鏡の国のニュートン流動場における粒子

Through the Looking Glass
(And What Particle Under Newtonian Fluid Found There)

名古屋大学大学院工学研究科　牧野 真人[1] , 土井 正男

1 はじめに

鏡の中の電磁石は、われわれの世界における電磁石とコイルの巻き方が逆になるため磁極 (N,S) がわれわれの世界と逆になる [1]。このわれわれの世界のコイルと鏡の世界のコイルは互いに掌性 (キラル) と呼ばれる性質を持っている。

それでは、低レイノルズ数の単純せん断流における粒子分散系では、どうであろうか？鏡の国の粒子を我々の世界に招待することを考える。渦度の向きが一方向である流体下で掌性を持つ粒子を流すとその粒子とその鏡像異性体は、先の電磁石の例からの推測で互いに別の方向に進行する可能性がある。このような現象が確認されれば、掌性を持つウイルスの分離など化学、医学分野への応用も期待される。そこで、本研究では、掌性粒子の単純せん断流における振る舞いを計算機を用いて調べた。

2 シミュレーション手法

以下の移動度問題を解くことで粒子の時間発展を考える。移動度問題は粒子に働く力 $\boldsymbol{F}$、トルク $\boldsymbol{T}$ および 2 階のテンソルである応力極 $\boldsymbol{S}$ と粒子の並進速度と流体の速度の差 $\boldsymbol{V}-\boldsymbol{V}_0$、角速度の差 $\boldsymbol{\Omega}-\boldsymbol{\Omega}_0$ および変形速度テンソル $\boldsymbol{E}$ を用いて以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} \boldsymbol{V}-\boldsymbol{V}_0 \\ \boldsymbol{\Omega}-\boldsymbol{\Omega}_0 \\ \boldsymbol{S} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{a} & \tilde{\boldsymbol{b}} & \tilde{\boldsymbol{g}} \\ \boldsymbol{b} & \boldsymbol{c} & \tilde{\boldsymbol{h}} \\ \boldsymbol{g} & \boldsymbol{h} & \boldsymbol{k} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boldsymbol{F} \\ \boldsymbol{T} \\ \boldsymbol{E} \end{pmatrix} \tag{1}$$

ここで 2 階のテンソル $\boldsymbol{a},\boldsymbol{b},\boldsymbol{c}$、3 階のテンソル $\boldsymbol{g},\boldsymbol{h}$ および 4 階のテンソル $\boldsymbol{k}$ を合わせて移動度テンソルと呼ぶ。移動度テンソルは粒子の形状で決定するテンソルである。これらのテンソルには、

$$a_{\alpha\beta}=a_{\beta\alpha},\ c_{\alpha\beta}=c_{\beta\alpha},\ k_{\alpha\beta\gamma\delta}=k_{\gamma\delta\alpha\beta},\ \tilde{b}_{\alpha\beta}=b_{\beta\alpha},\ \tilde{g}_{\alpha\beta\gamma}=g_{\gamma\beta\alpha},\ \tilde{h}_{\alpha\beta\gamma}=h_{\gamma\beta\alpha} \tag{2}$$

などの関係がある [2]。ただし、本発表では重力などの外部から力や粒子同士の相互作用を考えない希薄系を想定するため $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{T}=\boldsymbol{0}$ とし、特に応力極に興味を持たないため、以下のような方程

[1] E-mail: makino@stat.cse.nagoya-u.ac.jp

式を考えることとなる。

$$V = V_0 + \tilde{g} : E,\ \Omega = \Omega_0 + \tilde{h} : E \tag{3}$$

ここで、流れ場は、せん断流 $V_0 = \dot{\gamma} Y e_X, \Omega_0 = \dot{\gamma} e_Z/2, E = \dot{\gamma}(e_X e_Y + e_Y e_X)/2$ として扱った。

3 結果

ここでは図 1 にある円盤二つからなる粒子 (a),(b) についての例を挙げる。(a),(b) はそれぞれ、対掌体である。それぞれの円盤の法線ベクトルは (a) が $n_1 = (1/\sqrt{2}, 0, 1/\sqrt{2})$ および $n_2 = (1/2, 1/2, 1/\sqrt{2})$ で (b) が $n_1 = (1/\sqrt{2}, 0, 1/\sqrt{2})$ および $n_2 = (1/2, -1/2, 1/\sqrt{2})$ である。(a),(b) をそれぞれランダムな向きに配向させ系の原点に 100 個おき、せん断流を印加した。

ひずみ 10000 における粒子の Z 座標 (渦度の負の方向) に対する粒子の数のヒストグラムを掲げる (図 2,3)。これらの結果から対掌体はそれぞれ別の方向に移動しており、掌性粒子のせん断流による分離の可能性を示している。

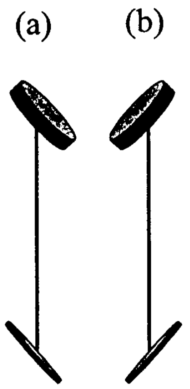

図 1: 粒子モデル

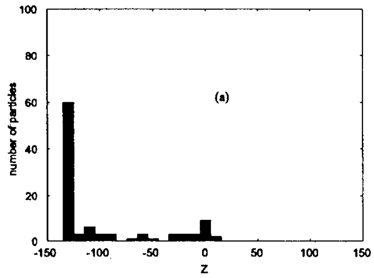

図 2: ひずみ 10000 における粒子 (a) の z 座標に対する粒子の数

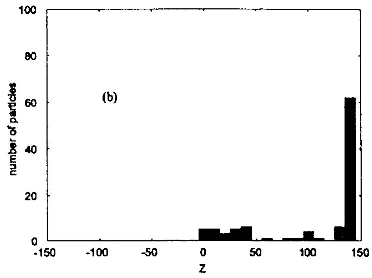

図 3: ひずみ 10000 における粒子 (b) の z 座標に対する粒子の数

参考文献

[1] 朝永振一郎, 鏡の中の物理学 講談社学術文庫 (1976)

[2] Kim, S. and Karrila, S. J., *Microhydrodynamics* (Butterworth-Heinemann, Stoneham, 1991)