

磁場印加方向の違いによる MR流体の直接数値シミュレーション

○日本大学 生産工（院） 田中 亜宗

日本大学 生産工 安藤 努

PIA 小池 修

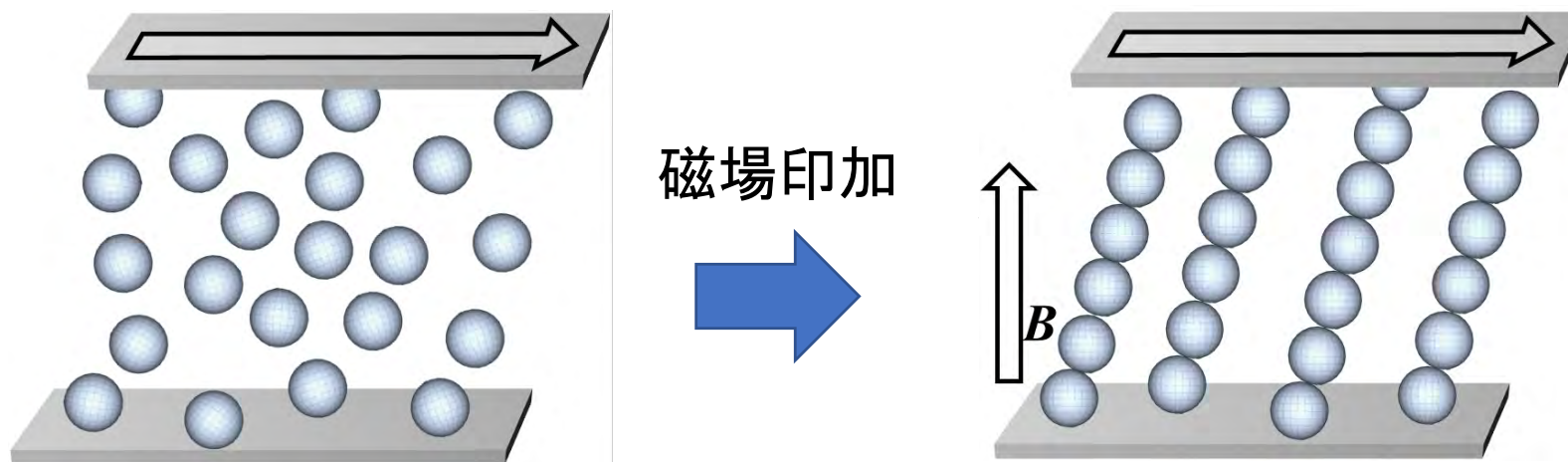
東京大学 環安セ 辰巳 怜

NIMS 廣田 憲之

MR流体の性質とその物性

1

MR流体 磁気粘性流体(Magnetorheological fluid, MRF)

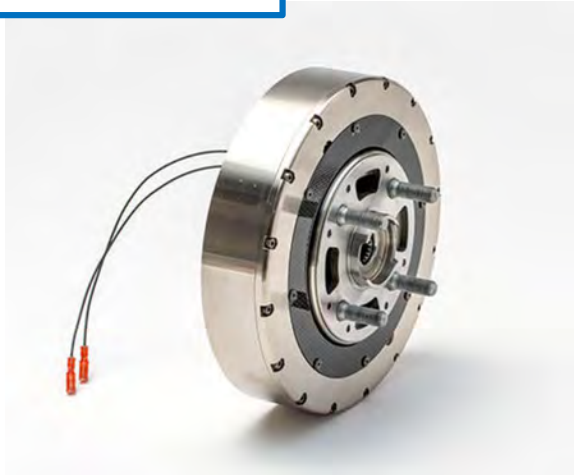


Nomenclature		MR流体 (Magnetorheological fluid)	磁性流体 (Magnetic fluid)
粒子	材質	強磁性体	強磁性体(主にマグネタイト)
	粒子径	1 ~ 10 μm	~ 0.01 μm
	体積率	20 ~ 40 vol%	約10 vol%
溶媒		絶縁性オイル	絶縁性オイル
応用分野		ダンパ クラッチ ブレーキ	ダンパ センサ シール

MR流体の応用研究

2

制動技術分野



MR流体ブレーキ¹⁾

医療・福祉分野



義足²⁾



歩行補助具²⁾

衝撃吸収分野



MRダンパ³⁾

MR流体の応用期待分野は多岐にわたっており，他にも工作機械のダンパへの応用研究も行われている。

1) 曙ブレーキ工業株式会社 HP 製品・技術紹介

2) 菊池武士：日本ロボット学会誌, 31 (2013)
pp. 469-472

3) 三和デッキ株式会社 HP 製品紹介

せん断場中の多粒子を対象とした研究⁴⁾ 3

せん断場中の多粒子を対象に，磁場印加によって生じる
せん断応力について印加角度による**角度依存性**を調査

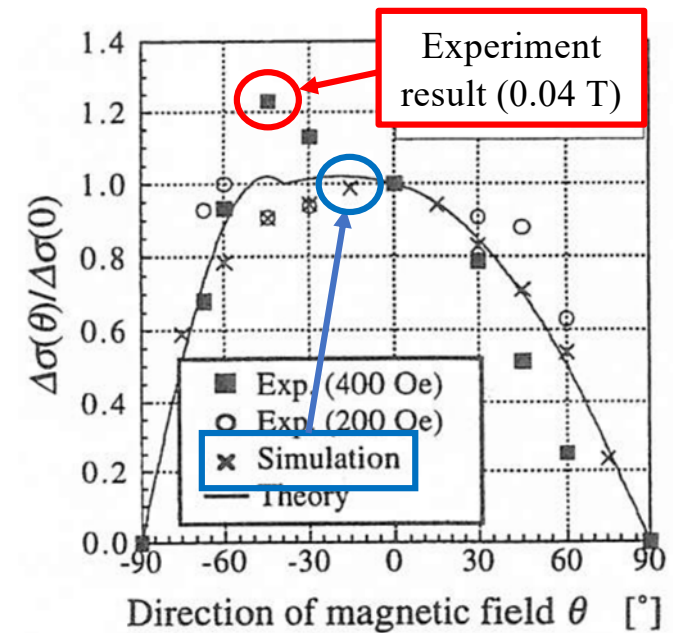
対象	せん断場中の多粒子
手法	実験 シミュレーション
パラメータ	せん断率・磁気力 磁場印加方向

実験

磁場強度0.04 T, **-45°近傍でせん断応力が最大**

シミュレーション

角度依存性は確認可能．流体抵抗：Stokes抵抗近似．
回転自由度は考慮していない．



4) J. Takimoto, H. Takeda, Y. Masubuchi, K. Koyama :
International Journal of Modern Physics B, 13 (1999) 2028-2035.

研究目的とその方法

4

研究目的

せん断場と磁場印加方向の違いによるMR流体中の
粒子系構造と粘度への影響



多粒子系直接数値シミュレーション

解析手法

外部磁場による力・トルク，領域内における
せん断場を考慮



せん断場



粒子系構造



溶液の粘度

シミュレーションモデル

5

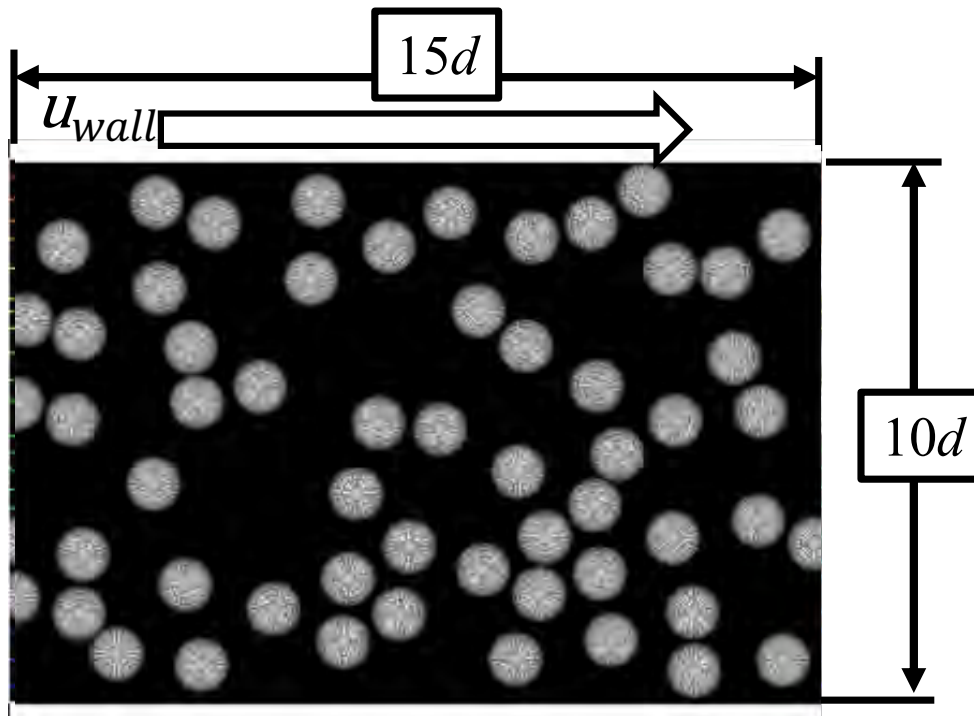
流体

連続の式・揺動Navier-Stokes方程式

粒子

Newtonの運動方程式・Eulerの運動方程式

➡ 流体-粒子運動を連成させた高解像度の直接計算



$-60^\circ \leq \theta_B \leq 60^\circ$ で 15° 毎に値を設定

Particle diameter $d=2.5 \mu\text{m}$

Particle	Density [kg/m^3]	8.90×10^3
	Young's modulus[GPa]	200.0
	Poisson ratio [-]	0.34
	Magnetic susceptibility [A/m]	4.90×10^5
	Particle volume concentration [vol %]	20
Solvent	Density [kg/m^3]	8.26×10^2
	Temperature [K]	293.15
	Viscosity [Pa·s]	2.5×10^{-2}

磁気双極子相互作用

6

二体間磁気ポテンシャル

$$U = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \mathbf{m}^2 (1 - 3 \cos^2 \theta)$$

$\mathbf{m}$: 粒子の磁気モーメント

μ_0 : 真空の透磁率, r : 中心間距離

$\theta = 90^\circ$

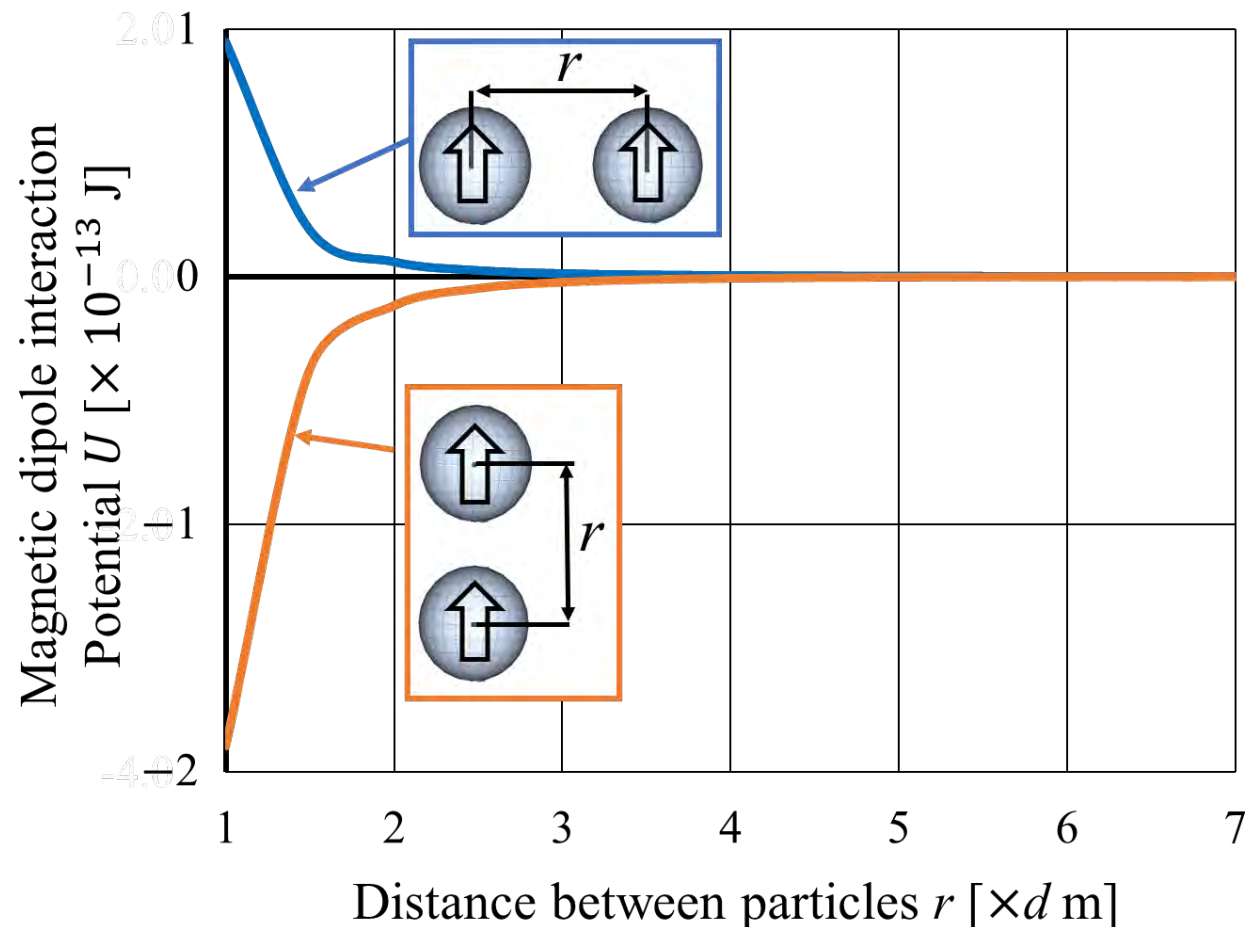
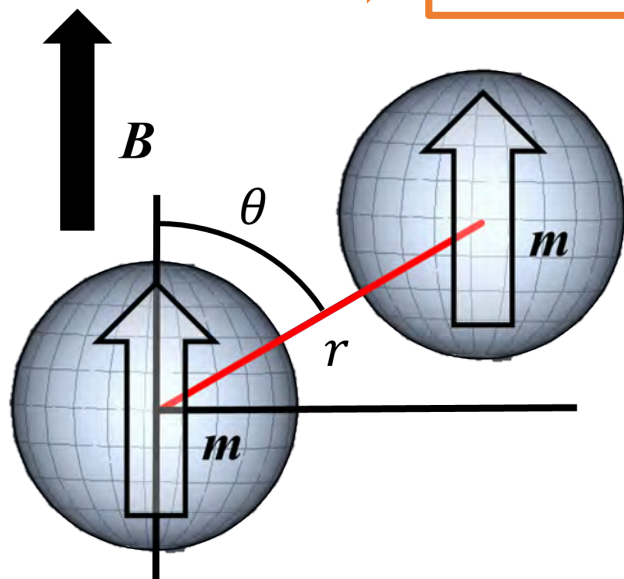


斥力

$\theta = 0^\circ, 180^\circ$



引力



計算結果の評価方法と導出

7

Mason数 MN 磁気力に対する流体力の比

$$MN = 48\eta_0\dot{\gamma}/\mu_0|M|^2$$

$$\dot{\gamma} = u_{wall}/h$$

η_0 : 溶媒の粘度 [Pa·s]

μ_0 : 真空の透磁率 [H/m], M : 磁化率 [A/m]

h : 計算領域 y 方向長さ [m]

Mason数 MN の上昇



せん断率の上昇

見かけ粘度

$$\eta = \tau/\dot{\gamma}$$

$$\tau = (\tau_t + \tau_b)/2$$

η : 溶液の見かけ粘度 [Pa·s]

τ : 平均せん断応力 [Pa]

$\dot{\gamma}$: せん断率 [s^{-1}]

τ_t : 上壁面のせん断応力 [Pa]

τ_b : 下壁面のせん断応力 [Pa]

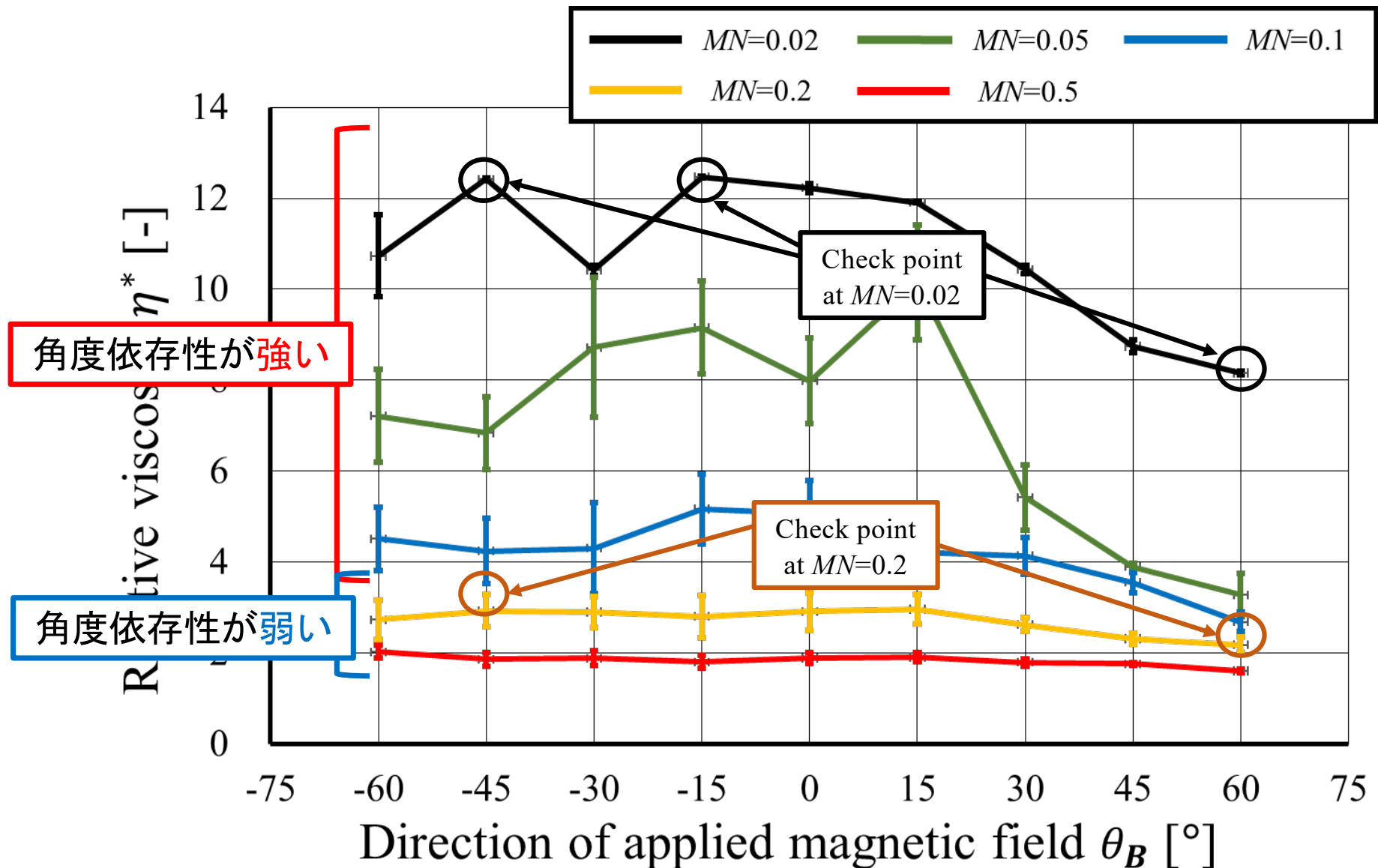
相対粘度

$$\eta^* = \eta/\eta_0$$

印加磁場角度と相対粘度

8

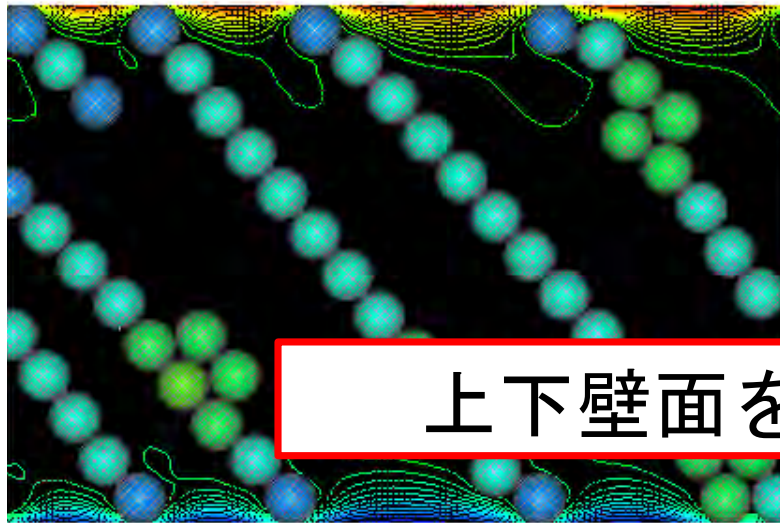
無次元時間 $\dot{\gamma}t = 4.0 - 6.0$ の平均値と標準偏差



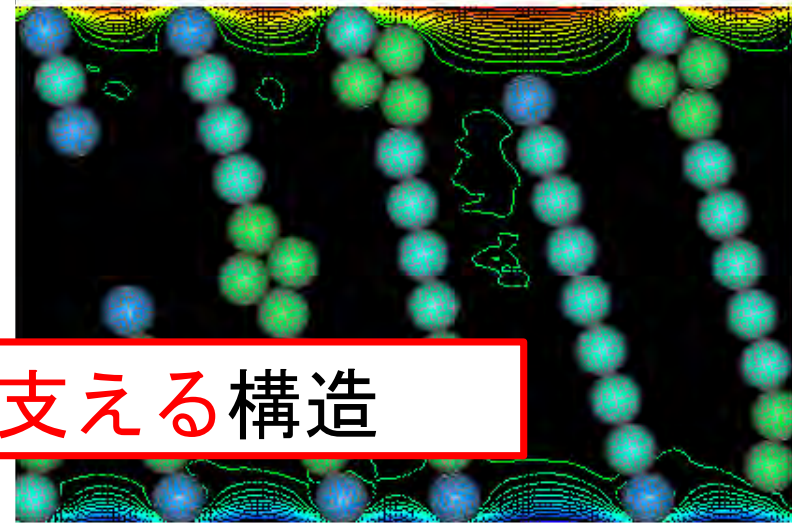
$MN=0.02$ における粒子系構造の比較

9

$$\theta_B = -45^\circ$$

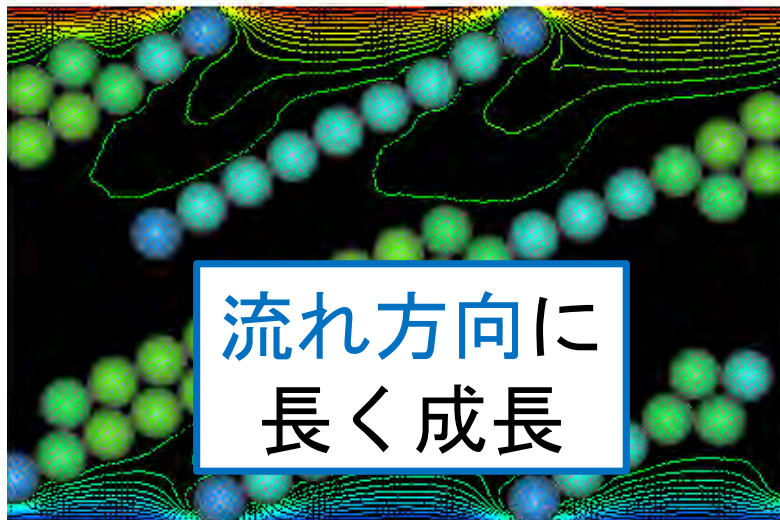


$$\theta_B = -15^\circ$$



上下壁面を繋ぎ支える構造

$$\theta_B = 60^\circ$$



流れ方向に
長く成長

η^* が高い

→ 構造が壁面移動の抵抗になる

η^* が低い

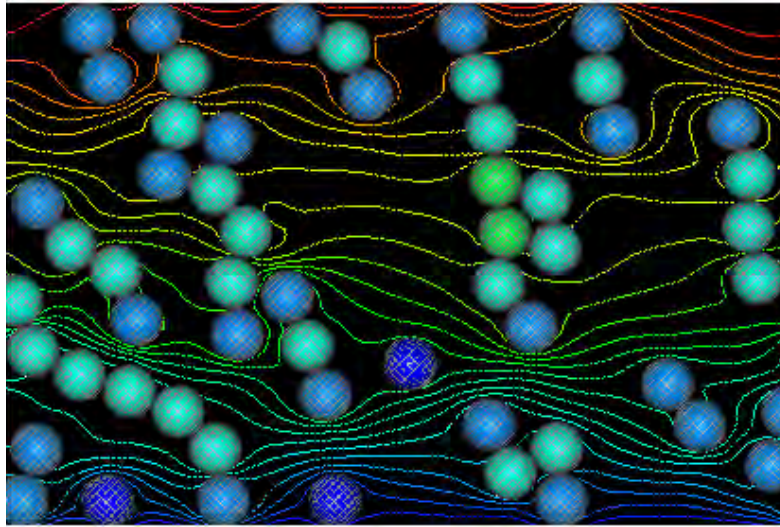
→ 構造が流され、比較的に
壁面移動の抵抗にならない

Contact number 0 6

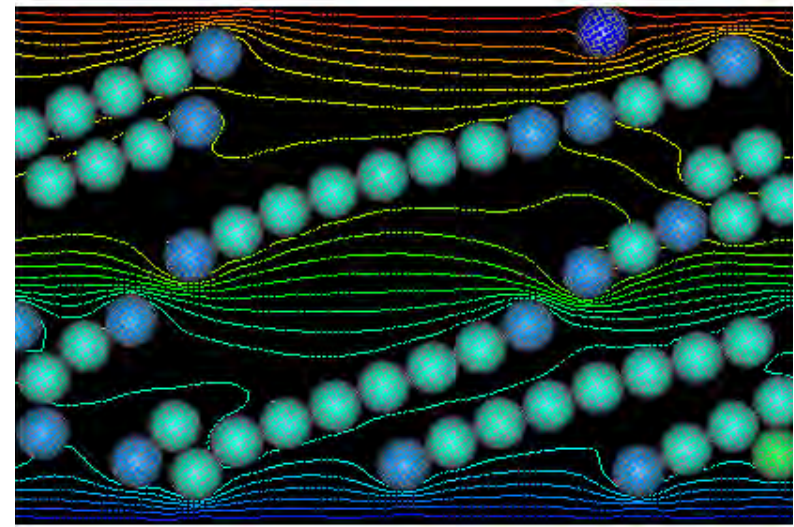
$MN=0.2$ における粒子系構造の比較

10

$$\theta_B = -45^\circ$$



$$\theta_B = 60^\circ$$



Contact number  0 6

構造が崩壊しやすく
流れる

構造は成長するが
流れる

角度依存性が弱くなる MN での構造は
せん断場に流されやすい

まとめ

低い MN での見かけ粘度：磁場印加角度の依存性が強い.

高い MN での見かけ粘度：磁場印加角度の依存性が弱い.

比較的高い見かけ粘度は、大きく成長し、且つ流れにくい構造に対応すると考えられる. 特に後者の因子は、磁場印加角度（負側）で制御されるだろう.