

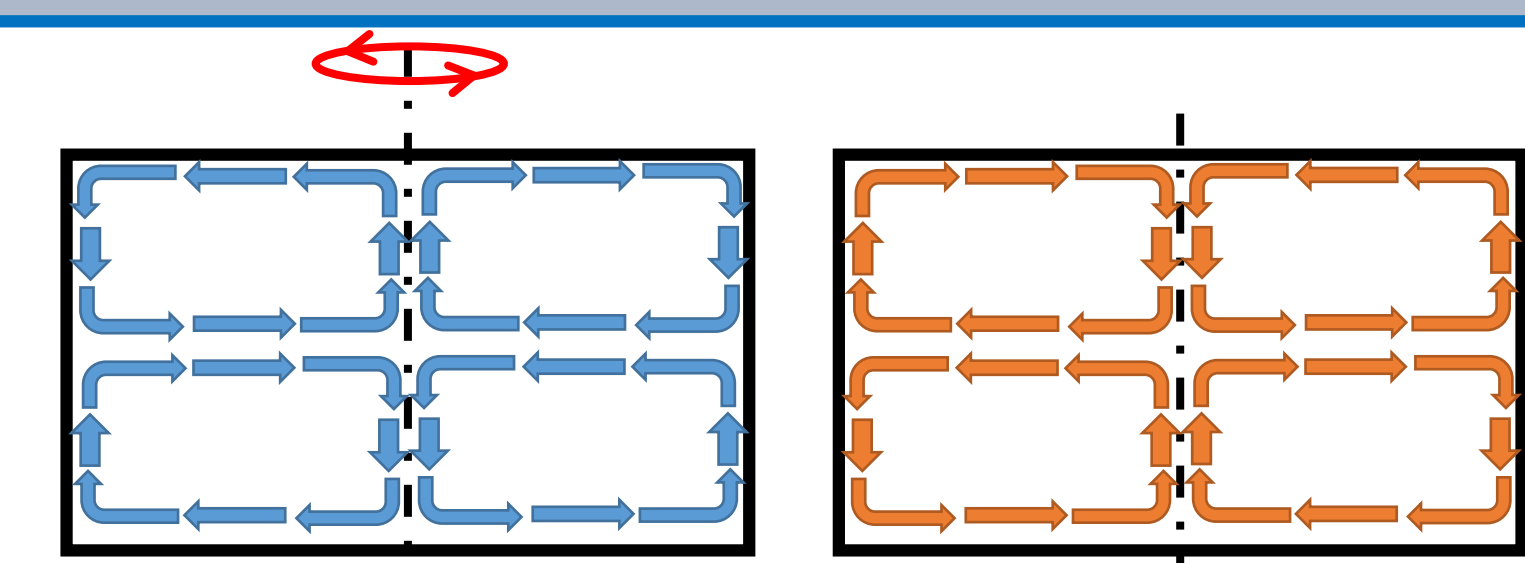
強磁場材料プロセスにおける変調回転容器内に発生する非定常流の挙動

影山 正典^{1*}, 安藤 努², 廣田 憲之³, 堀井 滋⁴

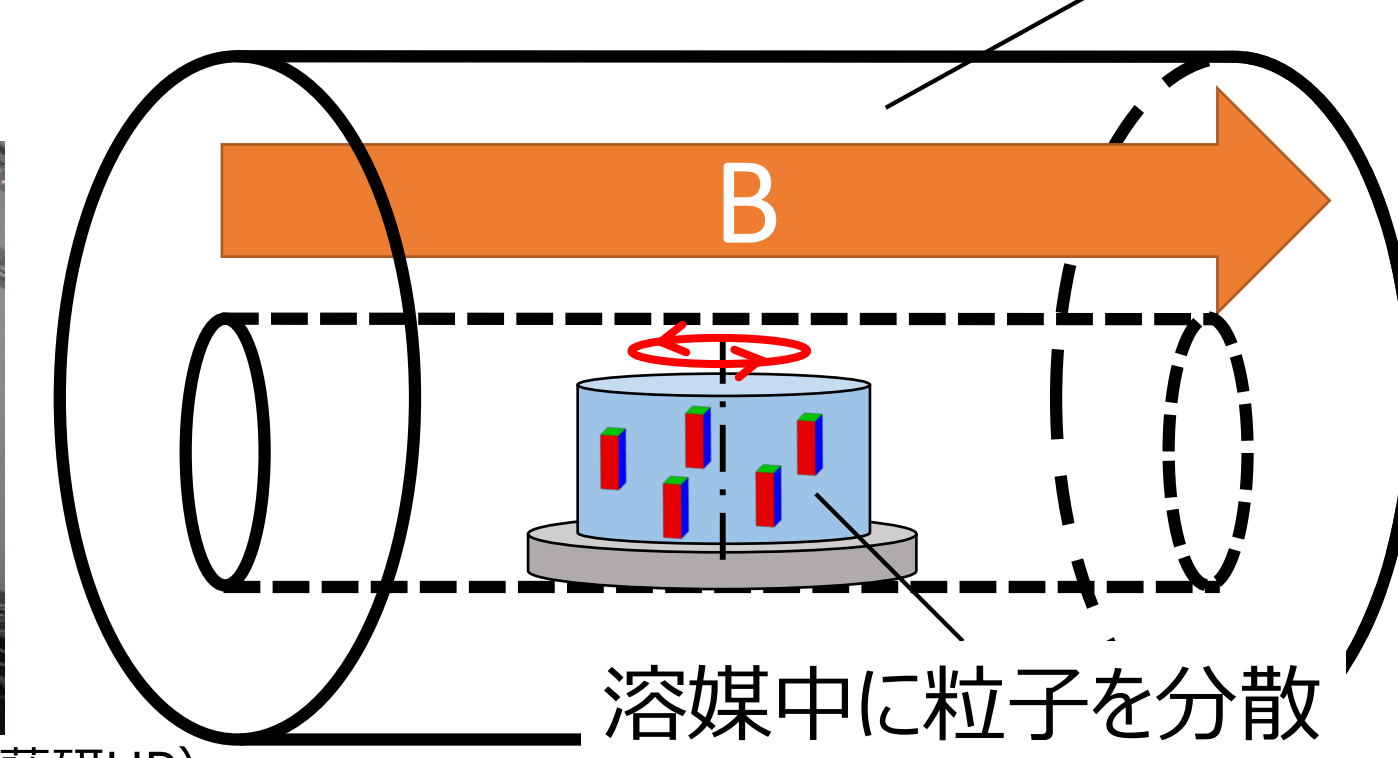
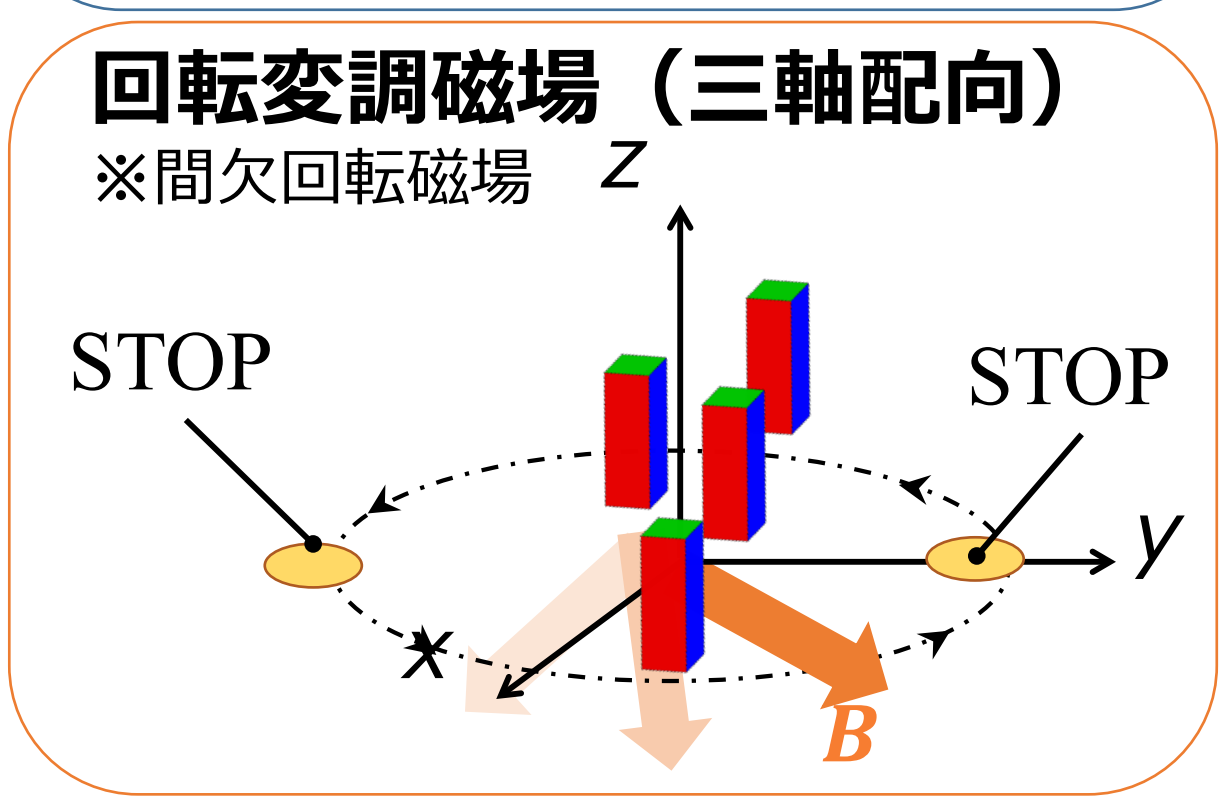
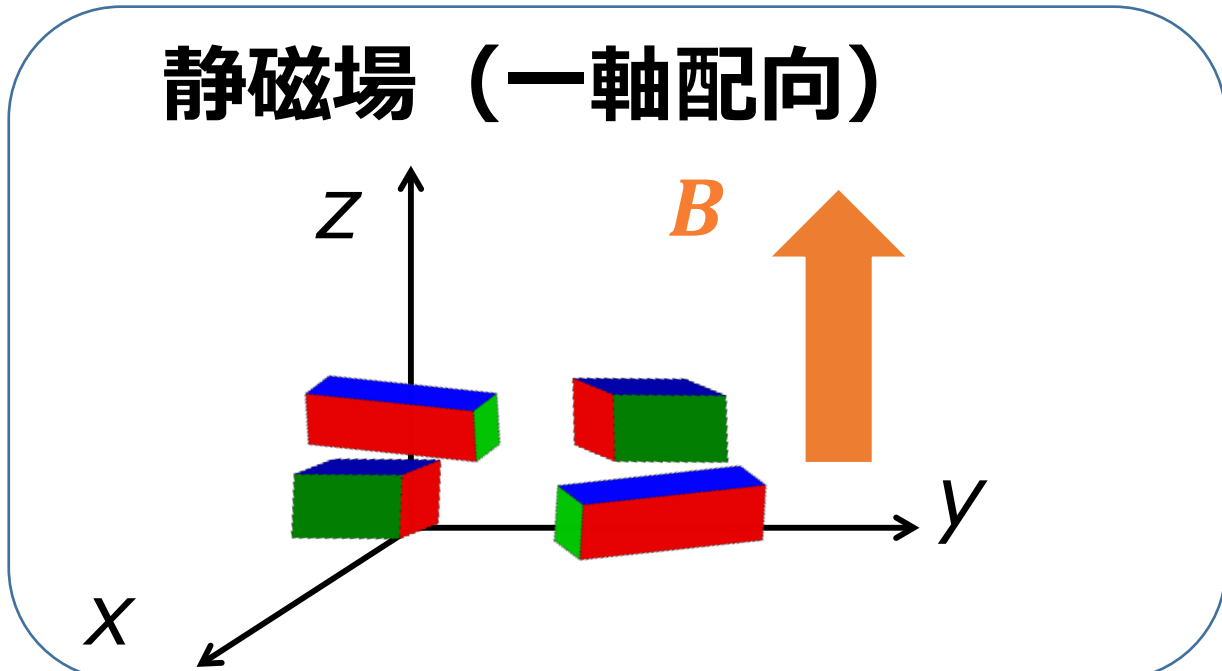
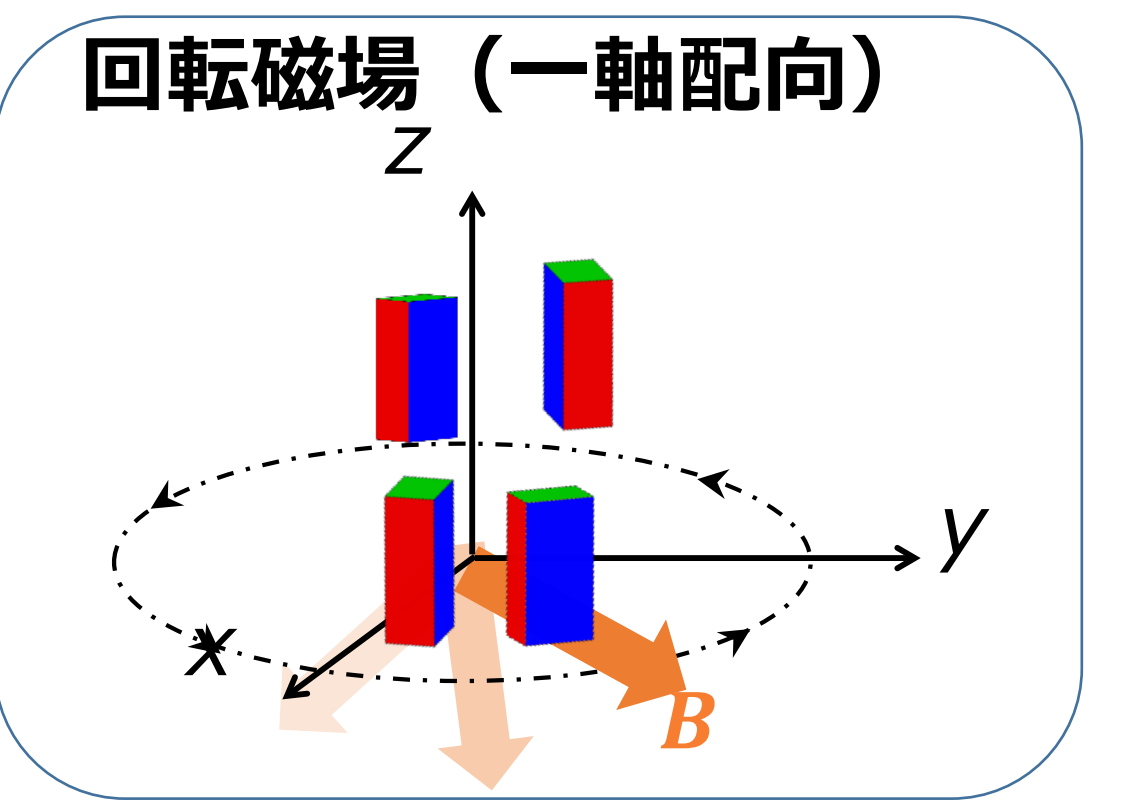
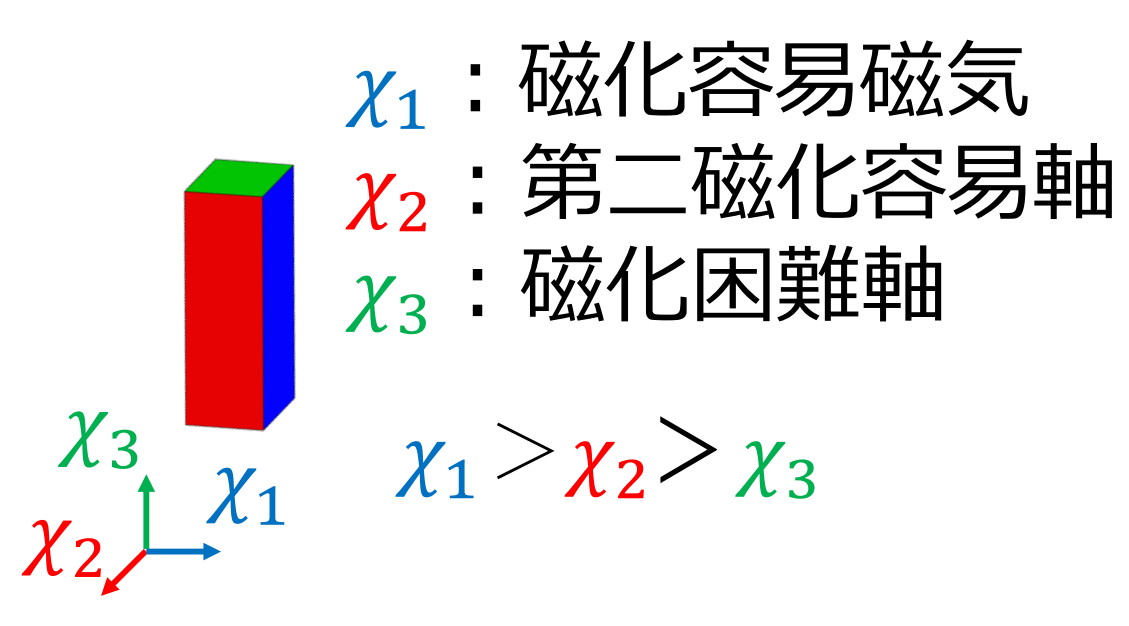
¹日大院生産工, ²日大生産工, ³物質・材料研究機構, ⁴京大院エネ科 *e-mail: cima17007@g.nihon-u.ac.jp

研究背景と目的

現在, 超伝導磁石の発展に伴い, 磁場を用いた材料プロセスが盛んに研究されるようになった。その中の一つとして磁場を印加し, 非接触で磁気異方性粒子の結晶方向を制御する磁場配向があげられる。この研究では結晶方向を揃えることにより材料の物性の向上が期待されている。



容器を回転させることによって問題
回転時に容器内に生ずる流れが
粒子の配向を阻害する可能性がある。



配管や装置自体が大きい
という点から回転することは困難

容器内の流れを明らかにすることで
磁場配向の精度や効率の向上が
期待できる。

本研究では現在まだ流れに関して検討されていない首振り式の回転方法についてシミュレーションを行い, 実験と比較をしたので報告する。

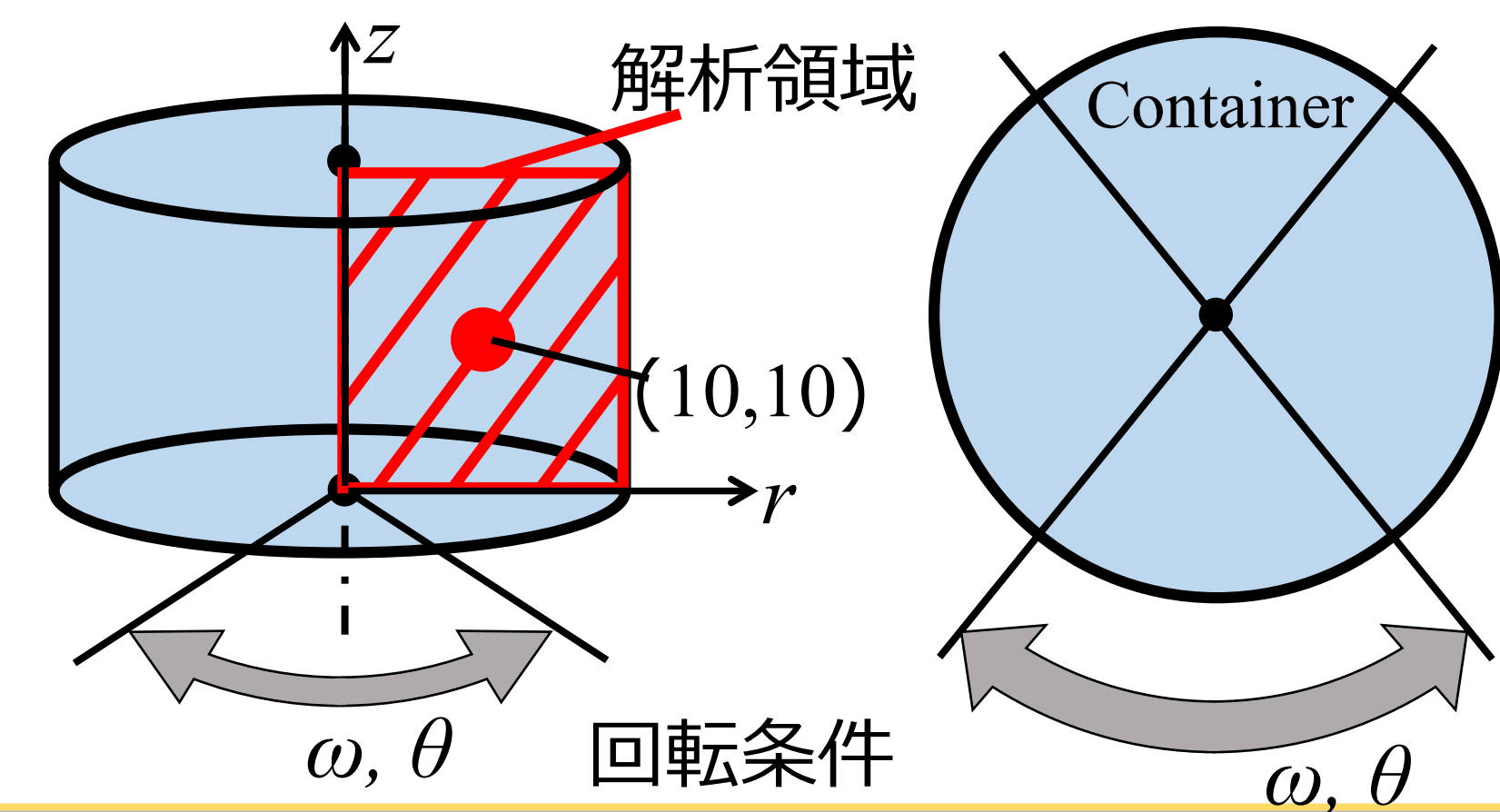
数値シミュレーション

本研究の流体解析は, 無磁場下において液体の入った密閉容器を回転させる系を想定する。流れ場を連続の式 (式(1)), Navier-Stokes方程式 (式(2)) をMAC法 (Marker and Cell Method) [1] で三次の風上差分法により解いた。計算領域は軸対称とした (式(3))。

$$\nabla \cdot \mathbf{u}^* = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}^*}{\partial t^*} + (\mathbf{u}^* \cdot \nabla) \mathbf{u}^* = -\nabla p^* + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u}^*, \quad Re = \frac{r_0 \omega h}{\eta/\rho} \quad (2)$$

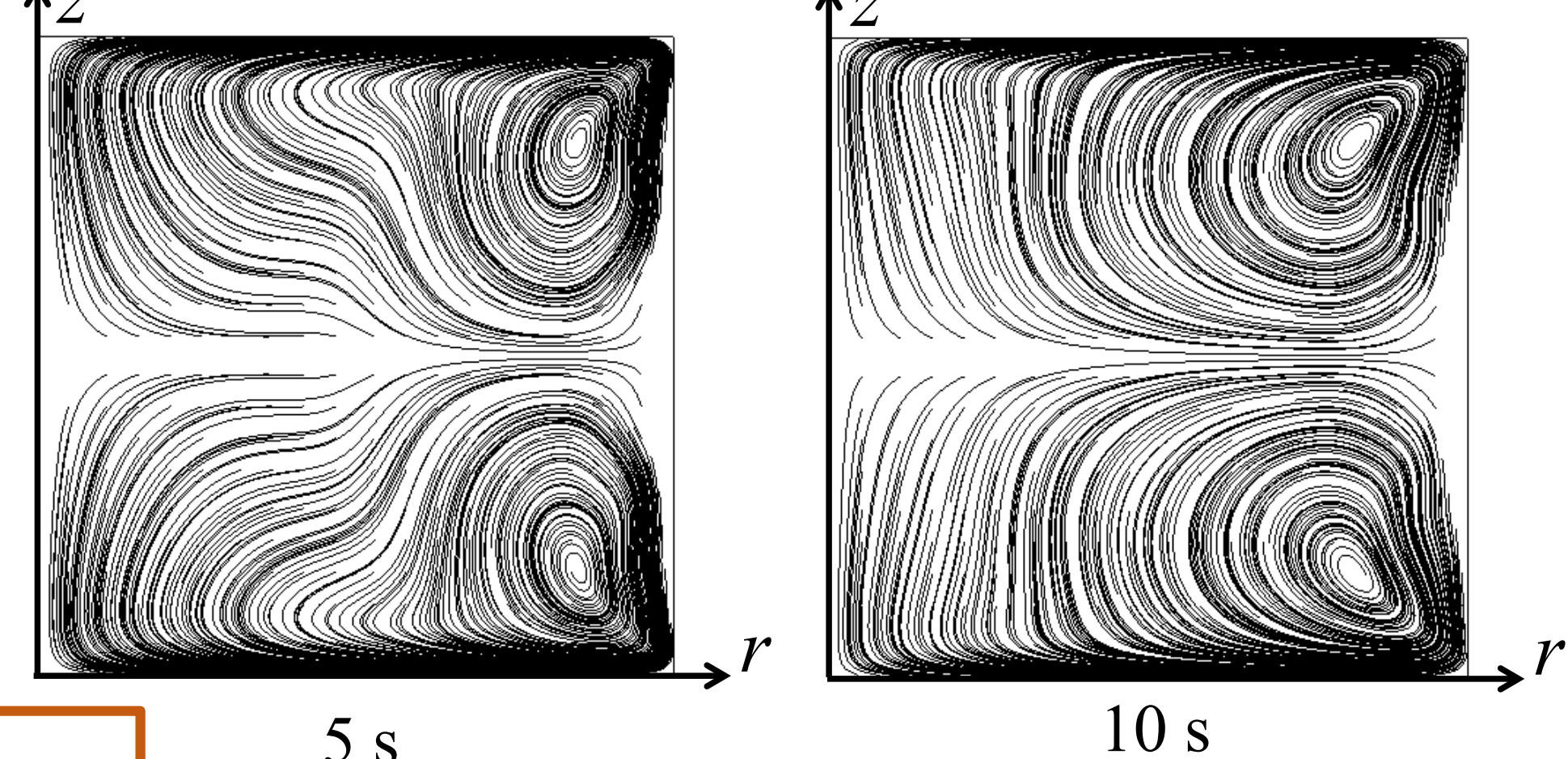
$$\frac{\partial \mathbf{u}^*}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{\partial p^*}{\partial \theta} = 0. \quad \mathbf{u}^* = (u_r^*, u_\theta^*, u_z^*) \quad (3)$$



計算領域の寸法	
Computational domain	Value
Radius. r_0 [m]	20×10^{-3}
Height. h_0 [m]	20×10^{-3}
溶媒の物性値	
Nomenclature	Value
Density. ρ [kg/m ³]	997.04
Viscosity. μ [Pa·s]	0.89×10^{-3}
	0.89×10^{-1}

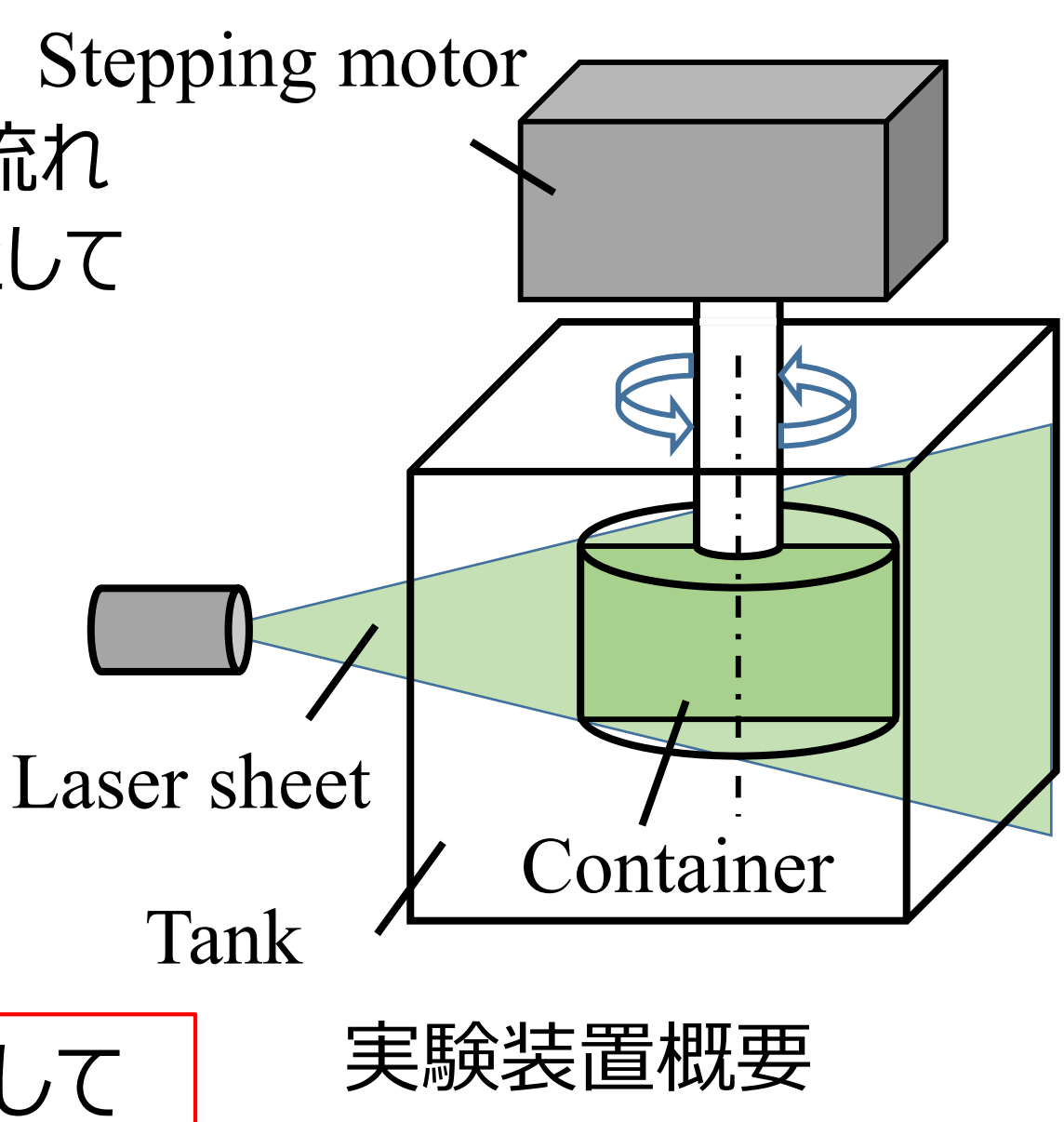
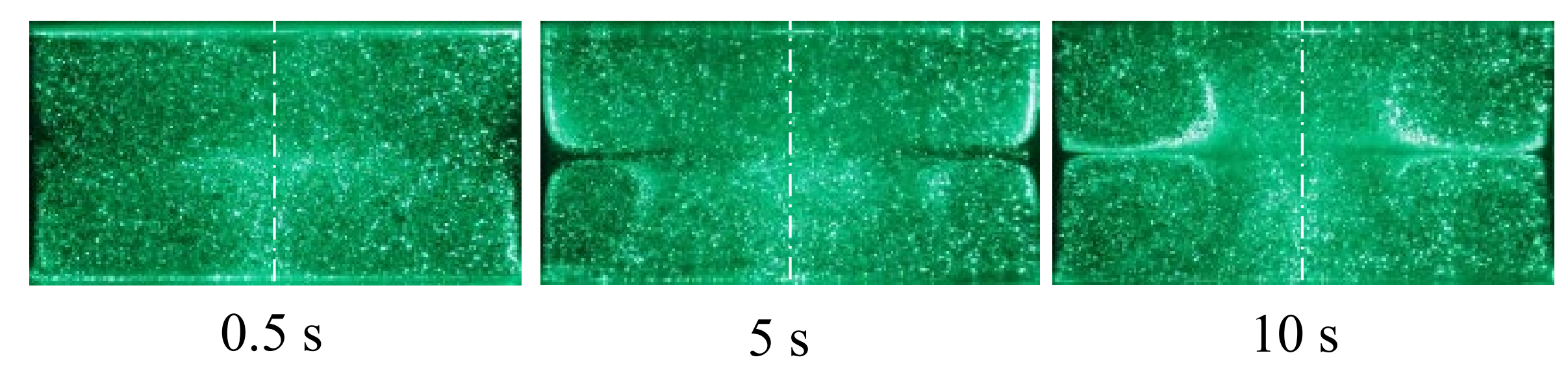
結果 I

最もシンプルな回転方法として $\omega=50$ rpm, $\theta=180^\circ$, 水におけるシミュレーションを行い, 容器断面の流れを解析した。



検証実験 (結果 I)

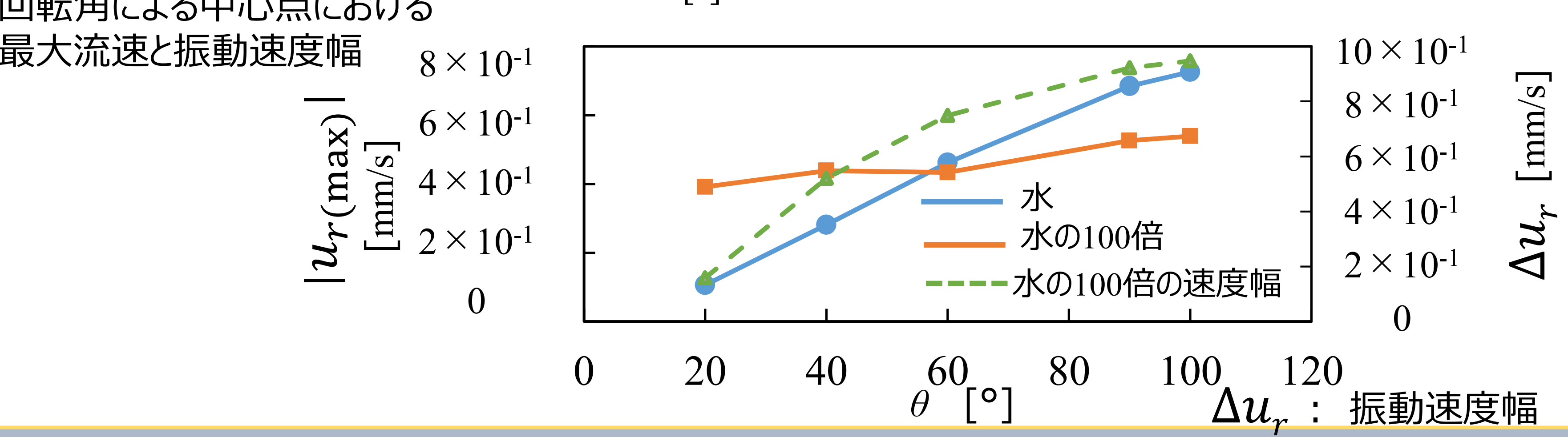
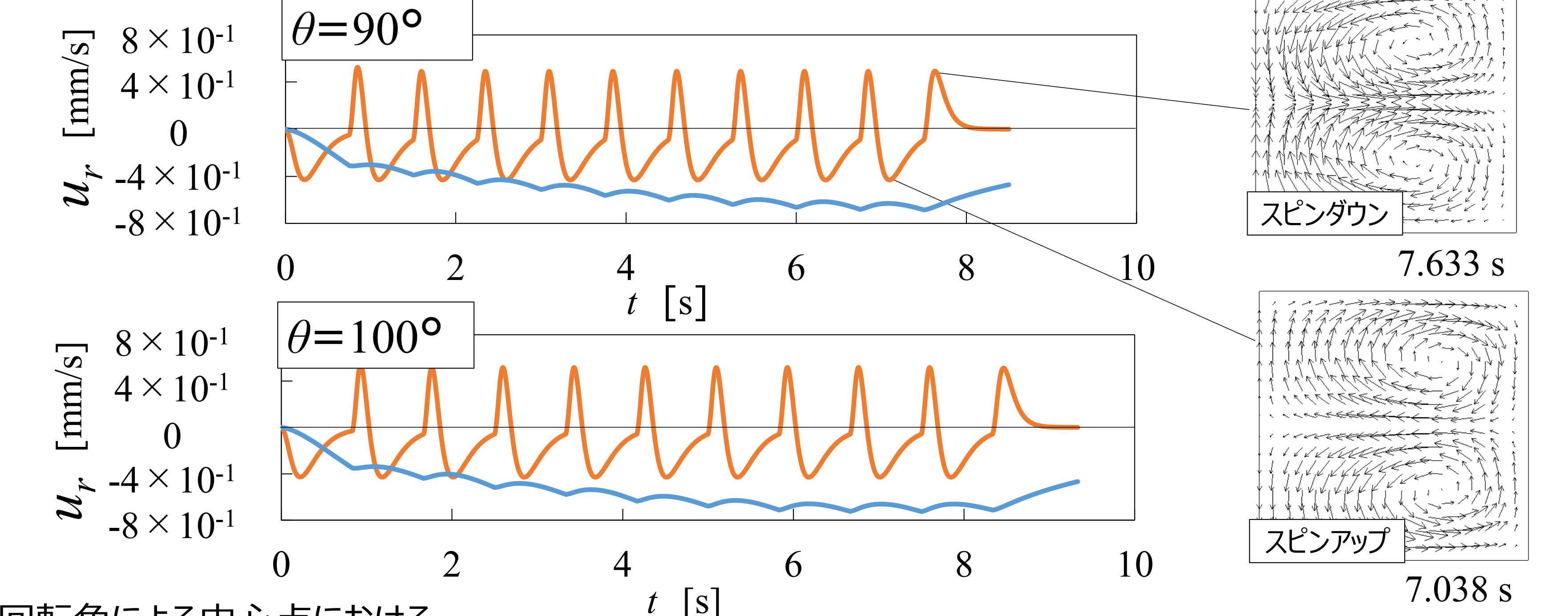
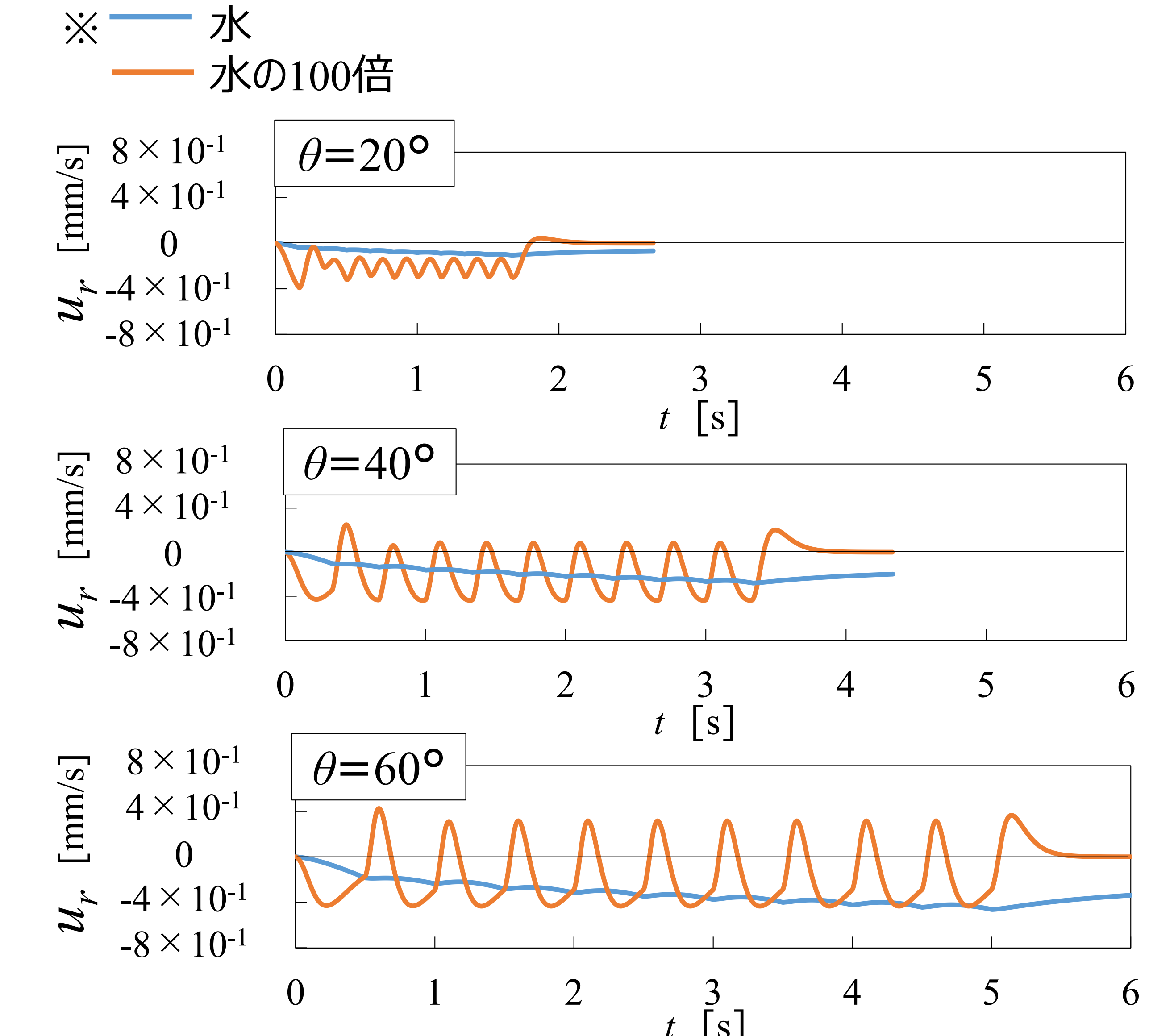
$\omega=50$ rpm, $\theta=180^\circ$ におけるシミュレーションの妥当性を検証するために流れの可視化実験を行った。溶媒は比重を調整した水を用い, トレーサーとしてダイアイオン粒子 (比重1.02, 粒子径: 250~700 μm) を使用した。



シミュレーションと比較すると定性的ではあるが渦の形成され方として同様の傾向が見られた。

結果 II

今回, 実際に磁場配向で使用された回転方法[2]とし $\omega=20$ rpm, $\theta=20, 40, 60, 90, 100^\circ$ におけるシミュレーションを行い, (10,10)の流速を計測した。容器が回転開始し, 10回切り替わったら停止する条件とした。また停止後1秒間解析を続け, 水と水の100倍の粘度において解析を行った。



まとめ

- $\omega=50$ rpm, $\theta=180^\circ$ の回転方法において実験とシミュレーションで同様の傾向が確認された。
- 水の粘度の場合, 回転角に応じて中心点の最大流速が増加する。
- 水の100倍の粘度の場合, 回転角を小さくすることで回転中に発生するスピンドウンの流れが抑制され, 容器内部の振動速度幅 (Δu_r) が低減された。

参考文献

[1] F. H. Harlow and J. E. Welch, The Physics of Fluids, 8, (1965)2182-2189.
 [2] 山木, 高知工科大学 博士論文, (2014).
 [3] 井上, 安藤, 廣田, 第61回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集(2014) 20p-F4-5.
 [4] 上西, 尾方, 安藤, 廣田, 第11回日本磁気科学学会年会講演予稿集 (2016)70-71.