対してそれぞれ粒子間作用モデルを用意し(図2参照)、これらを用いて微分方程式を離散化する。重み関数 w を導入し、粒子間作用モデルにはこの重み関数を利用する。本研究では解の安定性のために重み関数に対数関数を適用する²⁾。

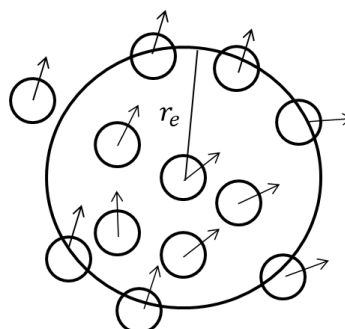


図2 粒子間作用モデル

3D-Flow Simulation in Liquid Ring Pump by MPS Method
Hiroki HOSOKAWA, Yuki HAYASHI, Kazuhiko KAKUDA and Jun TOYOTANI

$$w(r)=\begin{cases} \log \frac{r_e}{r} & (0 \leq r < r_e) \\ 0 & (r_e \leq r) \end{cases} \quad (3)$$

ここでの r は粒子間距離である。したがって、式(3)の重み関数を用いると、粒子間距離がパラメータ r_e より短い場合のみ粒子間で相互作用することになる。

$$\langle \nabla \cdot u \rangle_i = \frac{d}{n^0} \sum_{j \neq i} \left[\frac{\varphi_j - \varphi_i}{|r_j - r_i|^2} (r_j - r_i) w(|r_j - r_i|) \right] \quad (4)$$

$$\langle \nabla^2 \varphi \rangle = \frac{2d}{\lambda n^0} \sum_{j \neq i} [(\varphi_j - \varphi_i) w(|r_j - r_i|)] \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{j \neq i} |r_j - r_i|^2 w(|r_j - r_i|)}{\sum_{j \neq i} w(|r_j - r_i|)} \quad (6)$$

式(4)は発散モデル、式(5)はラプラシアンモデルである。式(6)はラプラシアンモデルにおいて、統計的な分散の増加を解析解と一致させるための係数である。

5 数値解析

液封式ポンプシミュレーションの数値解析を行う。以下で総粒子数等の解析条件と液封式ポンプの解析モデルを示す。

表1 解析条件

総粒子数	152,056
粒子間距離	0.008m
密度	1,000kg/m ³
重力加速度	9.8m/s ²
動粘性係数	1.0 × 10 ⁻⁶ m ² /s

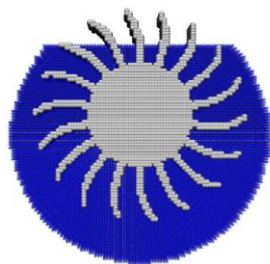


図3 解析モデル

時間変化によるポンプの流体挙動と、平均圧力を以下で示す。

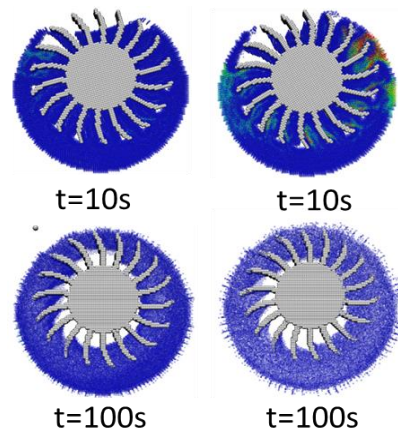


図4 (a)600rpm (b)1200rpm

どちらの回転数においても t=100s の時、中心にウォータリングが形成されているため、シミュレーションは上手くいったと考える。また、以下の平均圧力において、右側の圧力が高いため 1200rpm の方がポンプに適していると言える。

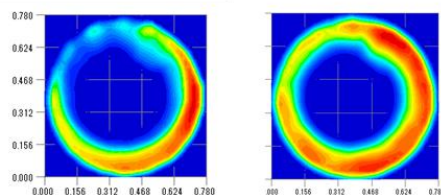


図5 (a)600rpm (b)1200rpm

6 おわりに

MPS法による3次元液封式ポンプシミュレーションを行ない、回転数における平均圧力を比較した。600rpmと比べて右上の圧力が高い1200rpmがポンプに適していると分かった。

今後の課題としては、今回は液体のみを対象としたが、今後は気体と液体を対象とし、解析結果を比較したい。

「参考文献」

- 1) S. Kosizuka and Y. Oka, "Moving-Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid", NUCLEAR SCIENCE AND ENGINEERING, 123, pp. 421-434, (1996).
- 2) 小原俊介, 角田和彦, 豊谷純, 「MPS 法による圧力安定化手法及び液封式ポンプへの適用」, 第 25 回流体力学シンポジウム講演論文集(2011)