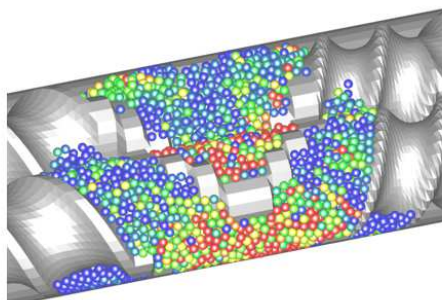


Tsubu² (粒々) Simulator (Ver.1.0.0)

開発成果資料



HASL/Tsubu² Simulator (Ver.1.0.0)

Copyright© 2020- Hyper Advanced Simulation
Laboratory Co., Ltd. All Rights Reserved

2019/11/14

株式会社HASL

りゅうりゅうしんく
『粒粒辛苦』 by 李伸
一つのことを成し遂げるため
にこつこつと小さな努力を積
み重ねること

りゅうりゅうかんらく
『粒粒甘楽』 by 
粒々のシミュレーションを
楽しむこと

技術開発の狙い

- ◆ 溶融樹脂内 Filler の配向、破砕解析（マクロな立場で）
- ◆ スクリュ内に投入されるペレットの固体輸送/溶融可塑化挙動の新たな定量化モデルの構築を目指して
- ◆ ポストプロセッサ（特にトレーサ粒子運動解析機能と流線表示機能）の性能向上：全ソフト共通

技術開発の背景

FEM 1956~ 起源: 航空工学

Clough, R. W., Martin, H. C., Topp, L. J., and Turner, M.J.
'Stiffness and deflection analysis of complex structures',
Journal of Aeronautical Sciences, 23(9), 1956.

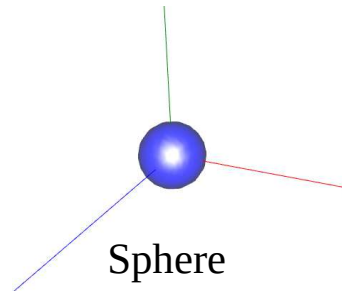
DEM 1971~ 起源: 岩盤工学

Peter A. Cundall ,
'The measurement and analysis of accelerations in rock slope',
PhD thesis, Imperial College London (1971).

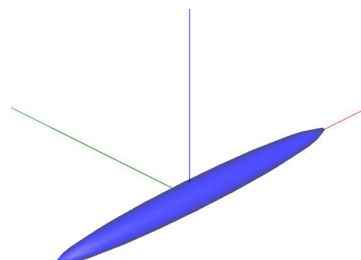
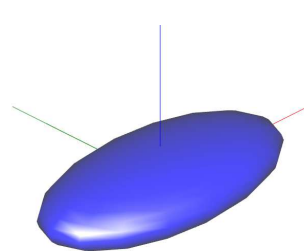
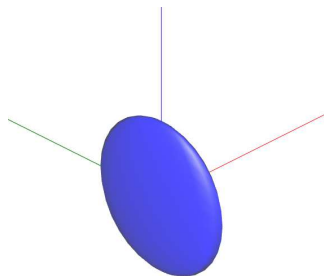
Computer Graphics, Games, Vessel Surgery,
Cloth, Hair, Multi body dynamics, etc.
最近では、様々な分野へ適用範囲拡大中

Tsubu² Simulator 離散要素モデル

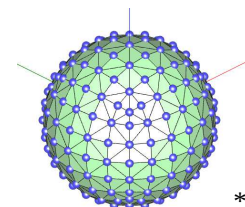
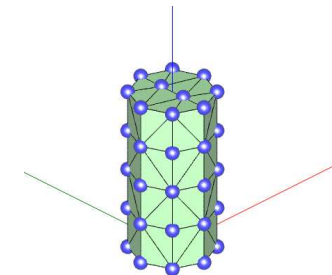
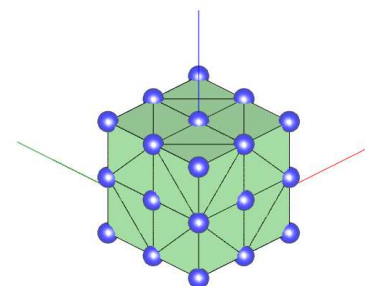
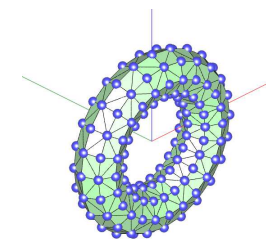
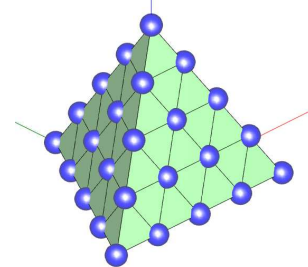
◆ Standard DEM model



◆ Jeffery's ellipsoidal model



◆ Tetrahedral mass spring model*)

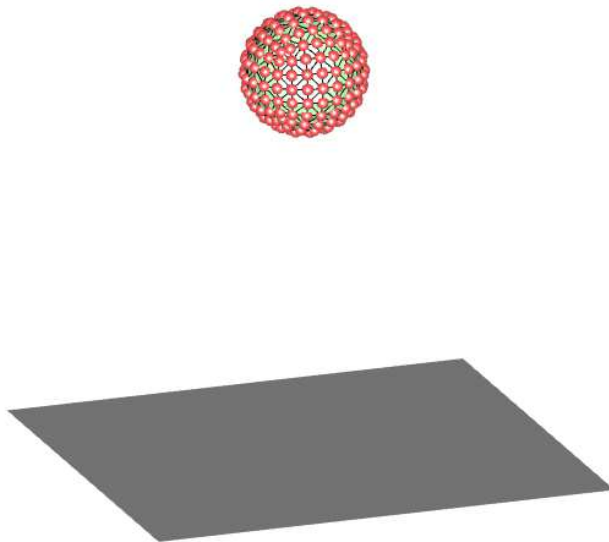


- Arbitrary shape
(defined by using 3D CAD)
- Deformable
(visco-elastic flexible body)

*) Mollemans, W. ,et al. ,'Tetrahedral mass spring model for fast soft tissue deformation', Surgery simulation and soft tissue modeling, proceedings,145(2003)

TMS model simulation samples

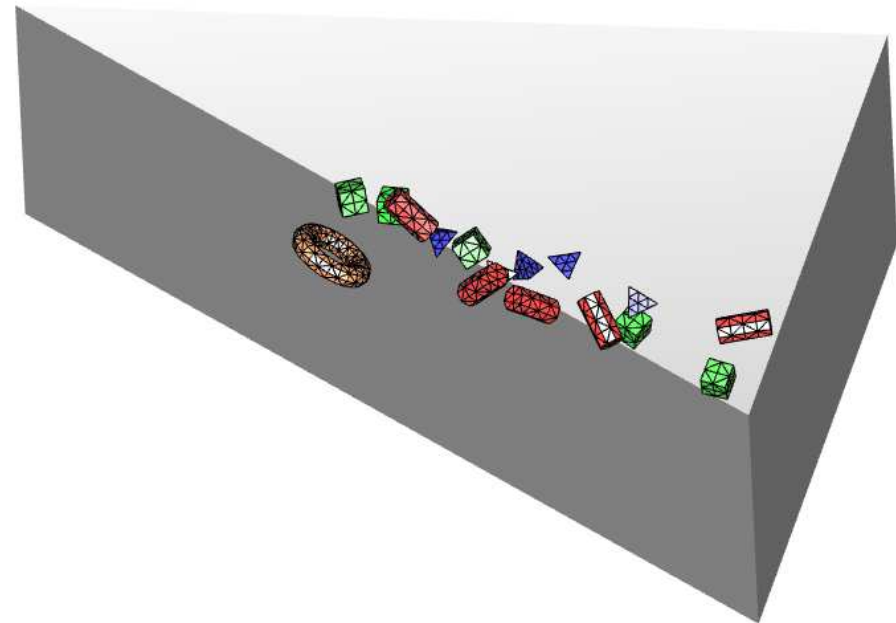
Time : 0.06512411 sec



Simulation of a flexible ball rebounding
on the floor

柔軟性(変形)の表現が可能。

Time : 0.2134624 sec



Dynamic simulation of multi-rigid
bodies falling on the slope floor

剛直性、モデル同士の接触の表現が可能。
剛柔併せ持つモデル。

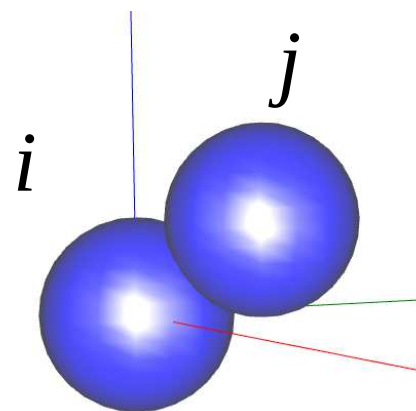
DEM理論背景

運動方程式:

Newton 運動方程式1665~

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \sum_{j(j \neq i)} (\mathbf{F}_{ij}^n + \mathbf{F}_{ij}^t + \mathbf{F}_{ij}^d) + m_i \mathbf{g}$$

$$\mathbf{I}_i \frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{dt} = \sum_{j(j \neq i)} \mathbf{r}_{ij} \times \mathbf{F}_{ij}^t$$



粒子間相互作用力

m_i : 質量

$\mathbf{v}_i$: 速度ベクトル

$\mathbf{g}$: 重力加速度

$\mathbf{I}_i$: 慣性モーメント

$\boldsymbol{\omega}_i$: 角速度ベクトル

下付き添え字は粒子番号

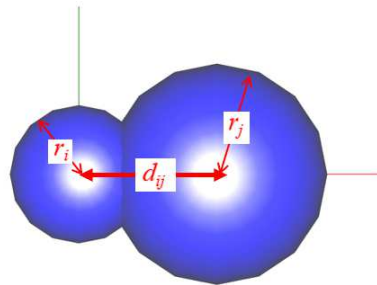
$\mathbf{F}_{ij}^n$: 法線方向力

$\mathbf{F}_{ij}^t$: 接線方向力

$\mathbf{F}_{ij}^d$: 減衰力

衝突判定アルゴリズム:

粒子 vs. 粒子



衝突条件:

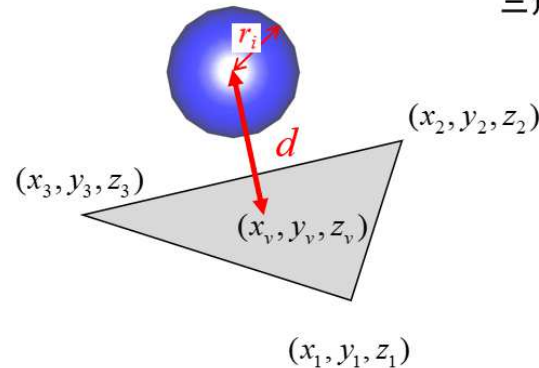
$$d_{ij} < r_i + r_j$$

r_i : i 番目粒子の半径

r_j : j 番目粒子の半径

d_{ij} : 粒子中心間距離

粒子 vs. 壁面



衝突条件:

粒子中心から壁面を表現する三角形に下した垂線の長さが粒子半径未満、且つ垂線の跡が三角形内部に含まれる。

$$d = \frac{|a(x_1 - x_v) + b(y_1 - y_v) + c(z_1 - z_v)|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} < r_i$$

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_3 - x_1 & x_3 - x_2 & a \\ y_3 - y_1 & y_3 - y_2 & b \\ z_3 - z_1 & z_3 - z_2 & c \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x_3 - x_v \\ y_3 - y_v \\ z_3 - z_v \end{pmatrix}$$

$$0 \leq \xi, \eta, 1 - \xi - \eta \leq 1$$

d : 垂線の長さ $(x_1, y_1, z_1) \sim (x_3, y_3, z_3)$: 三角形を構成する三点の座標
 (x_v, y_v, z_v) : 垂線の跡 (a, b, c) : 三角形の単位法線ベクトル

高分子材料の衝突運動をばねモデルで記述する場合の 代表的なタイムファクター

高密度ポリエチレンヤング率 E : 1.5 GPa

高密度ポリエチレン密度 ρ : 950 kg/m³

半径 r (1mm)の等価ばね定数^{*)}: $k = \frac{\pi r}{2} E \longrightarrow k = 2.4 \times 10^6 \text{ N / m}$

半径 r (1mm)の球の質量: $m = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 \longrightarrow m = 4.0 \times 10^{-6} \text{ kg}$

ばね振動周期: $T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{k}} \propto r \longrightarrow T = 2.0 \times 10^{-7} \text{ sec}$

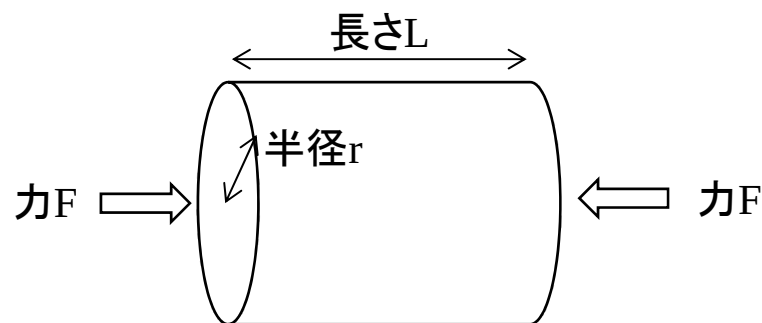
数値シミュレーションで衝突運動状態を評価する場合、計算時間刻みは振動
周期未満に設定する必要がある。100万回の計算ステップで0.2sec 未満!!!
(k を4桁下げれば、あるいは m を4桁上げれば20sec未満)

*)Yamamoto, S.; Matsuoka, T. 'A method for dynamic
simulation of rigid and flexible fibers in a flow field.' J.
Chem. Phys, **98**, 644-650(1993).

ばね定数とヤング率の関係

$$F = kx \quad \text{力} = \text{ばね定数} \times \text{変位}$$

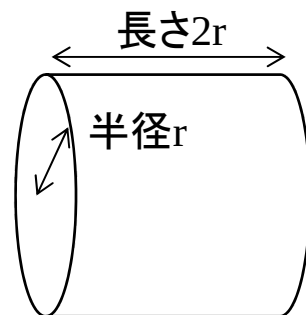
$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{応力} = \text{ヤング率} \times \text{ひずみ} \quad \longrightarrow \quad \frac{F}{S} = E \frac{x}{L}$$



$$\therefore F = \left(\frac{S}{L} E \right) x = \left(\frac{\pi r^2}{L} E \right) x$$

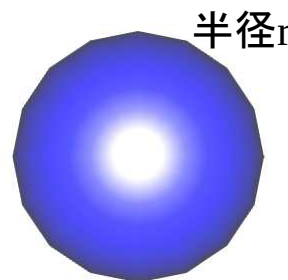
$\downarrow$

k



???

=



$$\longrightarrow F = \left(\frac{\pi r}{2} E \right) x$$

円柱

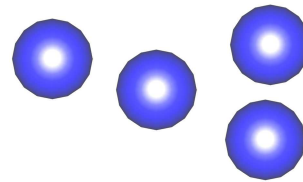
球

力の作用面積を πr^2 とするのは???

計算高速化対策

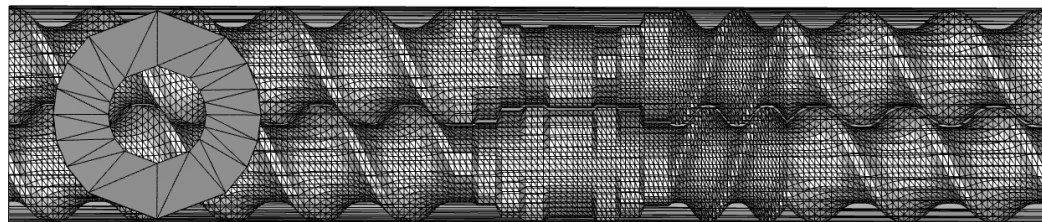
1) 壁面情報のブロック化(ソフト的対策)

非定常計算サイクル数: Ncycle (例えば $100000:10^5$)



粒子数: Npart(例えば $5000:5 \times 10^3$)

壁面要素数: Nwall(例えば $20000:2 \times 10^4$)



粒子 vs. 壁面接触判定の概算演算回数:

$$N_{\text{cycle}}(10^5) \times N_{\text{part}}(5 \times 10^3) \times N_{\text{wall}}(2 \times 10^4) = 10^{13} \text{回!!!}$$

スーパーコンピュータ京(ケイ): 10ペタフロップス = 10^{16} フロップスなら0.001秒

→1エクサフロップス = 10^{18} 富岳(ふがく) 100倍高速化2021年稼働予定(理化学研究所)

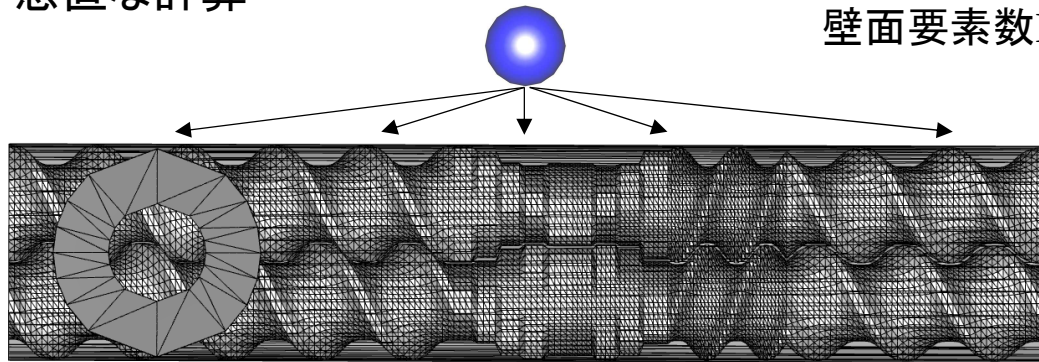
スーパーコンピュータSummit(米国): 150ペタフロップス = 1.5×10^{17} フロップスなら0.000067秒

Core i7(4コア) = 50Gフロップス = 5×10^{10} フロップスで200秒

Wikipedia 情報

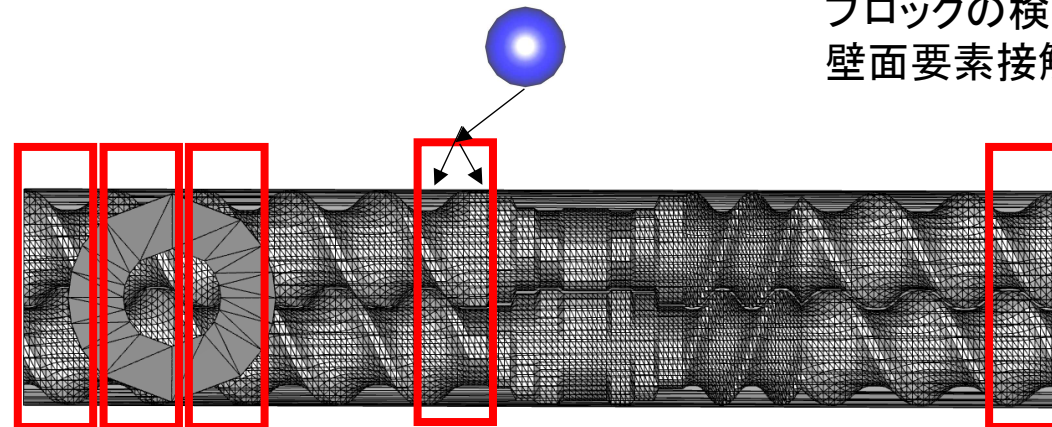
1ギガ = 10^9 , 1テラ = 10^{12} , 1ペタ = 10^{15} , 1億 = 10^8 , 1兆 = 10^{12} , 1京 = 10^{16}

愚直な計算



壁面との接触計算回数: 1粒子当たり
壁面要素数 N_{wall} (20000)回

壁面情報をブロック化した計算



壁面との接触演算回数: 1粒子当たり
ブロックの検出計算回数100回+ブロック内
壁面要素接触判定計算回数(200)回=300回

ブロック 1 2 3 100
各ブロック毎に壁面要素情報(200要素分)を格納

演算回数を

$300/20000=3/200=0.015$ 倍に低減

Z軸周りに回転するスクリュモデルをZ方向に対してブロック化するのは特に有効(非定常サイクル毎にブロック情報を更新する必要が無い)

2) GPU利用(ハードウェア的対策)

NVIDIA® GeForce GTX® 1660Ti

2019/2/22販売開始 価格4万円前後のミドルクラス

5.437 TFLOPS(単精度演算理論性能)

Core i7(4コア)

53.28 GFLOPS(理論性能) : Wikipedia 情報

GPU 対応Fortranコンパイラ導入検討中

理論性能上は約100倍速い(人気ゲームの
スパーチャージャー)

対応 GPU PGIコンパイラ (CPU + GPU) 製品は、GPU 対応のコンパイル機能を有します。現在の PGI の最新バージョンがサポートしている GPU は、以下の通りです。なお、GPUを搭載する(ホスト)プラットフォームの x64 プロセッサは、上記の「対応CPU」で示したものと同じです。

【購入時における注意】

NVIDIA GeForce 系列の GPU 製品に Maxwell/Pascal コアを搭載した compute capability 5.x 以上のもの (NVIDIA TITAN X, GeForce GTX 1080(Ti), GeForce GTX 1000番台) は、「単精度専用GPU」としての位置付けです。ただし、倍精度演算コアが少ない(大体、単精度演算器の 1/32 の物量)ものの、倍精度計算が出来ないわけではありません。倍精度プログラムの開発・トライアル的な使用においては十分使用できます。なお、「単精度」浮動小数点の演算を行う場合は問題なく全ての演算コアを使用できます。

● PGI「アクセラレータ」機能が有効となる「GPU」

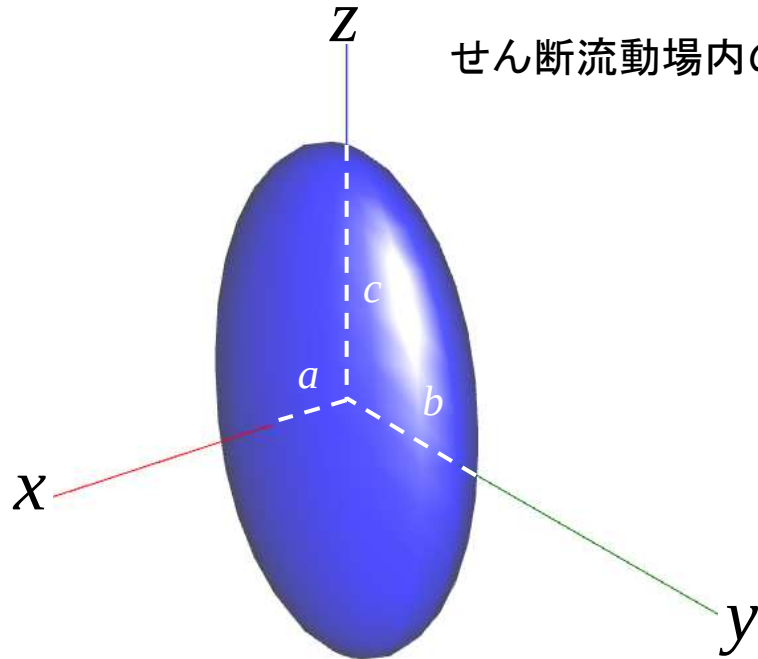
OSプラットフォーム	対応するグラフィックス・プロセッサ (GPU)
Linux Windows	NVIDIA 社製の GPU プロセッサを搭載したグラフィックス・ボード (Compute Capability が 2.x、3.x (Fermi or Kepler)、5.x ((Maxwell))、6.x(Pascal)、7.x(Volta)、7.5 以降、CUDA™ ソフトウェアが動作するもの。NVIDIA社の以下のリンクをご参照下さい。 ・CUDA-Enabled 製品へのリンク
	==== NVIDIA GPU 詳細仕様 by Wikipedia ====
	Nvidia Tesla
	Nvidia Quadro
	Volta (Titan V)
	GeForce 20 series
	GeForce 16 series
	GeForce 10 series
	GeForce 900 series
	GeForce 700 series

▶ Apple macOS 版 PGI Community Edition には、GPU 用アクセラレータコンパイル機能が含まれておりません。PGI 16.10 リリースにて、アクセラレータ機能の提供を終了しました。

株式会社ソフテック様資料
より引用

<https://www.softek.co.jp/SPG/Pgi/product.html>

Jefferyモデル*)理論背景



せん断流動場内の楕円体の回転運動を記述する方程式:

$$(b^2 + c^2)\omega_1 = b^2 \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) - c^2 \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right),$$

$$(c^2 + a^2)\omega_2 = c^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) - a^2 \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right),$$

$$(a^2 + b^2)\omega_3 = a^2 \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) - b^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

(x, y, z) :粒子座標系

(u, v, w) :粒子座標系流速ベクトル

$(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$:粒子座標系角速度ベクトル

(a, b, c) :楕円体の三軸半径

*)G.B.Jeffery, 'The motion of ellipsoidal particles immersed in a viscous fluid', Proc. Royal Soc. London. Ser. A 102,161(1922)

<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rspa.1922.0078>にて閲覧可能

Time derivative formula for quaternion :

Quaternion(四元数) 1843年アイルランドの数学/物理学者 ウィリアム・ローワン・ハミルトンが偶然発見

$$\dot{\vec{q}} = \begin{pmatrix} \dot{q}_0 \\ \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \vec{\omega} \circ \vec{q} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} -q_1\omega_1 - q_2\omega_2 - q_3\omega_3 \\ q_0\omega_1 - q_3\omega_2 + q_2\omega_3 \\ q_0\omega_2 - q_1\omega_3 + q_3\omega_1 \\ q_0\omega_3 - q_2\omega_1 + q_1\omega_2 \end{pmatrix} \Rightarrow \text{Leap-frog time integration}$$

Jeffery model

Particle (material) coordinate $\Leftrightarrow$ Physical (Cartesian) coordinate transform formula :

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix} = \mathbf{R} \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial X} & \frac{\partial U}{\partial Y} & \frac{\partial U}{\partial Z} \\ \frac{\partial V}{\partial X} & \frac{\partial V}{\partial Y} & \frac{\partial V}{\partial Z} \\ \frac{\partial W}{\partial X} & \frac{\partial W}{\partial Y} & \frac{\partial W}{\partial Z} \end{pmatrix} \mathbf{R}^T, \mathbf{R} = \begin{pmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_1q_3 + q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 + q_0q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2q_3 - q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 - q_0q_2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{pmatrix}$$

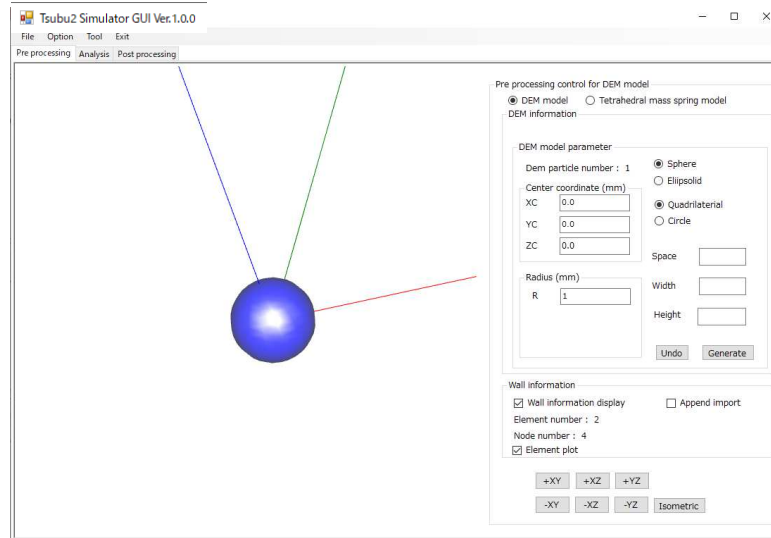
(X, Y, Z) : 物理座標系
(U, V, W) : 物理座標系流速ベクトル

Tsubu² Simulator 運用方法

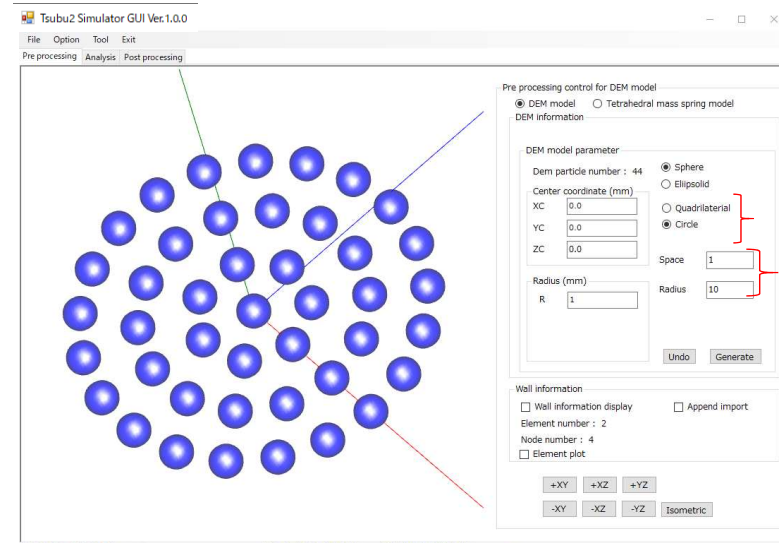
プリプロセッシング

1) 離散要素生成機能

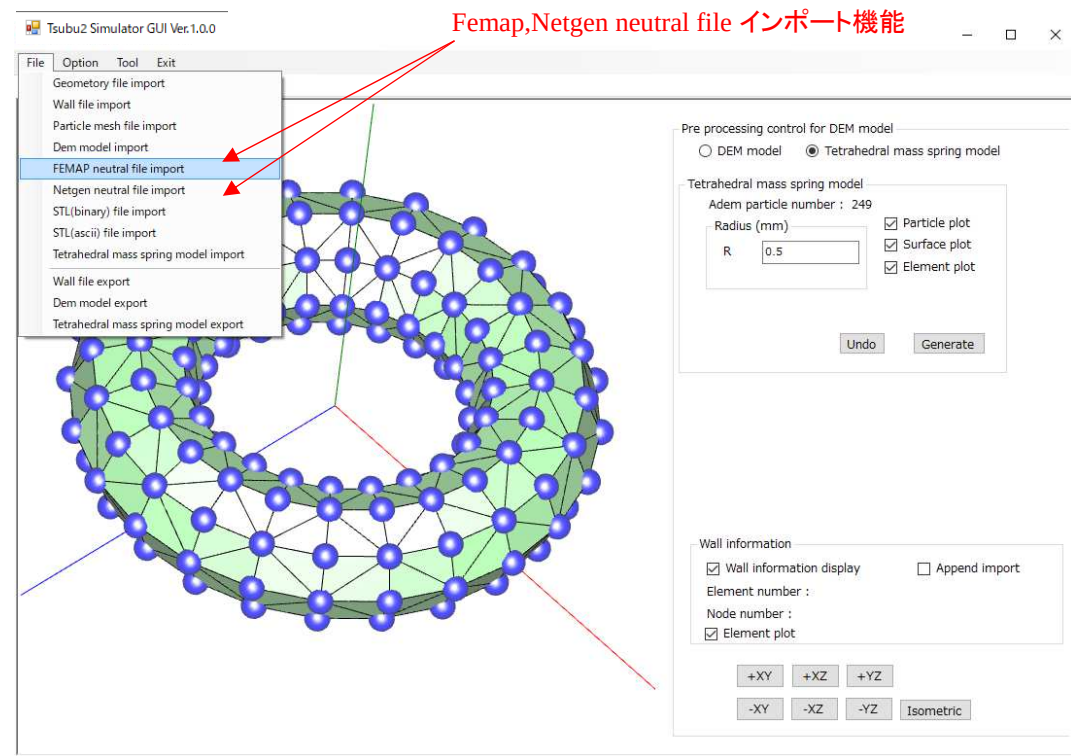
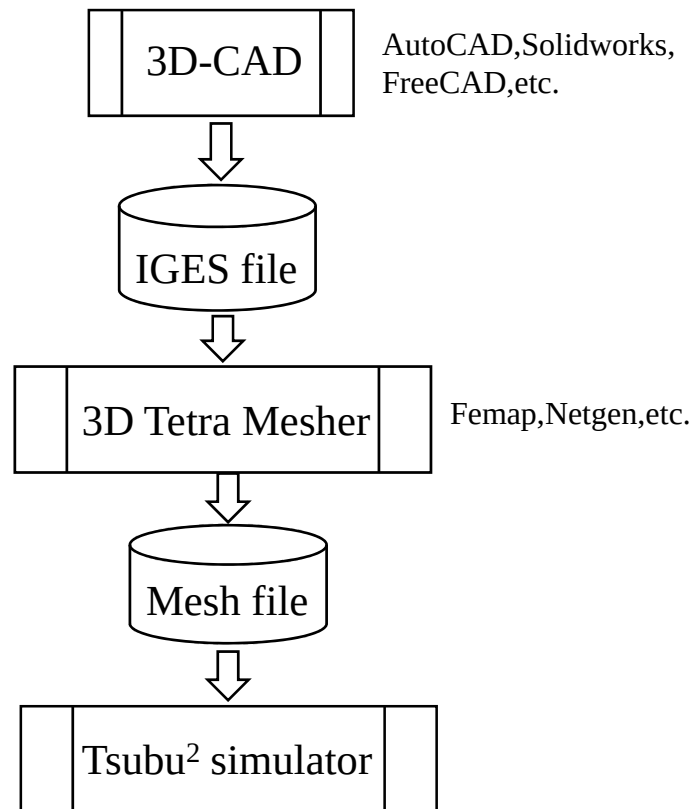
1-1) 中心座標、半径(楕円球の場合は、3軸半径)指定による生成



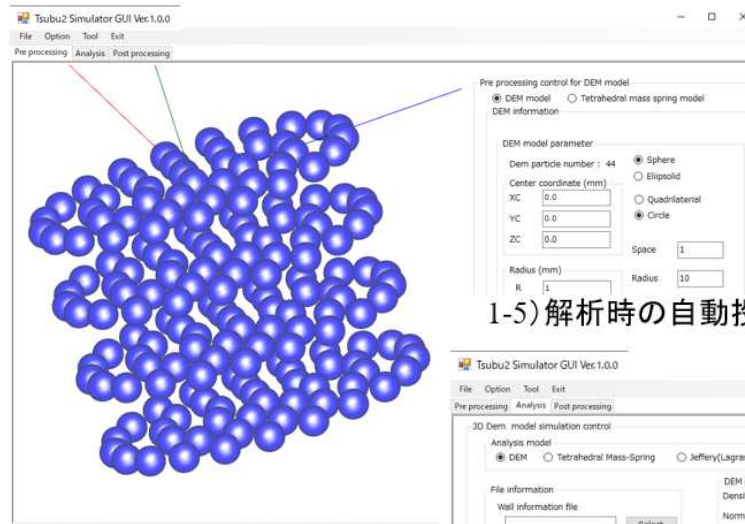
1-2) 矩形領域内、円形領域内生成



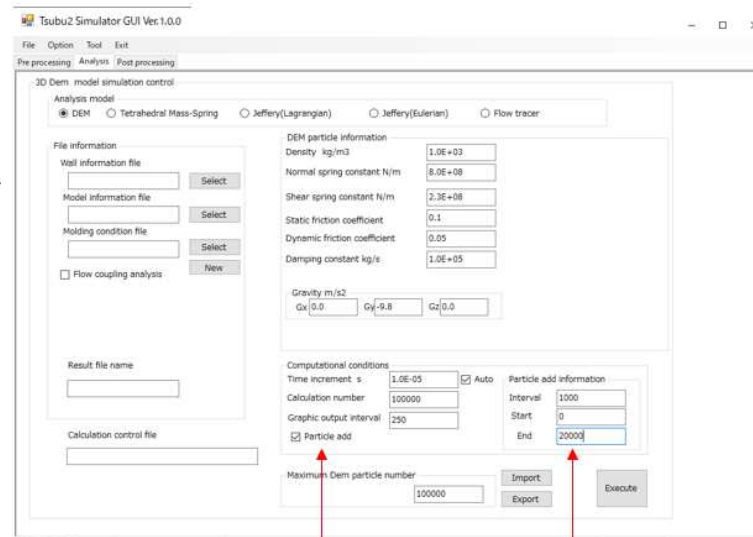
1-3) テトラソリッド要素(3D FEM解析モデル)の節点を離散要素粒子に変換(TMSモデル)



1-4) 既生成要素の並進、回転コピー

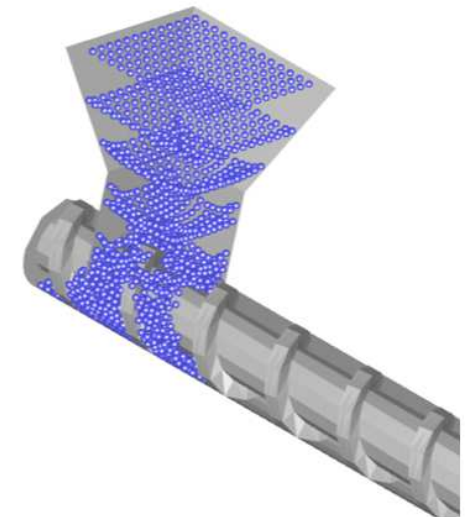


1-5) 解析時の自動投入



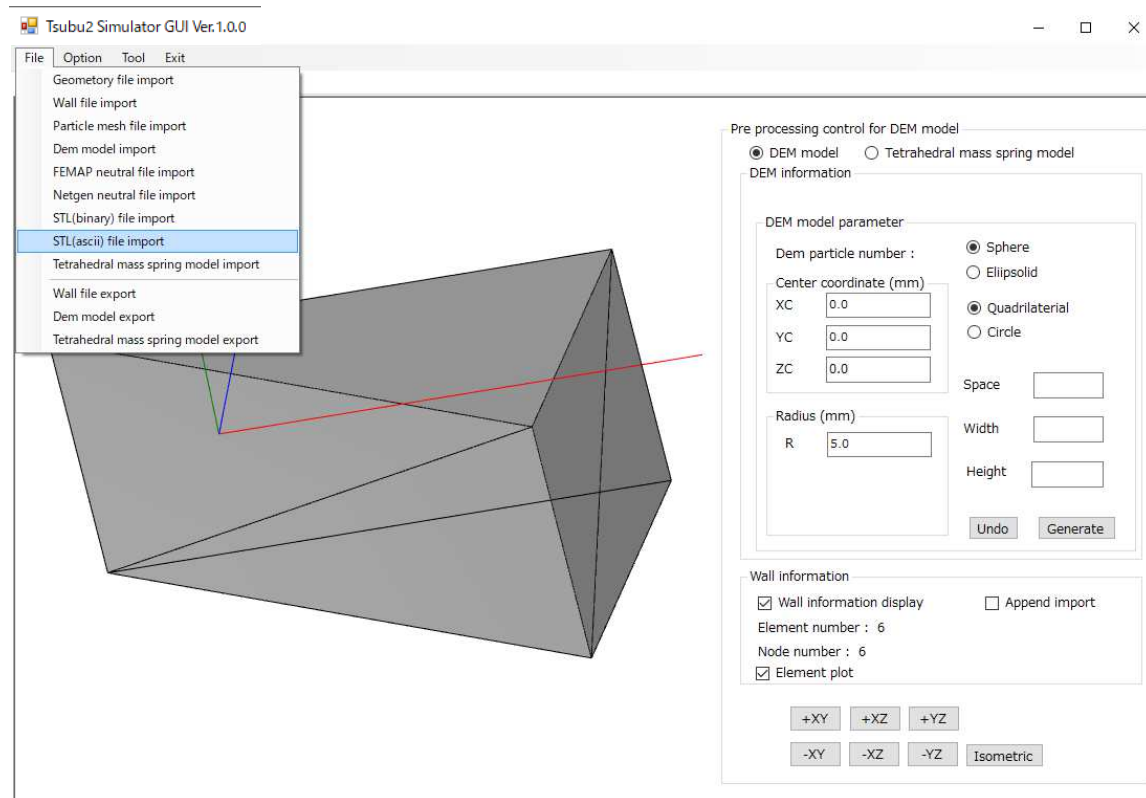
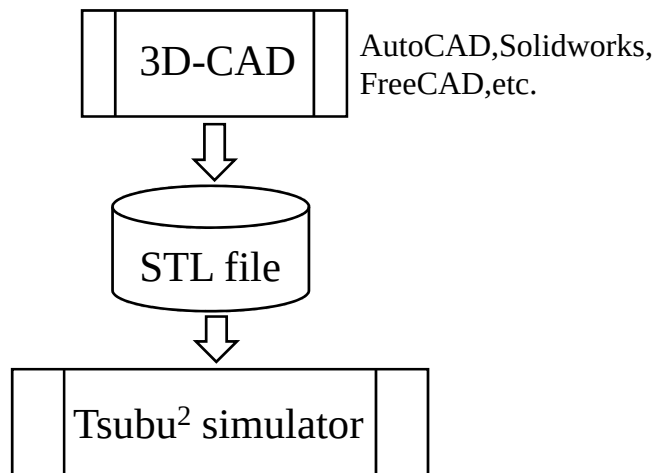
Particle add チェックボックスを
チャックすると自動追加

自動投入の開始終了及び投入
間隔を指定



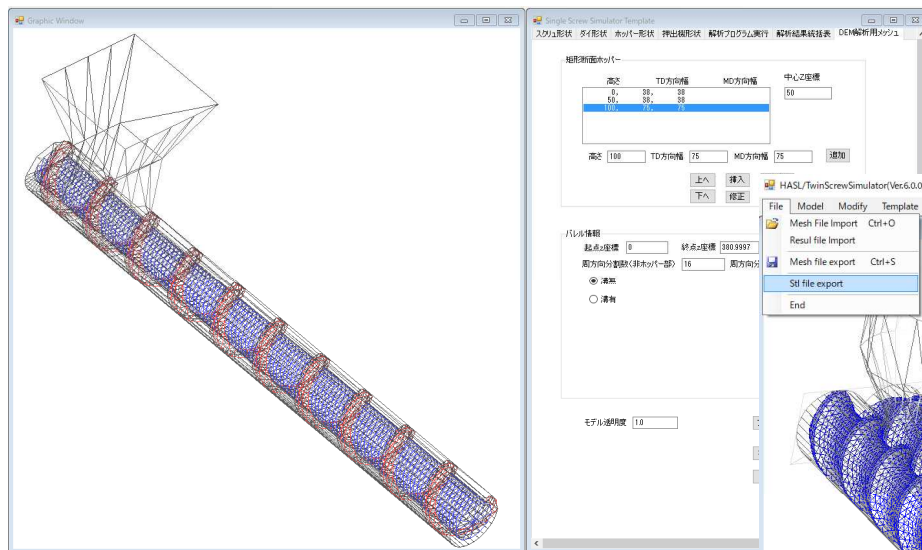
2) 壁面情報生成/インポート機能

2-1) CAD 作成STLファイル インポート機能

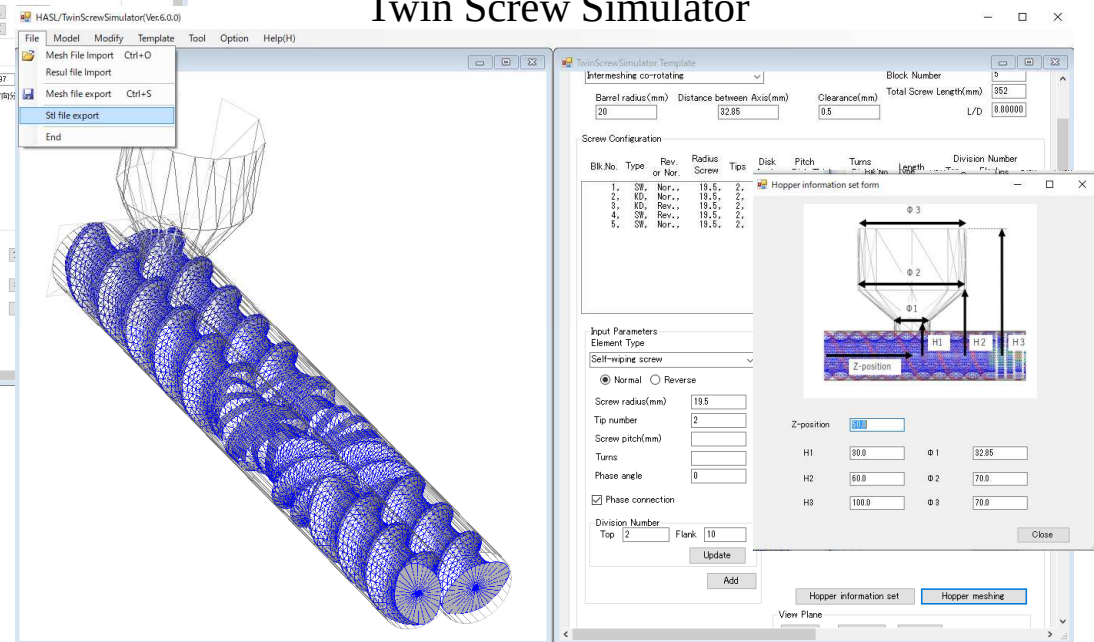


2-2) Single Screw Simulator, Twin Screw Simulator テンプレートで 作成した2.5D FEM解析用モデルの転用

Single Screw Simulator



Twin Screw Simulator



アナリシス



5種の解析種別をラジオ
ボタン選択

解析種別	解析内容	関連ソフトウェア
DEM	標準の球形離散要素解析	SSS,TSS,FS3D, Multi purpose
Tetrahedral mass spring	非球形離散要素解析 Filler の配向/破砕解析	SSS,TSS,FS3D, Multi purpose
Jeffery(Lagrangian)	Jeffery回転楕円体の配向解析 (Lagrangian 描像)	SSS,TSS,FS3D, Flat simulator, Spiral simulator
Jeffery(Eulerian)	Jeffery回転楕円体の配向解析 (Eulerian 描像)	
Flow tracer	従来の粒子運動解析 (流線描画)	

SSS : Single Screw Simulator
TSS : Twin Screw Simulator
FS3D : Flow Simulator 3D

計算制御パラメータ

File information

Wall information file ← 壁面情報ファイル (STLファイル)

Model information file ← 離散要素モデルファイル

Molding condition file ← 壁面移動制御条件

☒ Flow coupling analysis

← 流動解析結果を利用した連成解析 (Stokes' lawを利用した弱連成)

FS3Dの場合、

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{x}_i}{dt^2} = -k \mathbf{x}_i - 6\eta \pi r_i \left(\frac{d\mathbf{x}_i}{dt} - \mathbf{v}_f \right) + m \mathbf{g}$$

SSS, TSSの場合、粘度、ひずみ速度履歴情報を利用した
 TMSモデルの配向/破砕解析

弱連成解析時の流動解析結果ファイルの選択

密度
 ばね定数 (法線方向)
 ばね定数 (接線方向)
 静止摩擦係数
 動摩擦係数
 減衰係数
 重力加速度

DEM particle information

Density kg/m3

Normal spring constant N/m

Shear spring constant N/m

Static friction coefficient

Dynamic friction coefficient

Damping constant kg/s

Gravity m/s2
 Gx Gy Gz

Mass spring constant N/m ← TMSモデル連結のばね定数

☒ Spring breakage calculation ← Spring breakage calculation チェックボックスをチェック状態とすると破砕解析

Breakage criteria ← 連結ばねの破断閾値 (ばね長さが1.5倍以上で破断する場合)

☒ Constant viscosity
☐ SS Result information

Viscosity Pa · s ← TMSモデル周りの粘度とひずみ速度 (Constant viscosityの場合)

Shear rate 1/s

Time acceleration ← 疑似時間力の逆ノパラメータ

Constant viscosity : 一定粘度とひずみ速度を利用したTSMモデルの配向/破砕解析
 SS Result information : SSS, TSSの粘度、ひずみ履歴情報を利用したTSMモデルの配向/破砕解析

計算時間刻み
 計算時間
 解析結果出力間隔

Computational conditions

Time increment s ☒ Auto

Calculation number

Graphic output interval

☒ Particle add

Particle add information

Interval

Start

End

Auto チェックボックスをチェックとすると計算時間刻みを自動計算

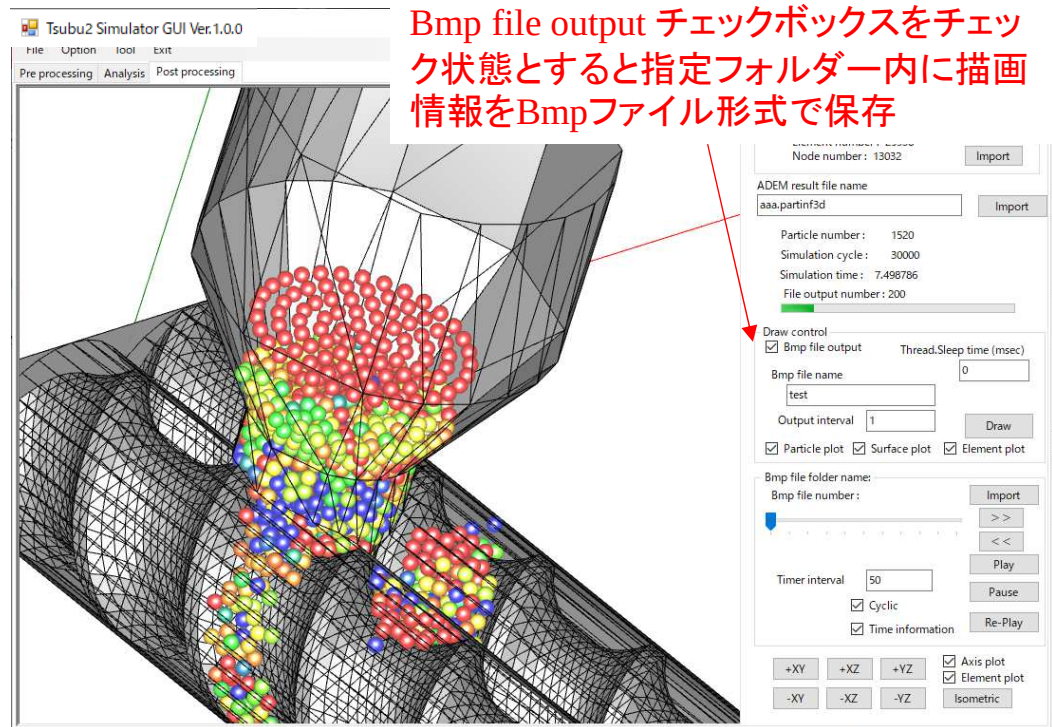
$$\Delta t = 0.03 \sqrt{\frac{k}{m}}$$

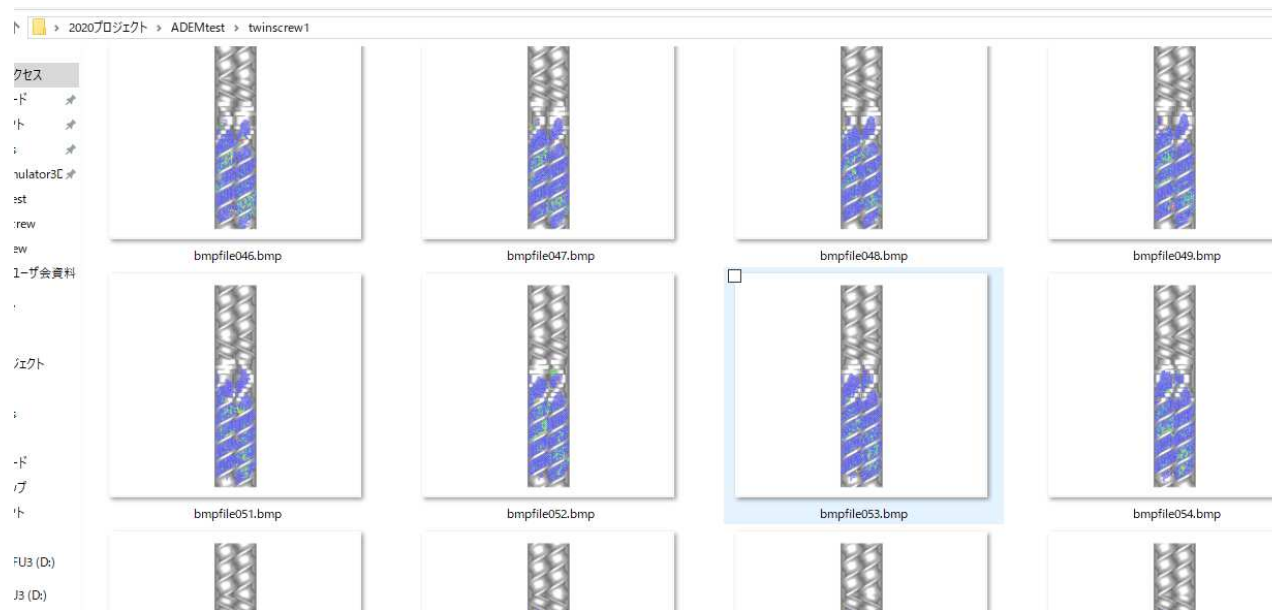
粒子投入間隔、開始/終了サイクル

Particle add チェックボックスをチェックとすると離散要素を追加投入

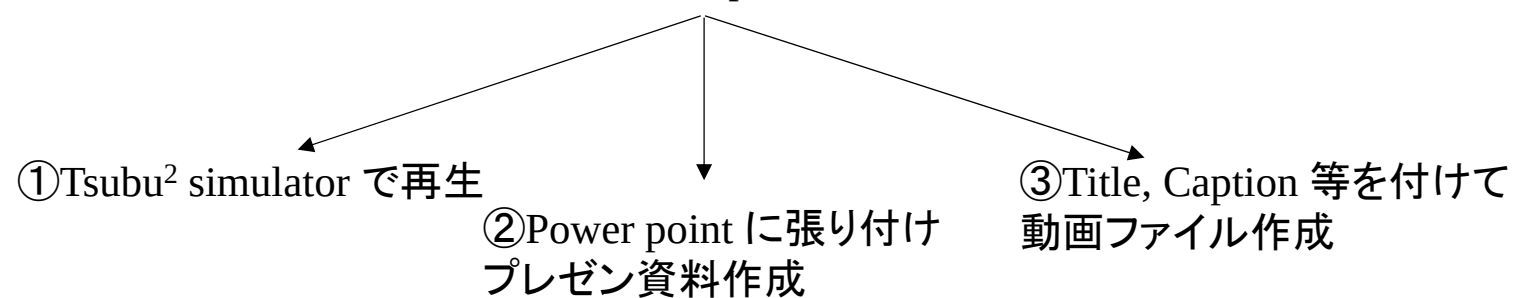
ポストプロセッシング

- ・壁面(移動境界)アニメーション表示
- ・離散要素(色付き)アニメーション表示
- ・各種履歴情報グラフ図表示
- ・表示結果Bmpファイル出力
- ・表示結果Bmpファイル再生表示





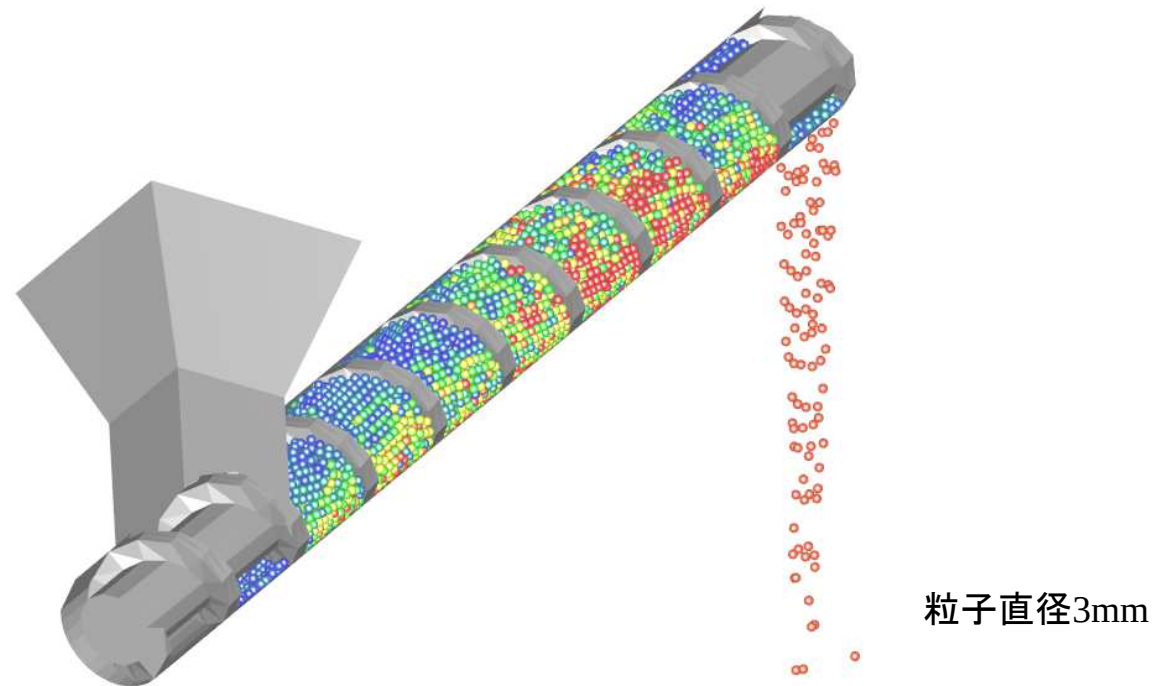
フォルダー内に複数のBmpファイルが自動生成



Test samples

Feed simulation for a single screw extruder

Time : 68 sec

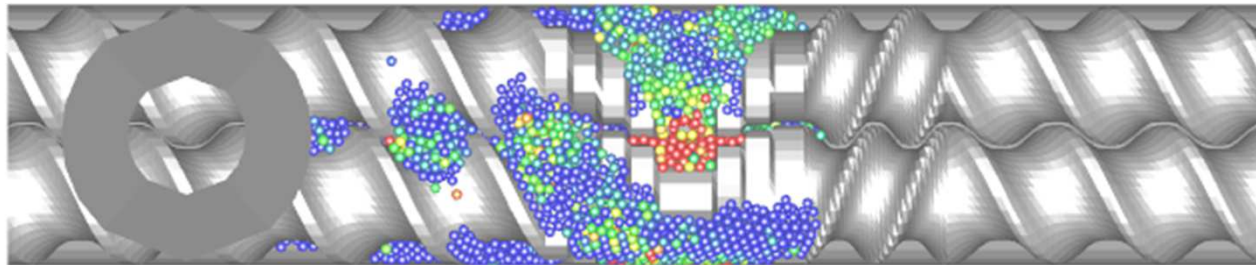


- ・単軸スクリュ形状は充満搬送され易い薄肉流路形状。
- ・Darnell & Mol固体輸送モデルでは、固体の挙動を一定速の栓流扱いするが、実際は離散要素の移動速度に分布が生じる。
- ・ひずみ速度(肉厚方向の速度勾配)を正確に表現するのは至難の業。

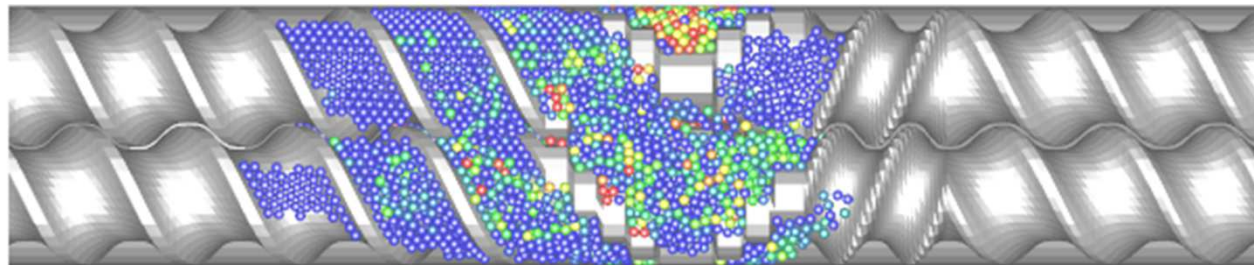
Feed simulation for a corotating self wipe twin screw extruder

Time : 22.25 sec

→ Transport direction



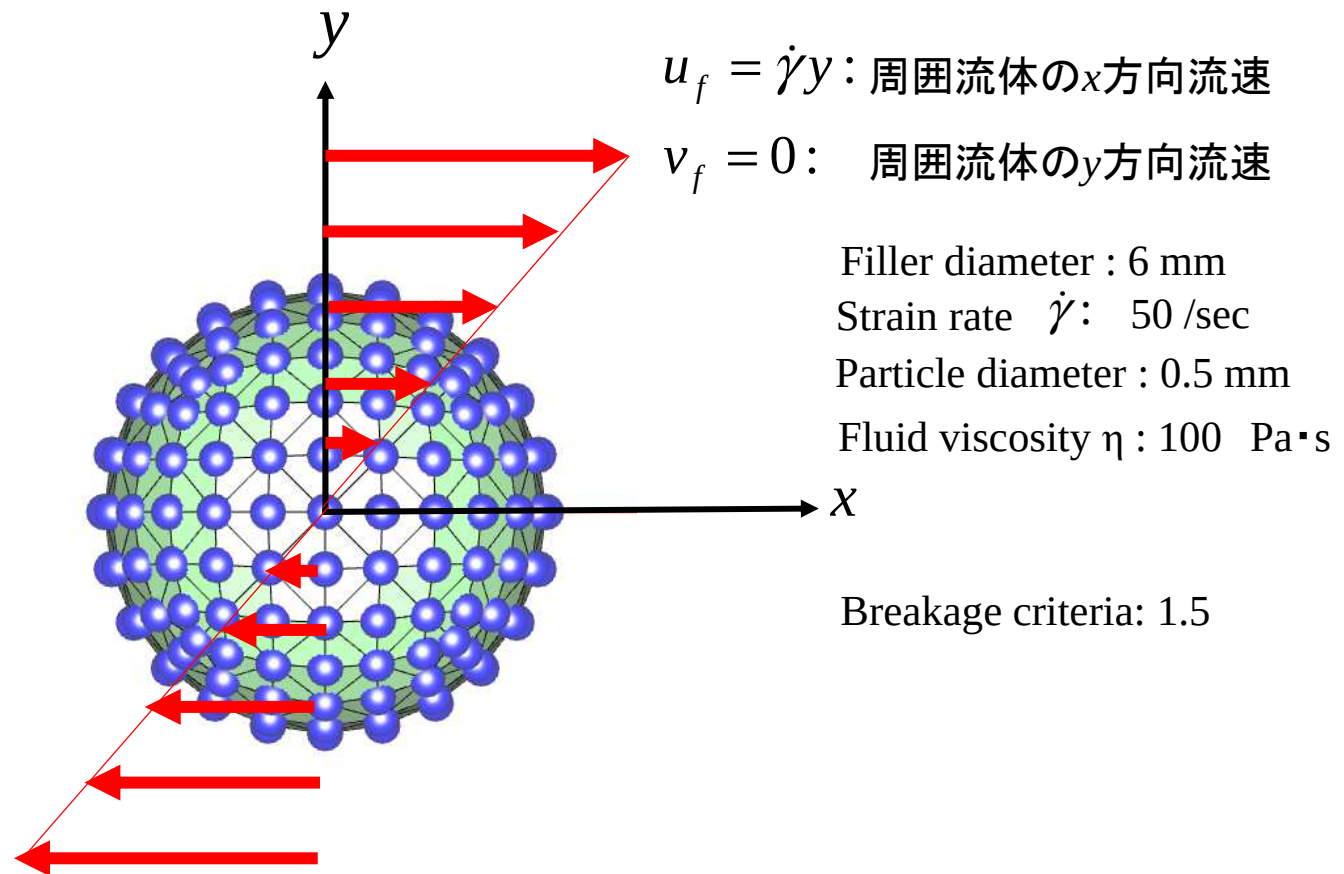
Upperside view



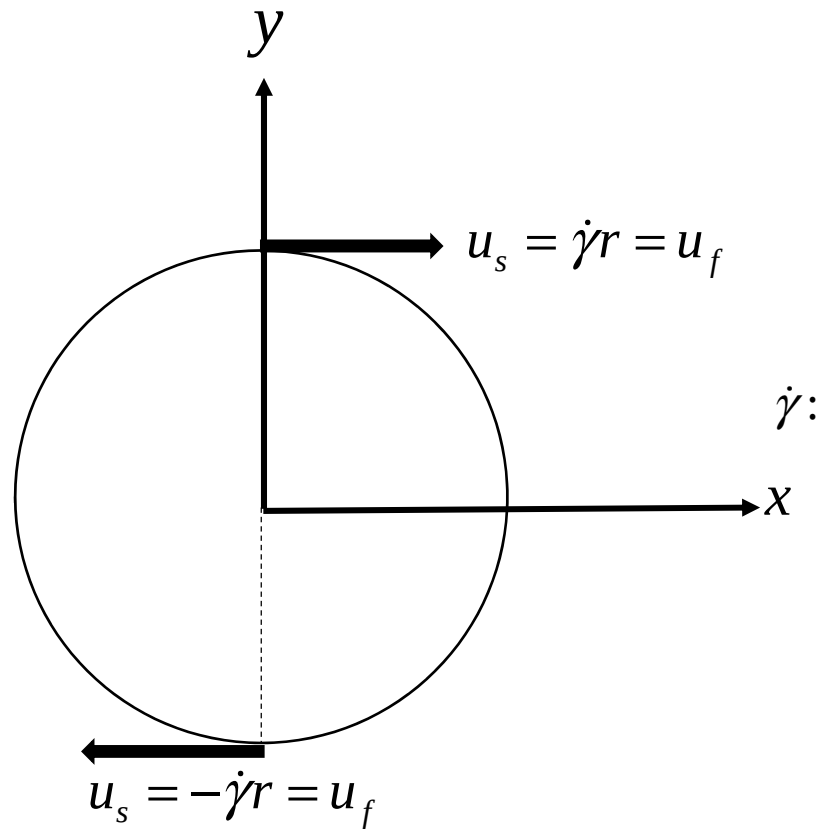
Lowerside view

- ・2軸スクリュは未充填搬送され易い厚肉流路形状。
- ・未充填状態では、重力の影響を受け易く、底面側の充填状態が高い。
- ・天面側では、噛合領域にペレットの溜が発生。
- ・予想通り、ニーディングや逆ねじ領域は、充填率が高く、滞留時間も長くなり、混練が促進される様子が視覚化されている。

Breakage simulation for a spherical shape filler in viscous simple shear flow



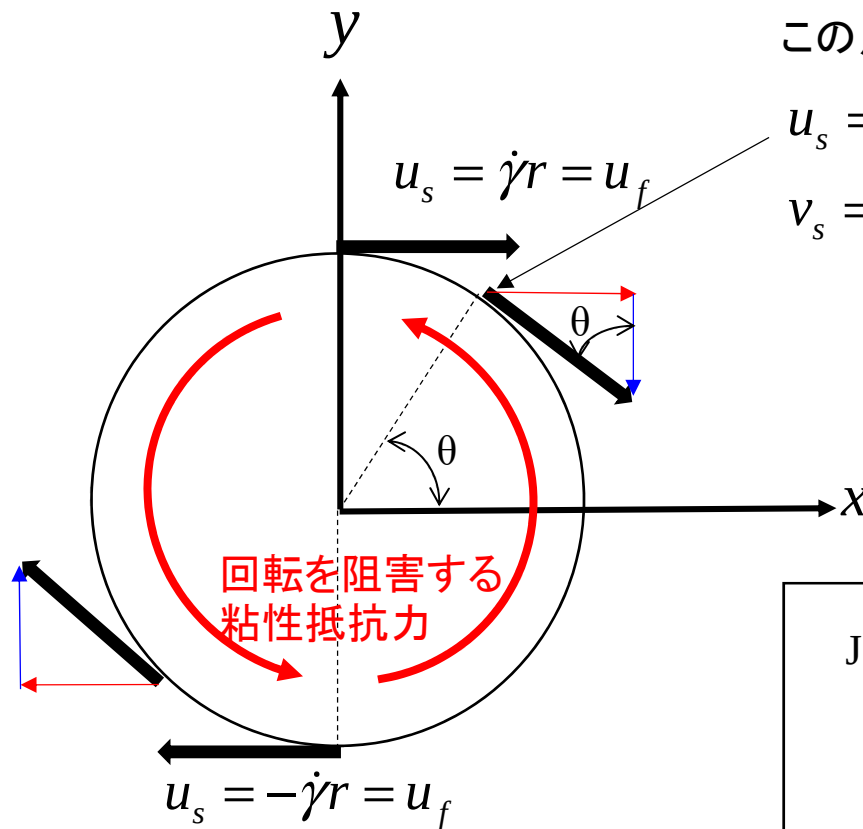
単純せん断流動内の半径 r の剛体球の回転速度、回転数は？



球の両極で回転速度が流体速度と一致していたとすると球の1秒当たりの回転数 N は、剛体球の半径に依存せず、

$$N = \frac{\dot{\gamma}r}{2\pi r} = \frac{\dot{\gamma}}{2\pi}$$

50 /sec の場合、約8回転



この点の球表面上の速度:

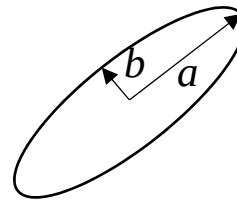
$$u_s = \dot{\gamma} r \sin \theta = u_f, \text{ 不思議なことに} x \text{ 方向の分速度は流体速と一致。}$$

$$v_s = -\dot{\gamma} r \cos \theta \neq v_f = 0$$

剛体球表面では下向きの分速度成分が生じるが、周囲流体の v_f は0. この速度差は、粘性抵抗力となり剛体球の回転運動を阻害する。

$$\therefore N < \frac{\dot{\gamma}}{2\pi}$$

Jeffery model



$$N = \frac{\dot{\gamma}}{2\pi \left(AR + \frac{1}{AR} \right)} \leq \frac{\dot{\gamma}}{4\pi},$$

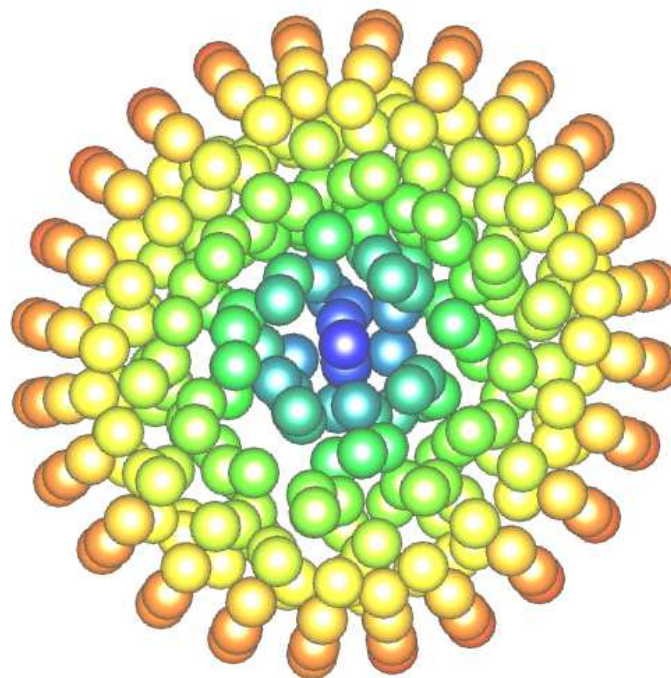
$$AR = \frac{b}{a}: \text{ Aspect ratio}$$

$$AR \nearrow \implies N \searrow$$

アスペクト比を増加させると回転数は減少する(配向し易くなる)。

Mass Spring Constant : 100 N/m

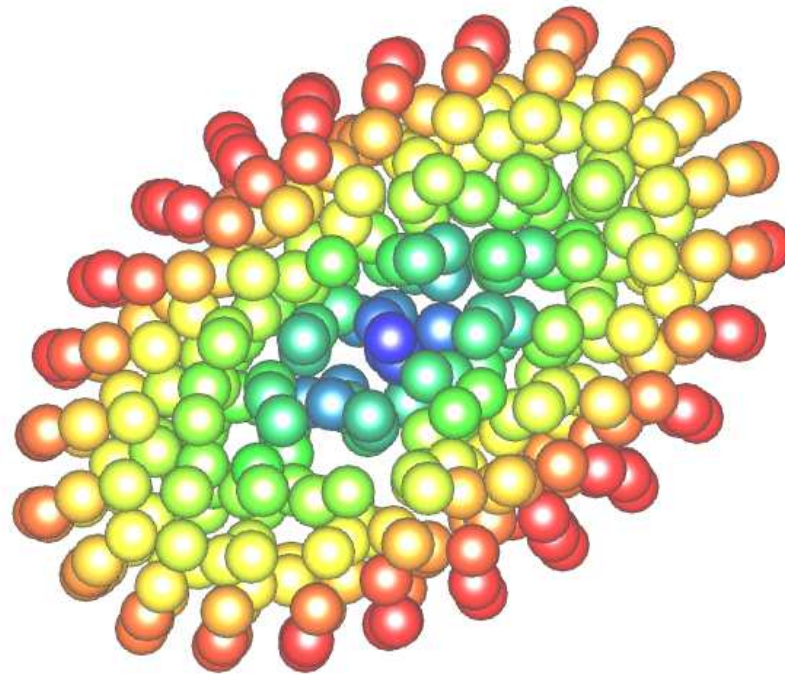
Time : 0.2816508 sec



- ・TMSモデルで剛体球の回転運動を表現可能。
- ・0.28秒で約1回転強、1秒で約4回転：試算値（約8回転以内）。
Jeffery model から評価される回転数（約4回）と一致。

Mass Spring Constant : 10 N/m

Time : 0.2816508 sec



- ・TMSモデルで柔軟体の変形表現可能。
- ・斜めに配向した変形回転運動。

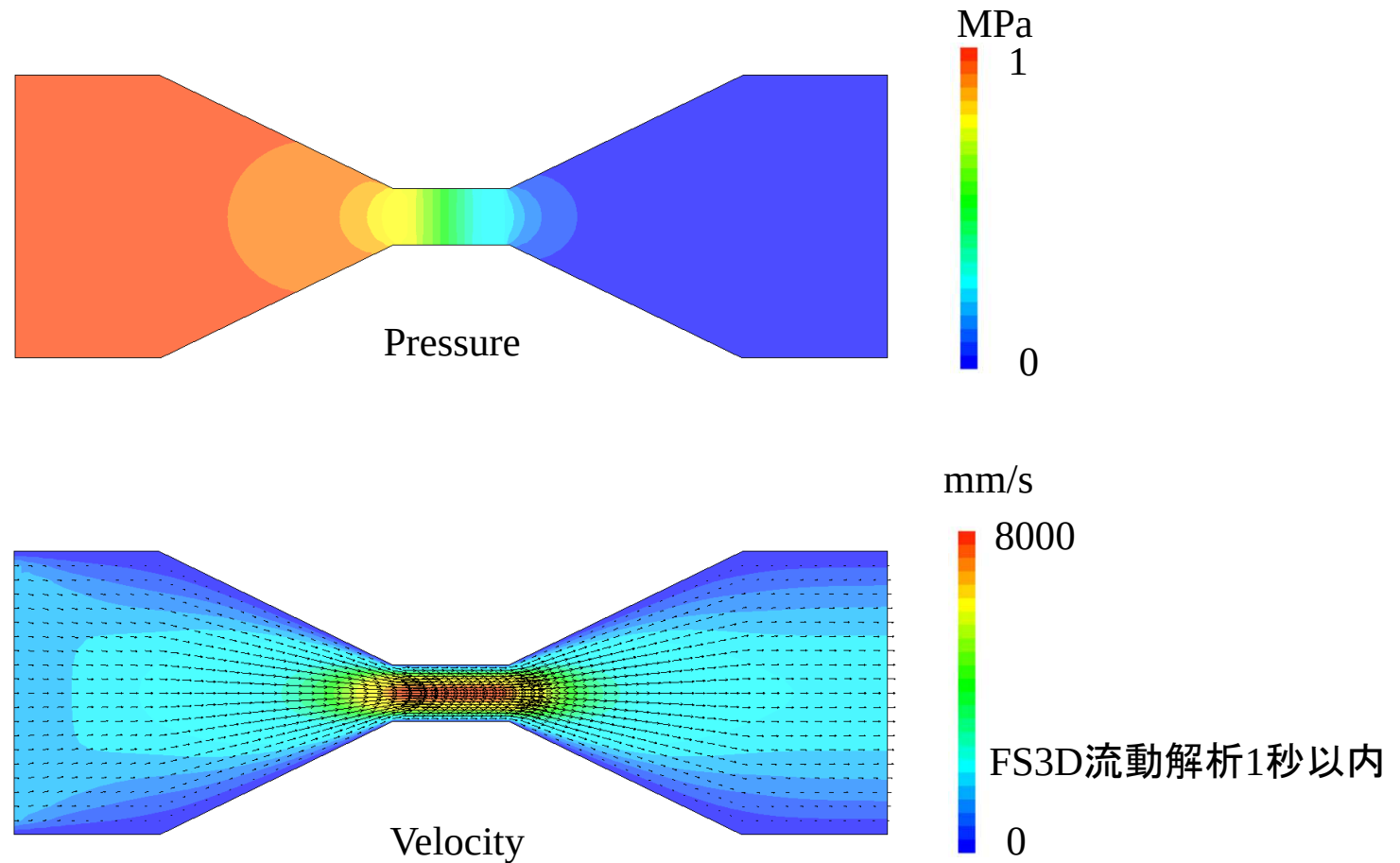
Mass Spring Constant : 2 N/m

Time : 0.4224763 sec

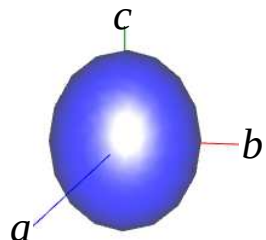


- ・TMSモデルで柔軟体の破砕表現可能。
- ・回転しながらの連鎖的破砕挙動。

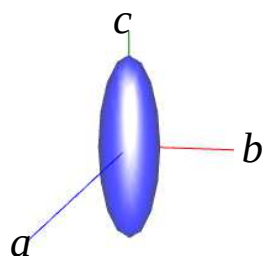
Orientation simulation for Jeffery's ellipsoidal model in viscous shear & elongational flow



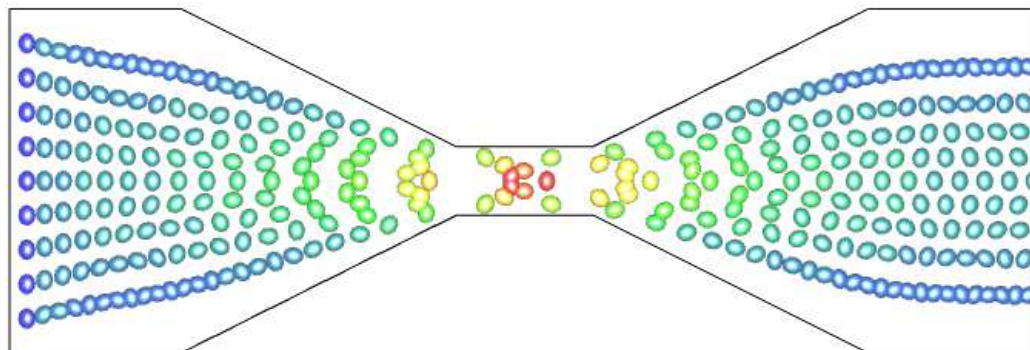
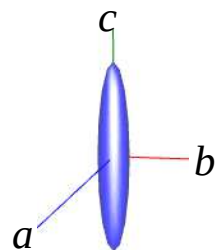
Aspect ratio :
a/b/c:2.5/3/2.5



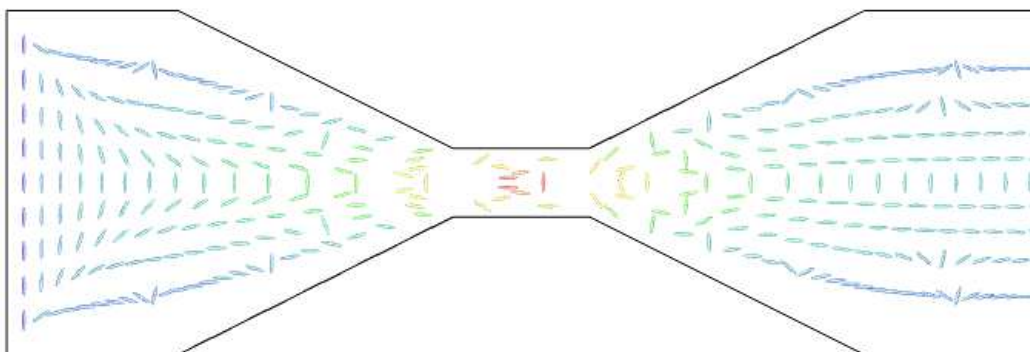
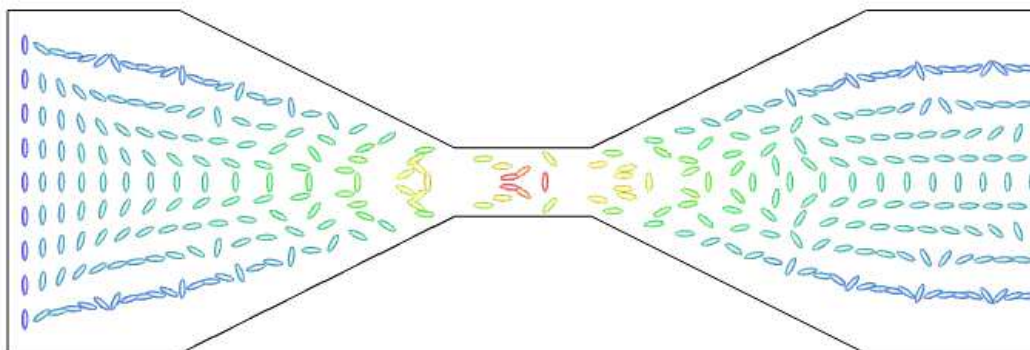
Aspect ratio :
a/b/c:1/3/1



Aspect ratio :
a/b/c:0.5/3/0.5



Time : 0.25 sec



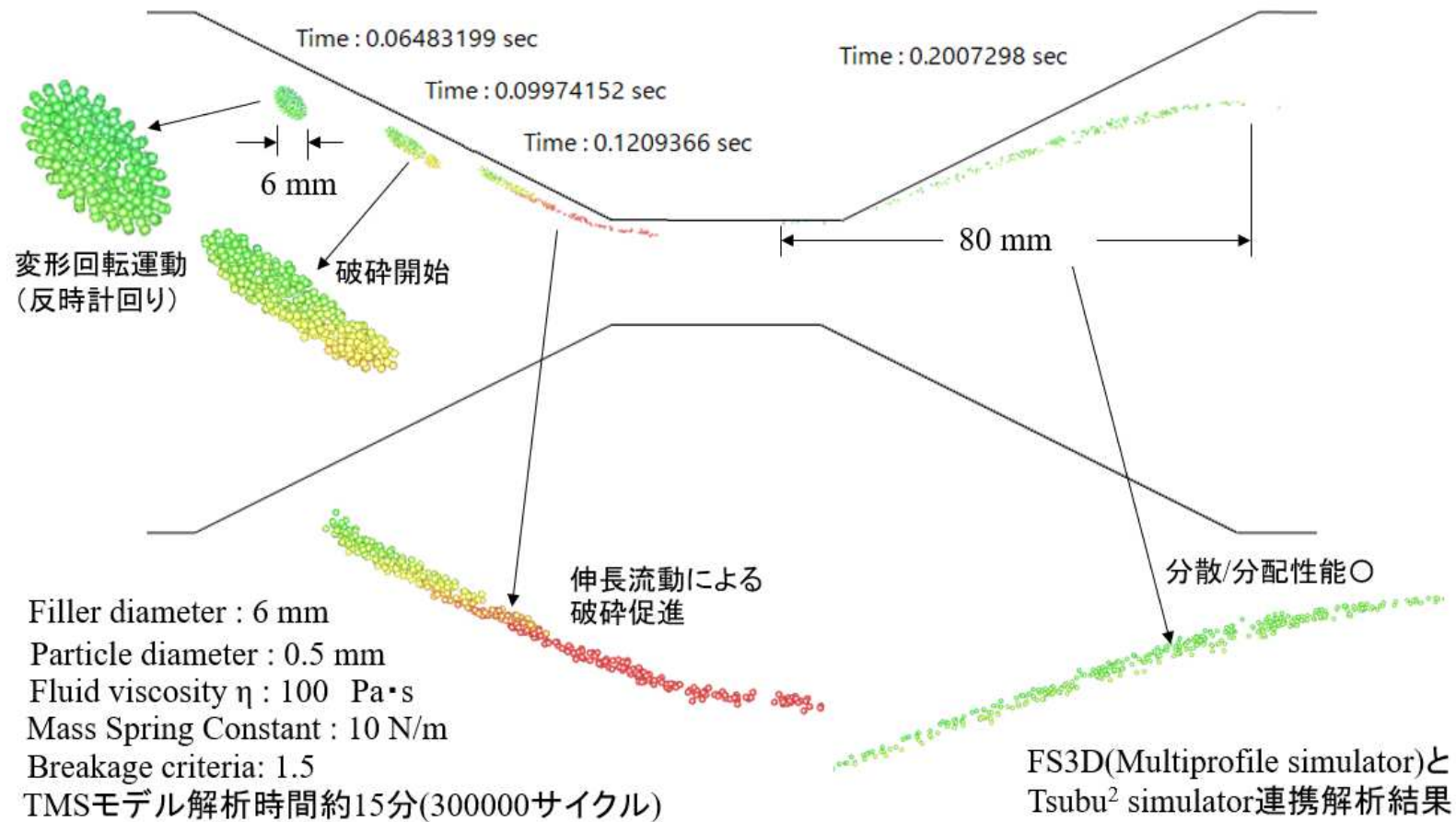
•Jeffery model 解析時間約20秒
(2500サイクル)

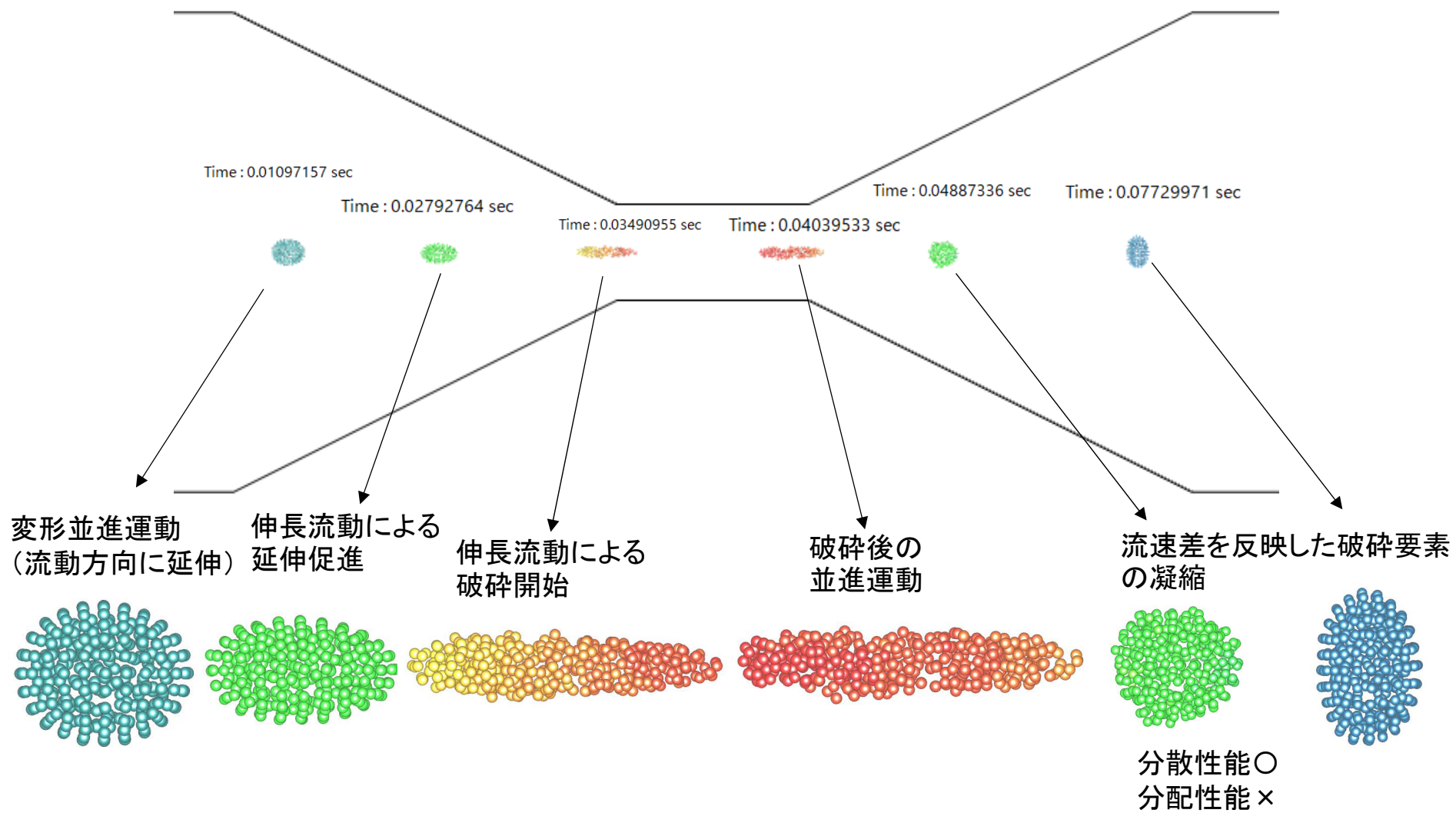
•解析結果は上下鏡面对称
(当然)。

上部では反時計回り、下部では
時計回りの回転運動。流動中央
部では並進運動。

•アスペクト比:b/aの増加に伴って
回転周期が増加(回転し難く、配
向し易くなる)。

Deformation & breakage simulation for a spherical shape filler in viscous shear & elongational flow





今後の取り組み

Single simulator, Twin screw simulator

- ・改良成果は、随時プレリリース
- ・正規版リリース2020/4月予定

Tsubu² simulator

- ・高速化対策、ハード/GPUコンパラー導入後、出荷準備スタート
- ・正規版リリース2020/4月予定

Flat simulator, Spiral simulator

- ・2.5D FEM 多層流動解析機能のブラッシュアップ ←
- ・検証解析継続、成果の学会誌投稿予定(2020/3月)
- ・正規版リリース2020/6月予定

Hyper blow

- ・高速化対策(金型接触判定計算)
- ・要素ライブラリー追加(軸対称ソリッド要素)
- ・ポストプロセッサ機能改良
- ・正規版リリース2020/6月予定



【特許番号】 特許第6547157号

【特許出願日】 2018年10月5日

【特許登録日】 2019年07月5日

【発明の名称】
『多層流体解析用プログラム、多層流体
解析システム、及び多層流体解析方法』

【特許権者】 株式会社HASL

【発明者】 谷藤 真一郎