

回転容器内に発生する対流の検討

— 容器回転実験系において対流が磁場配向に及ぼす影響の評価に向けて —

Investigation of convection in a rotating container – Toward the evaluation of the effect of convection on the magnetic orientation phenomena in rotating container system—

日大院生産工¹, 物材機構² °井上 真生¹, 安藤 努¹, 廣田 憲之²

College of Industrial Technology, Nihon Univ.¹, National Institute for Materials Science²

° Mao Inoue¹, Tsutomu Ando¹, Noriyuki Hirota²

E-mail: cima13010@g.nihon-u.ac.jp

1. 諸言

近年, 超伝導技術の発達に伴って 10 T 程度の強磁場を容易に発生させることが可能となり, 磁場の新たな応用が期待されている. その一つに磁気異方性を利用することで微粒子の方位を制御し, 物理的特性などの向上を狙った材料の作製がある. 磁化率が最も小さい軸, つまり磁化困難軸を長手方向に有する棒状微粒子に回転磁場 B を印加すると, Fig. 1 に示すように磁化困難軸 χ_1 を回転軸と平行な方向に一軸配向させることが可能となる. 現在, 静磁場下で溶媒中に分散した微粒子を容器ごと回転させることで回転磁場を印加することが多い.

一般に液体の入った容器を回転させると壁面近くの溶媒は容器と共に回転するため, 回転容器内壁に生じた境界層が容器内を循環する対流に発展する[1]. 現状の磁場配向スケールではこの対流の影響は無視できるが, 将来の実用化を目指した大きなスケールの場合には磁場配向に与える対流の影響が増大することが予想される. そこで本研究では, 数値シミュレーションにより容器の寸法や回転数といった指標を変化させ, これらと対流層との関係を調べることにした.

2. シミュレーションモデル

本研究では流れ場をモデル化するにあたって (1)式に示すように軸対称流を仮定した. また, (2)式に示す連続の式および(3)式に示す Navier-Stokes 方程式を用いた. 座標系は 2 次元円柱座標を用い, 流れ場の数値解析には MAC 法を使用した.

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \theta} = \mathbf{0}, \quad \frac{\partial p}{\partial \theta} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{u} \quad (3)$$

ここで, $\mathbf{u} = (u_r, u_\theta, u_z)$ は流体の速度ベクトル, θ は円柱座標の円周角, p は圧力, r は半径方向座標, t は時間, ρ は溶媒の密度, μ は溶媒の粘性係数とする.

3. 解析条件

溶媒は水を仮定した. ただし今回は, 粒子を考慮しないでシミュレーションを行う. 計算領域は, 高さ方向を a としたとき半径方向を $r_0 (= \alpha a)$ とした. ここで, α は任意定数とする. また, z 軸を回転軸とし, 回転数 ω を変化させた.

4. シミュレーション結果

$r_0 = a$ のシミュレーションの結果, Fig. 2 に示すような流線が得られた. 回転方向に対して垂直断面内において, 高さ中央付近にて中心軸から外壁へ向かう対流が確認できた. 講演では寸法や回転数を変化させ, これらと対流の関係を述べる予定である.

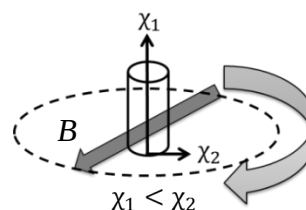


Fig. 1 The alignment of a rodlike particulate applied rotational magnetic field. $\chi_1 < \chi_2$.

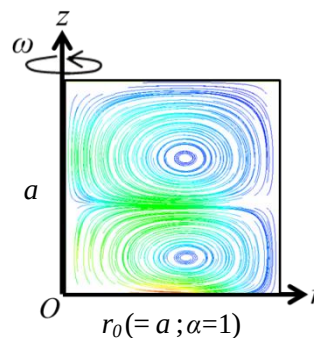


Fig. 2 The streamline in a rotating container.

5. 参考文献

[1] 日本流体力学会, 流体力学ハンドブック第 2 版, 丸善, 1998, pp.749-767