

## 変調回転における角速度制御が円筒容器内流体の渦生成に及ぼす影響の検討

日大生産工(院) ○佐ノ木 慧亮

日大生産工 安藤 努  
物材機構 廣田 崇之

## 1. 緒言

強磁場を利用した微単結晶の三軸配向では試料容器を変調回転する手法が多くとられている<sup>1)</sup>。Fig. 1のように、容器を停止させ結晶に静磁場を印加することで結晶の磁化容易軸を、回転磁場を印加することで磁化困難軸をそれぞれ配向させることで三軸配向を達成したことが報告されている<sup>2), 3)</sup>。試料容器の回転開始直後には上下壁面近傍において中心から半径方向に向かって流速が高くなる<sup>4)</sup>。その結果として渦が生成される。停止した瞬間には、回転開始時とは反対向きの渦が生じ、これが繰り返し起こる流れが生じている。このように、回転と停止によって生じる流れ・渦が配向を妨げる要因となり得る。本研究では回転と停止を組み合わせた変調回転に着目し、回転時の角速度と溶媒粘度をパラメータとして数値解析を行い、容器内で生成される渦の構造や位置変化について可視化・評価した結果を報告する。

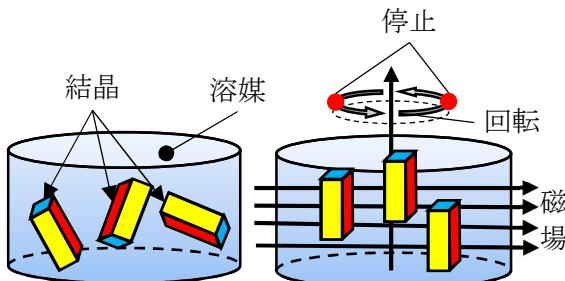


Fig. 1 三軸配向

## 2. 数値解析手法

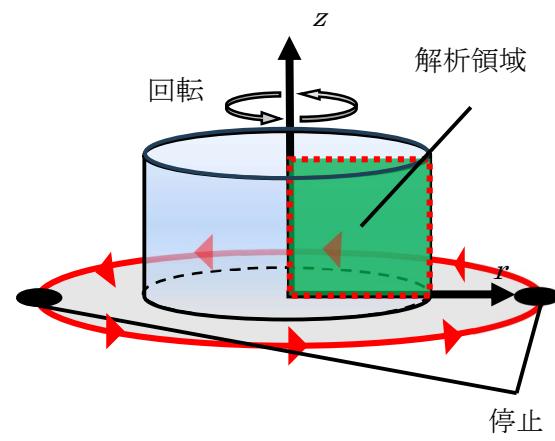
本研究では Marker and Cell 法（以後、MAC 法）を用いた数値解析を行う。MAC 法では、計算領域に対してスタッガード格子を用いて、各変数別々の格子点で計算を行う<sup>5)</sup>。流れの計算は、 $r$  と  $z$  を座標に持つ円筒座標系の式(1)の非圧縮性流れにおける連続の式と式(2),(3)の Navier-Stokes の方程式に従う。ここで、流体の速度  $u_r, u_z$ 、時刻  $t$ 、溶媒密度  $\rho$ 、圧力  $p$ 、粘性係数  $\eta$  である。

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

$$\begin{aligned} r\text{成分} : & \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{u_\theta^2}{r} \\ & = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\eta}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \frac{u_r}{r^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} z\text{成分} : & \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \\ & = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\eta}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Fig. 2に解析領域、Fig. 3に回転条件を示した。解析領域は、 $r$ - $z$ の断面に対し、 $z$ 軸において回転対称を仮定して  $r \geq 0$  の縦横20 mmの正方形領域とした。Table 1に数値解析の条件を示す。回転条件は、反時計回りに回転、開始から5秒間の計算を行った。溶媒粘度は室温 25°Cにおいて溶媒1：水、溶媒2：水の10倍の粘度を用いる。

Fig. 2  $r$ - $z$  断面の解析領域

## Investigation of the Influence of Angular Velocity and Solvent Viscosity during Modulated Rotation on Fluid Vortex Generation in a Cylindrical Vessel

Keisuke SANOKI, Tsutomu ANDO and Noriyuki HIROTA

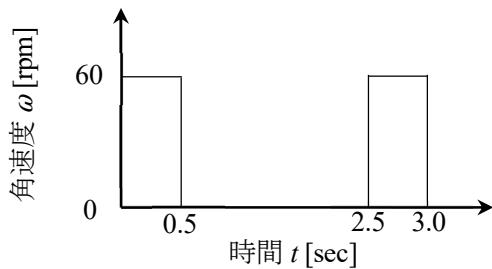


Fig. 3 回転条件

Table 1 数値解析条件

変数	値
容器寸法	直径 [mm] $\varphi 40$
	高さ [mm] 20
回転条件	角速度 $\omega$ [rpm] 30 / 60 / 90
	停止時間 [s] 2
溶媒 1	温度 $T$ [K] 298
	密度 $\rho$ [ $\text{kg m}^{-3}$ ] $9.97 \times 10^2$
	粘度係数 $\eta$ [ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ] $0.89$
	$(\eta_w)$
溶媒 2	密度 $\rho$ [ $\text{kg m}^{-3}$ ] $9.97 \times 10^2$
	粘性係数 $\eta$ [ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ] $0.89 \times 10^2$
	$(10\eta_w)$

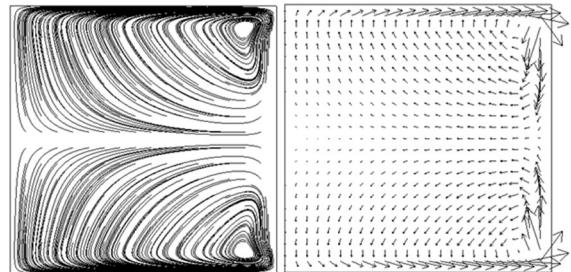
### 3. 数値解析結果及び考察

Fig. 4は角速度を60 rpmに設定し、(a)では水の粘度、(b)では水の10倍の粘度の結果である。回転開始から0.3 sec経過後に生成された渦の様子を示す。水の粘度に対して粘度を高くすることで渦は回転中心方向に寄り、また上下壁面での高い流速が緩和するということが分かった。

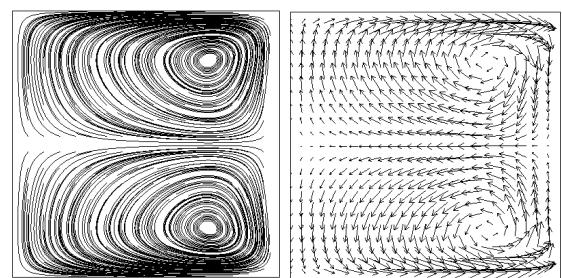
### 4. 結言

本研究では回転と停止を組み合わせた変調回転に着目し、回転時の角速度と溶媒粘度をパラメータとして数値解析を行い、容器内で生成される渦の構造や位置変化について可視化・評価した。その結果、粘度を高くすることで、上下壁面の流速を緩和させることができることが分かった。また、上下壁面付近では流速が高いため、粒子の配向が生じにくく領域であると考えられる。このため、配向体として取り扱う際には十分な注意が必要である。引き続き角速度と溶媒粘度のパラメータ

で数値解析を行い、渦構造と位置変化について考察する。



(a) 溶媒粘度 :  $\eta_w$



(b) 溶媒粘度 :  $10\eta_w$

Fig. 4 回転開始から 0.3 sec 後の渦構造

### 参考文献

- 1) F. Kimura and T. Kimura, Magnetically textured powders—an alternative to single-crystal and powder X-ray diffraction methods, *CrystEngComm*, 20, 2018, pp. 861-872.
- 2) F. Kimura, W. Oshima, H. Matsumoto, H. Uekusa, K. Aburaya, M. Maeyama, and T. Kimura, Single crystal structure analysis via magnetically oriented microcrystal arrays, *CrystEngComm*, 16, 2014, pp.6630-6634.
- 3) W. B. Ali, S. Adachi, F. Kimura, and S. Horii, Tri-axial magnetic alignment and magnetic anisotropies in misfit-layered calcium-based cobaltites doped with rare-earth ions, *Open Ceramics*, 20, 2024, 100697.
- 4) M. Ungarish, Spin-up from rest of a mixture, *Physics of Fluids*, 2, 1990, pp.160-166.
- 5) F.H. Harlow and J.E. Welch, Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow of Fluid with Free Surface, *Physics of Fluids*, 8, 1965, pp. 2182-2189.