
第23回 プラスチック成形加工学会 年次大会

スクリュ押出機内の固体輸送/溶融 可塑化プロセスの離散要素解析

2012年6月12日

株式会社HASL 福澤大輔

谷藤真一郎

吉川秀雄

プラスチック工学研究所 辰巳昌典

発表内容

1. 背景
2. 目的
3. 離散要素解析
4. 解析
 - 4-1) グループドタイプ単軸スクリュ押出機内
固体輸送/溶融可塑化シミュレーション
 - 4-2) 2軸スクリュ押出機内固体輸送/溶融可
塑化シミュレーション
5. 結論

1. 背景

高分子成形加工では、
固体樹脂ペレットをスクリュにより可塑化させ成形する。

固体輸送，溶融可塑化領域においてペレットは、
どのような運動をしているか
どのように可塑化するか
その詳細についての理論的な検証は容易ではない。

2. 目的

数値計算により固体輸送，溶融可塑化領域におけるペレットの離散的及び可塑化機構を明らかにする.

新たに開発した動的溶融可塑化モデルを用いた離散要素解析の有効性について報告する.

3. 離散要素解析

離散要素法(Discrete Element Method : DEM)は、粉体のような離散体の力学挙動を解析するための手法.

$$\text{並進運動} \quad M_i \frac{d^2 \mathbf{x}_i}{dt^2} = \sum_{j=1, (j \neq i)} \mathbf{F}_{ij} + M_i \mathbf{g} \quad (1)$$

$$\text{回転運動} \quad \frac{d\mathbf{L}_i}{dt} = \sum_{j=1, (j \neq i)} \mathbf{r}_{ij} \times \mathbf{F}_{ij} \quad (2)$$

M : 質量

x : 位置

F : 粒子*i*に作用する力

g : 重力

L : 角運動量

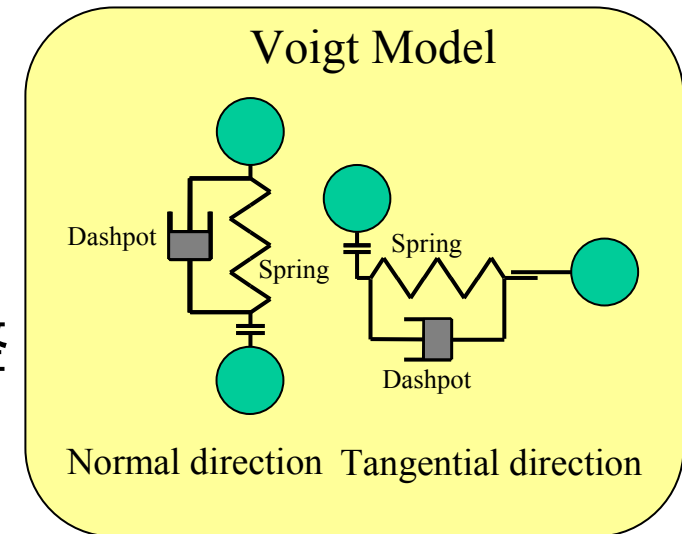
r : 粒子半径

接触時の処理

- ペナルティ法

食込み量に応じた接触力を計算

[特徴]: 接触力が正確, パラメータ調整が難しい(弾性, 粘性係数)



- 撃力(力積)ベース法

反発係数(跳ね返り係数)を用いて速度を計算

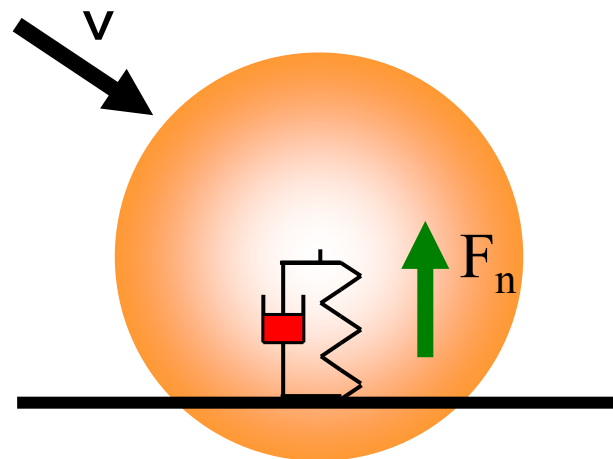
[特徴]: 接触力が不正確, 反発係数を設定するのみ.

• 接触力(ペナルティ法)

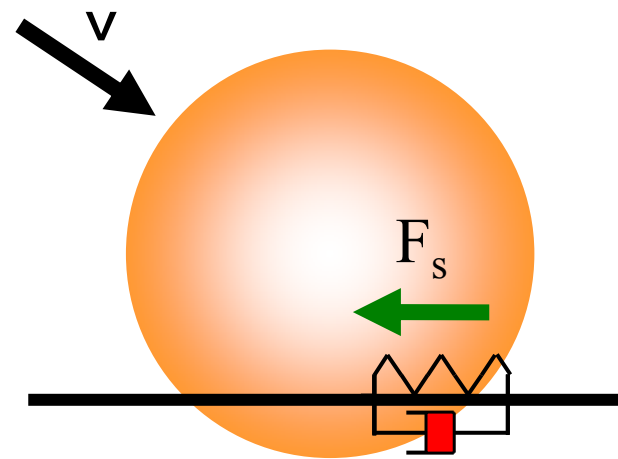
$$\mathbf{F}_{nij}(t_m) = -k_{nij} \delta_{nij}(t_m) \mathbf{n}_{ij}(t_m) - \eta_{nij} \mathbf{v}_{nij}(t_m) \quad \dots\dots \text{法線方向}$$

$$\mathbf{F}_{sij}(t_m) = -k_{sij} \delta_{sij}(t_m) \mathbf{s}_{ij}(t_m) - \eta_{sij} \mathbf{v}_{sij}(t_m) \quad \dots\dots \text{接線方向}$$

k:弾性係数, η :粘性係数, δ :食込み量, n:法線ベクトル, s:接線ベクトル



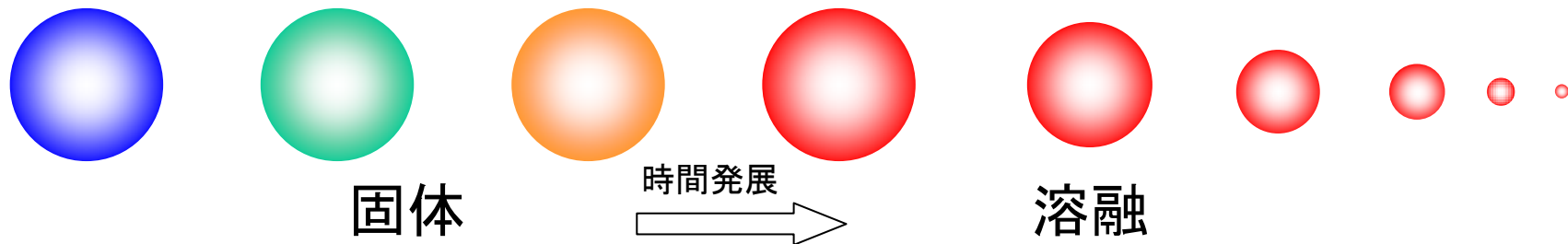
法線方向



接線方向

動的溶融可塑化モデル

粒子表面温度: $T(R) < T_m$: 溶融温度



Thermal equation and boundary condition

$$\rho_i C p_i \frac{DT}{Dt} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_i r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q_i$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \text{ at } r = 0, \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} = q_{collision} \text{ at } r = R$$

ρ : 密度

Cp : 比熱

r : 粒子径

λ_i : 熱伝導率

$q_{collision}$: ペレット/ペレット間、/金属壁面間の

熱的相互作用による熱流束

Q_i : 摩擦発熱

Thermal equation and boundary condition

$$\rho_i C p_i \frac{DT}{Dt} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_i r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q_i$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \text{ at } r = 0, T = T_m \text{ at } r = R$$

Kinetic equation for time evolution of spherical radius

$$\lambda_s \frac{\partial T}{\partial r} = q_{collision} + \rho_i H_i \frac{dR}{dt}$$

H : 潜熱

4. 解析

4-1. グループドタイプ単軸スクリュウ押出機内固体輸送/熔融可塑性シミュレーション

解析モデルと条件



回転数: 20(rpm)

粒子数: 5000個

粒子径: 1.5(mm)

粒子温度: 20(°C)

壁面温度: 200(°C)

熔融温度: 140(°C)

弾性係数n: 1.0e7(N/m)

弾性係数s: 1.0e5(N/m)

粘性係数n: 3.0e5(N·s/m²)

粘性係数s: 1.0e5(N·s/m²)

摩擦発熱考慮

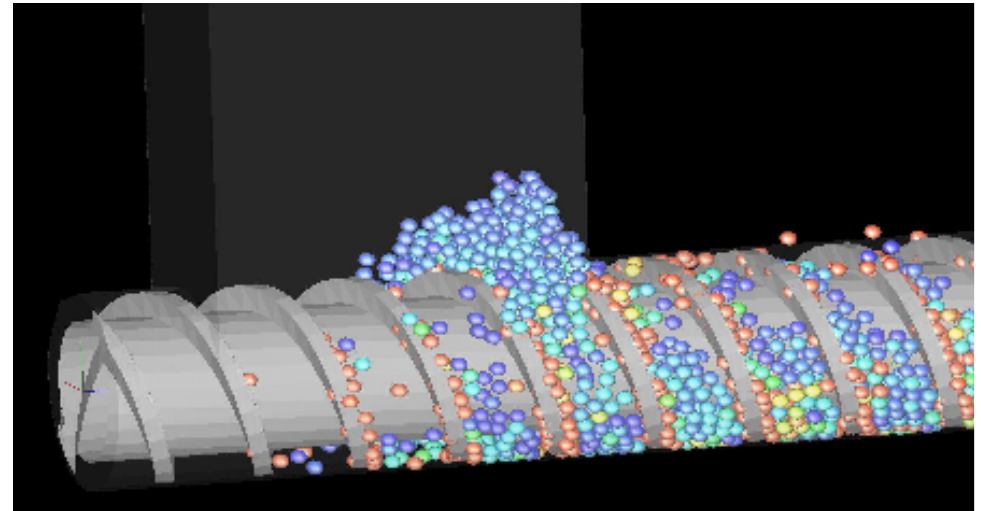
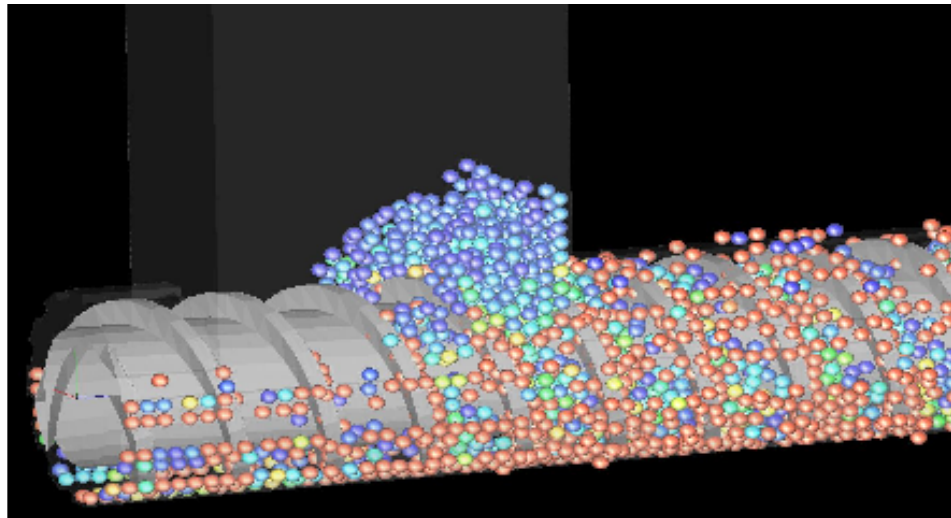


(a) Grooved Type



(b) Normal Type

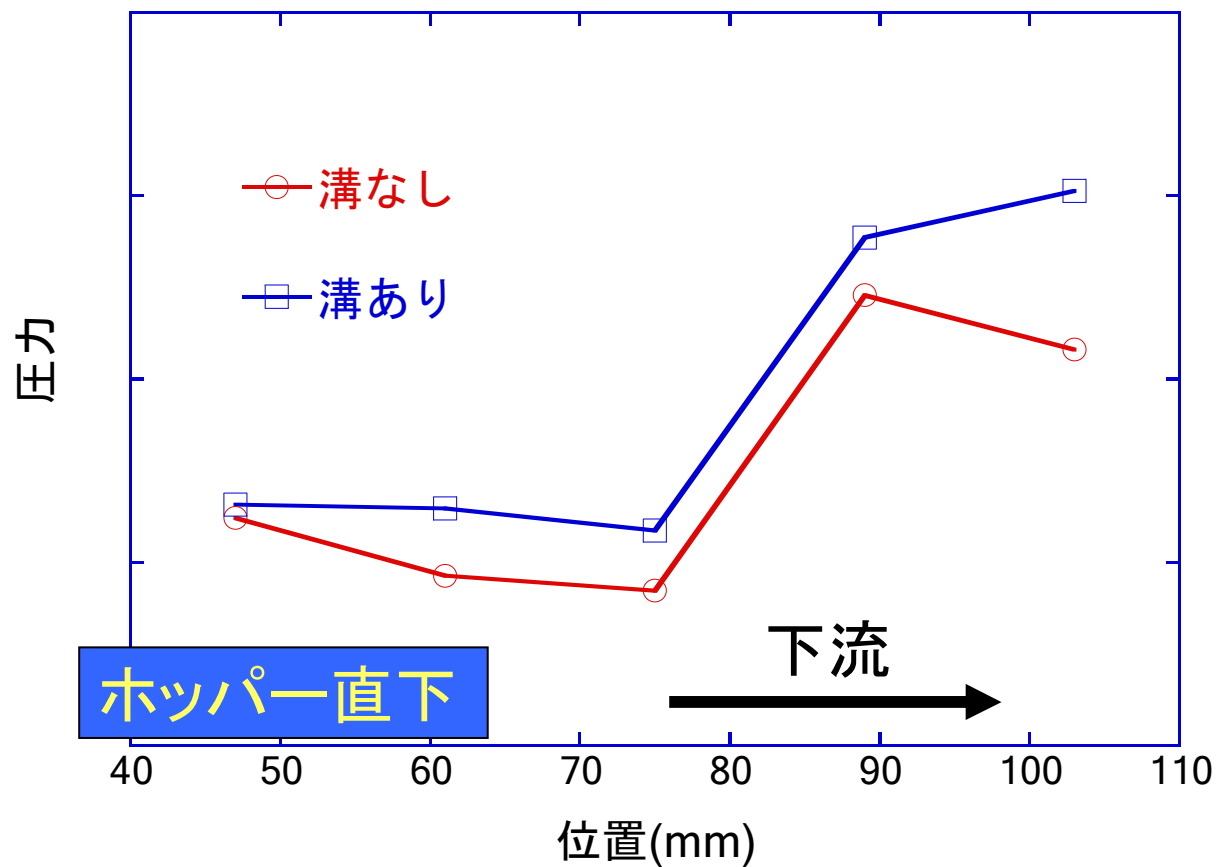
粒子色: 圧力



溝あり

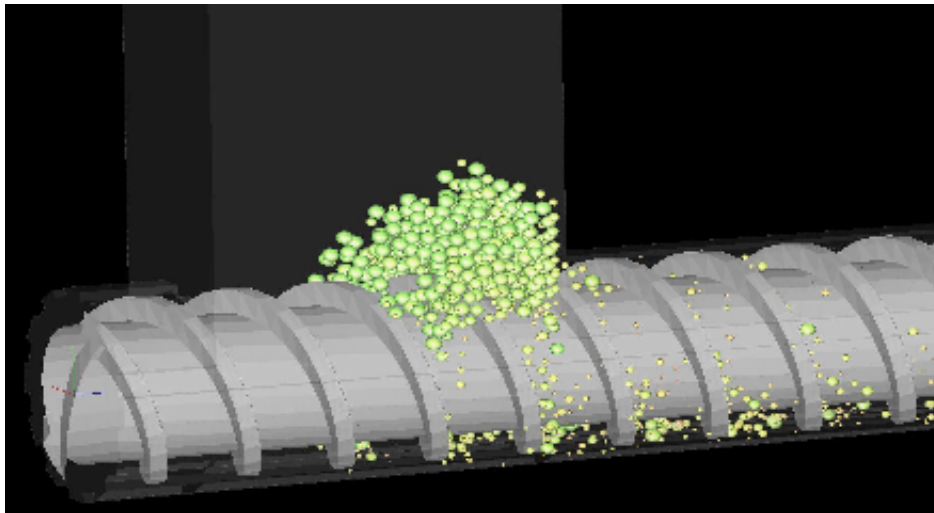
溝なし

溝あり／なしモデルにおける粒子の運動挙動及び圧力分布

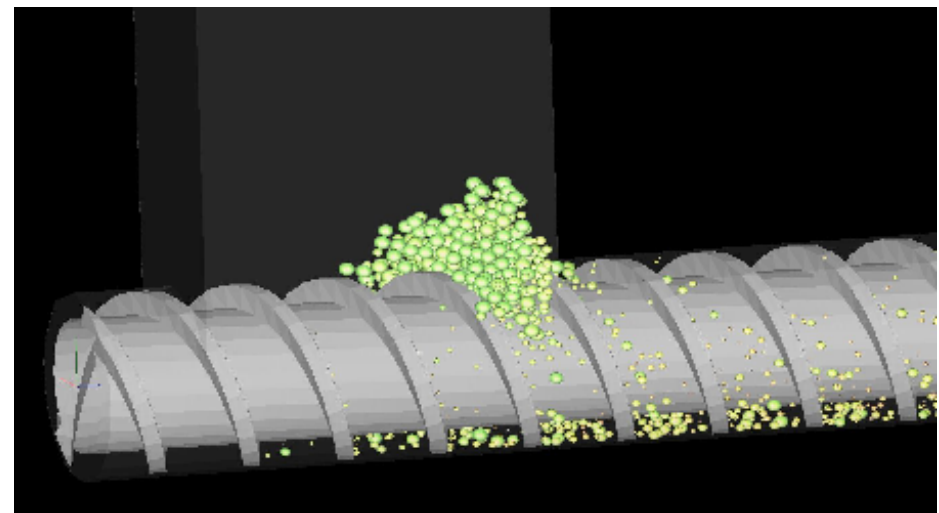


溝あり／なしモデルにおける区間平均圧力分布
 溝あり(Grooved Type)の方が圧力が高い

粒子色: 温度



溝あり

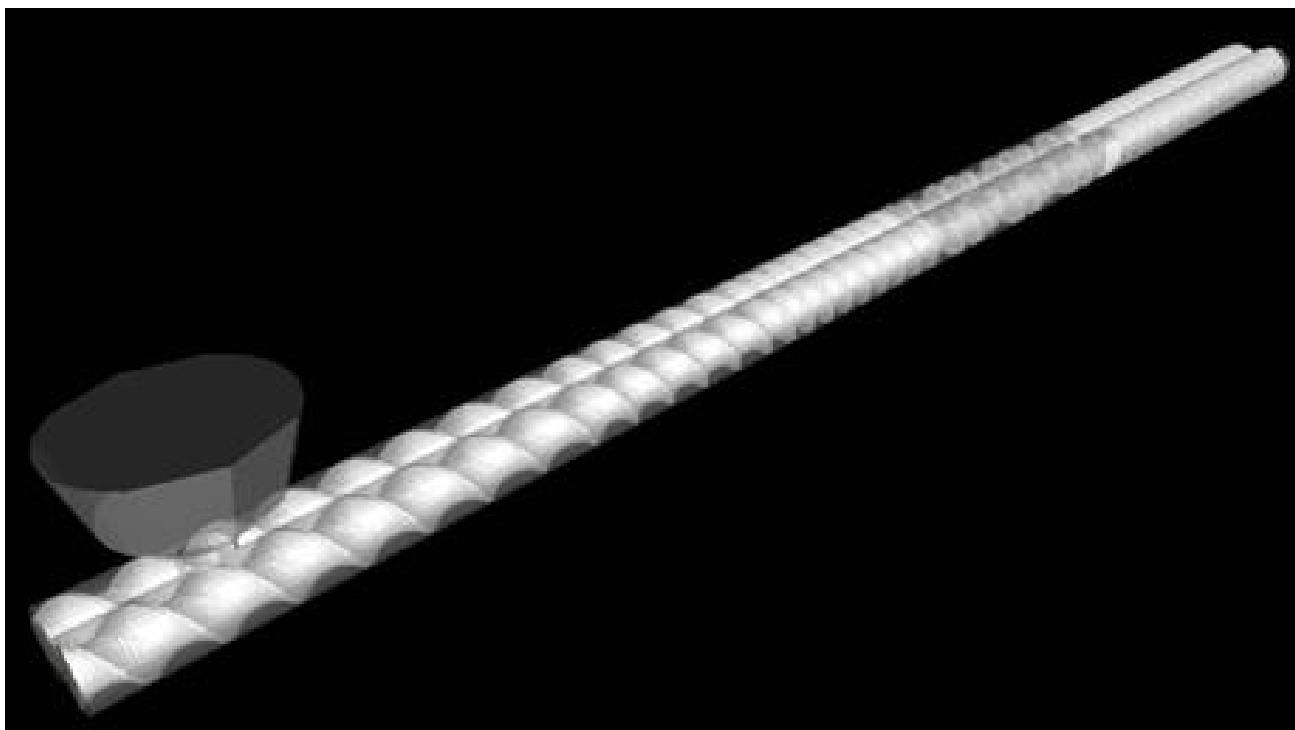


溝なし

溝あり／なしモデルにおける粒子の温度及び粒子径分布

4-2. 2軸スクリュ押出機内固体輸送/熔融可塑化シミュレーション

解析モデルと条件



Twin screw model

回転数: 100(rpm)

粒子数: 3000個

粒子径: 1.5(mm)

粒子温度: 20(°C)

壁面温度: 180(°C)

熔融温度: 150(°C)

弾性係数 n : 1.0e7(N/m)

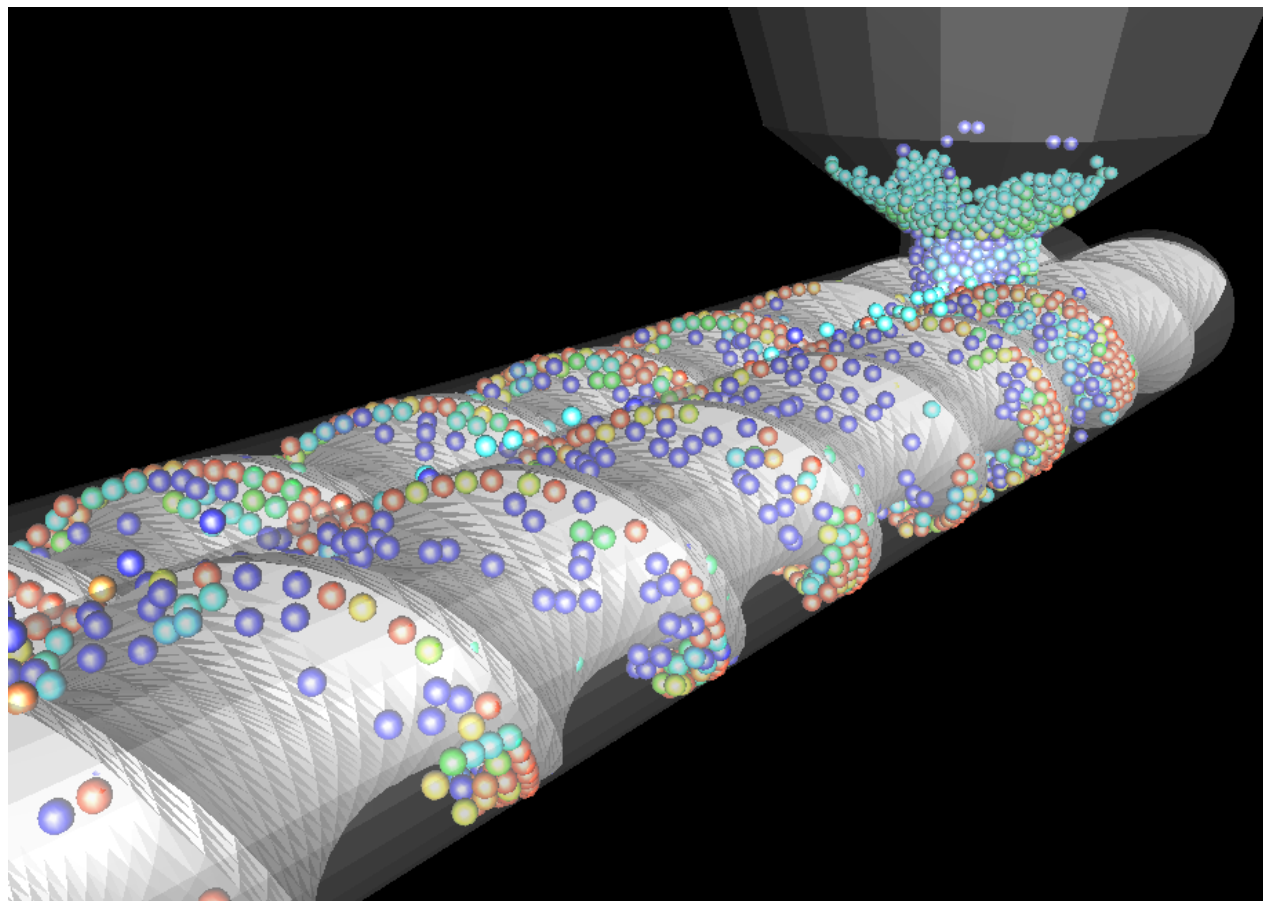
弾性係数 s : 1.0e5(N/m)

粘性係数 n : 3.0e5(N·s/m²)

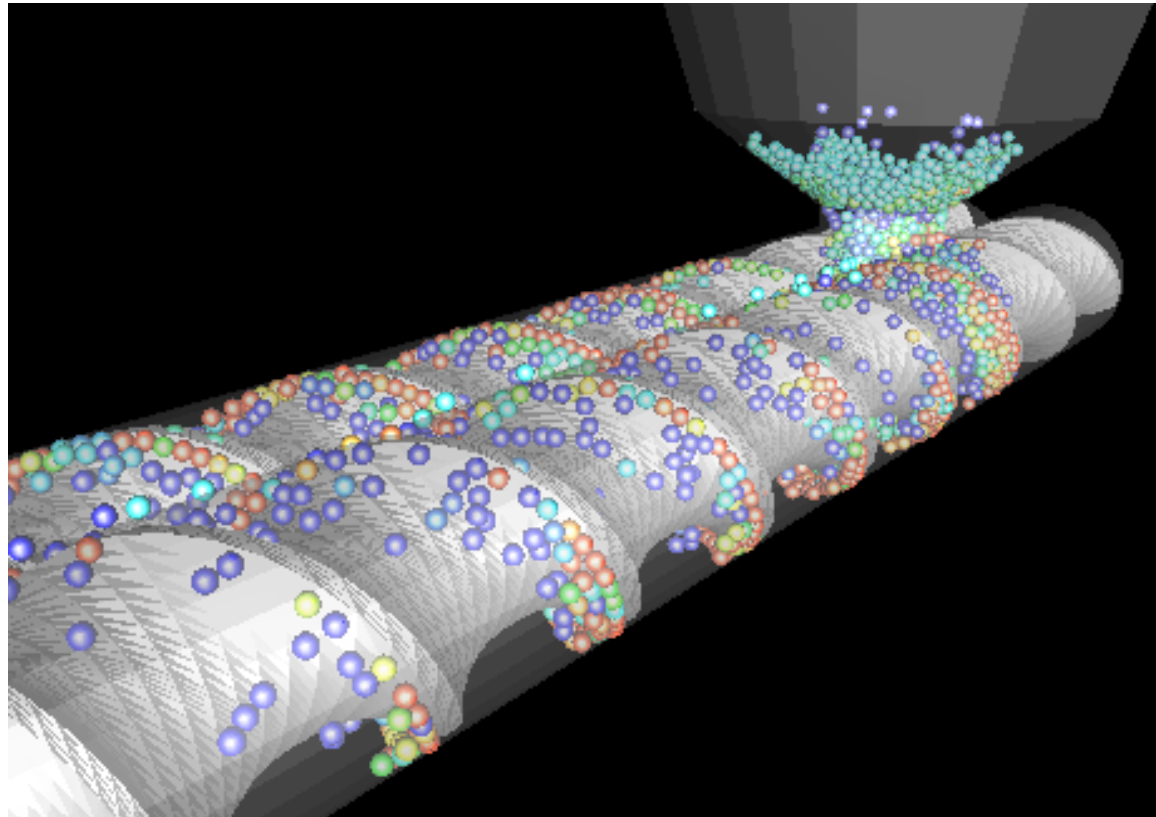
粘性係数 s : 1.0e5(N·s/m²)

摩擦発熱考慮

粒子色: 圧力



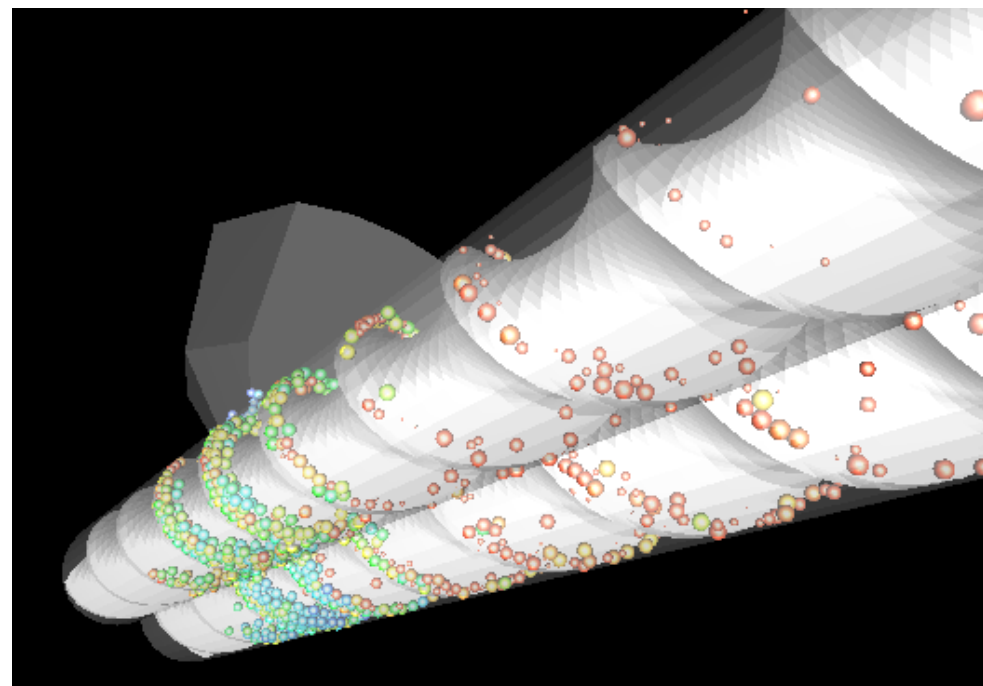
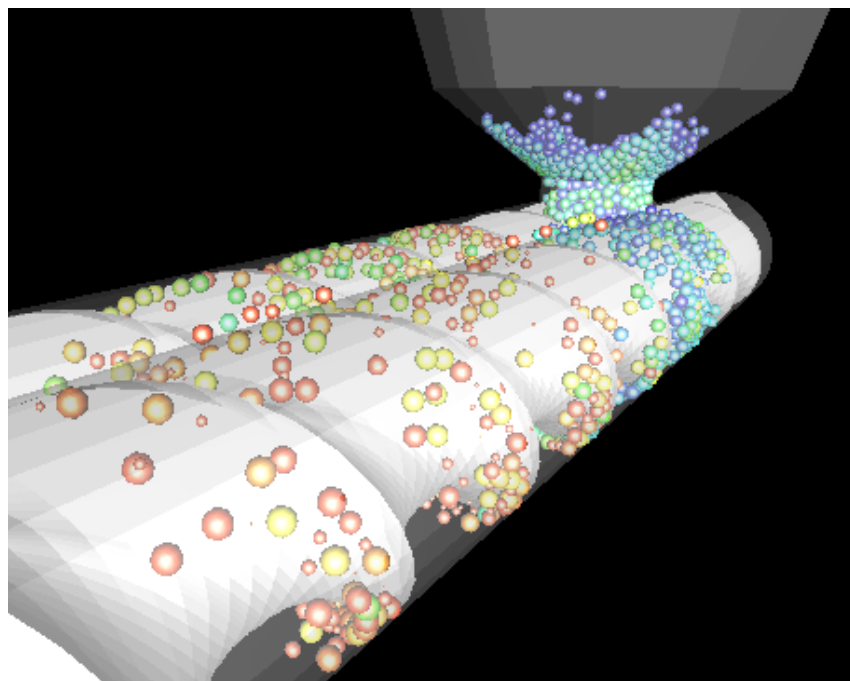
粒子の運動挙動及び圧力分布



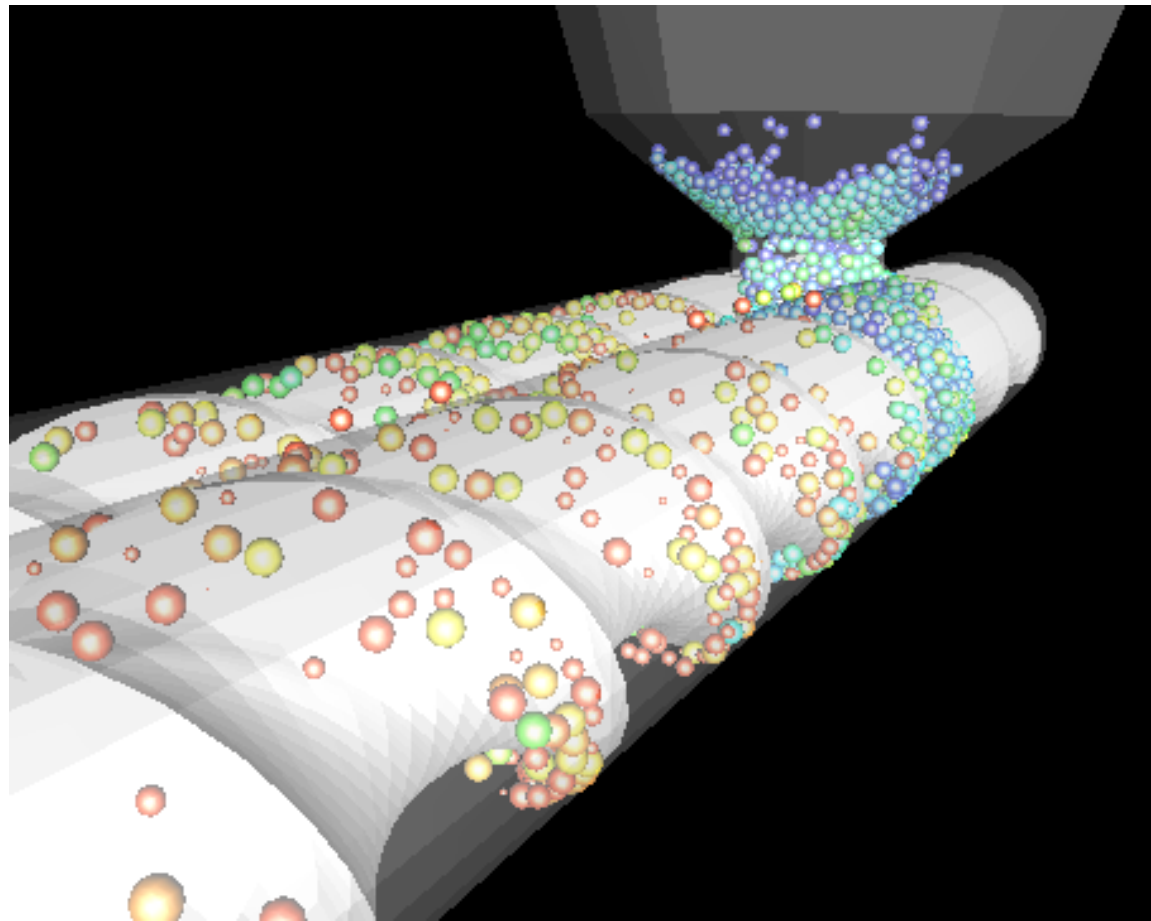
粒子の運動挙動及び圧力分布

プッシングサイドで粒子の圧力は高い。
プッシングサイドで粒子は密に分布する。

粒子色:温度

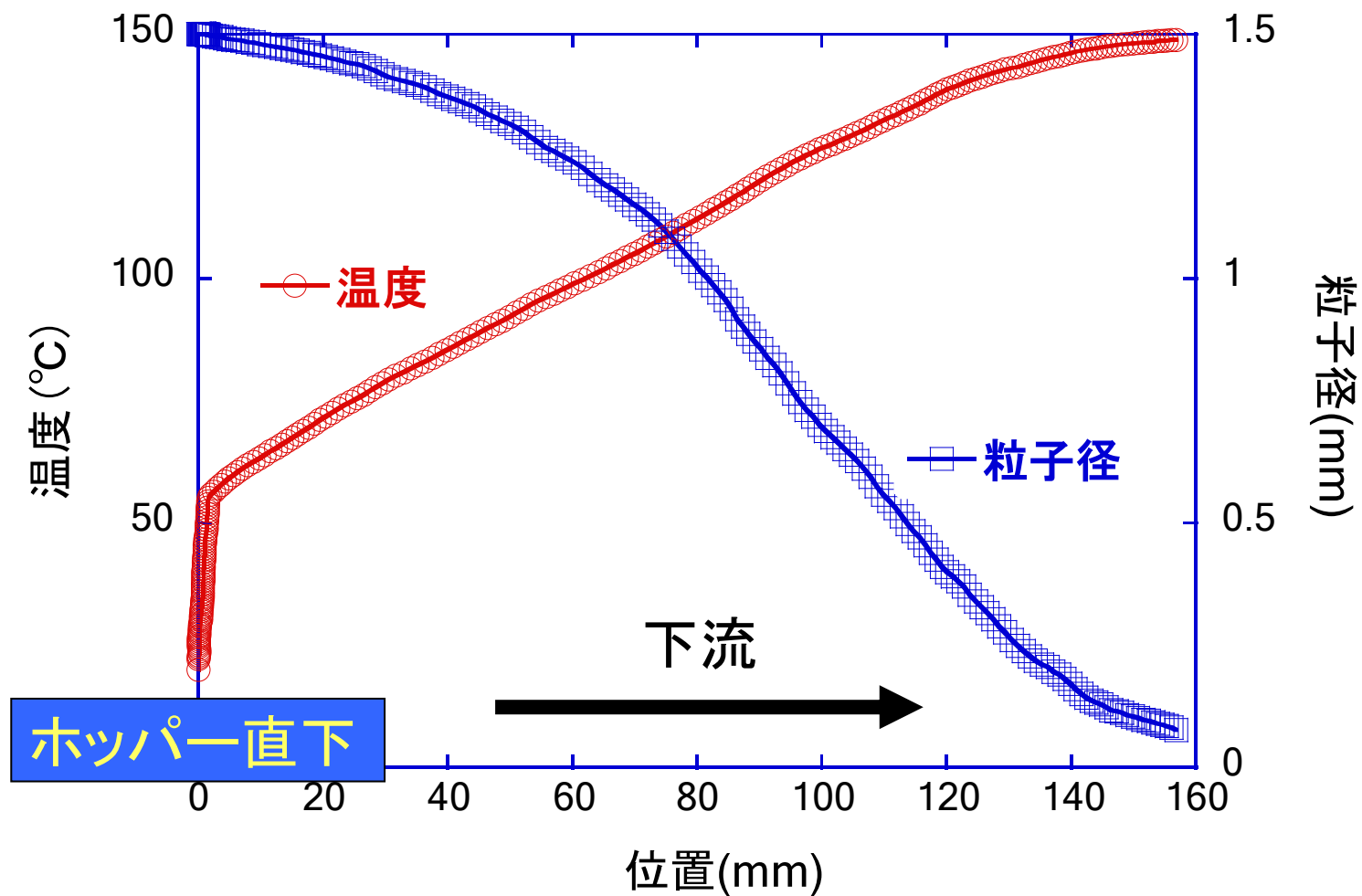


粒子の温度及び粒子径分布



粒子の温度及び粒子径分布

運動や熱履歴の差に応じて溶融状態が異なる。



各位置での平均粒子温度と平均粒子径

5. 結論

新たに開発した動的溶融可塑化モデルを用いた離散要素解析の有効性について検討した。以下に示す成果や知見が得られた。



- ① グループドタイプ単軸スクリュ押出機内の圧力上昇を再現した。
- ② 動的溶融可塑化プロセスを定量化した。
- ③ 解析結果は定性的に理解し得る傾向を示した。

本解析手法は固体輸送，溶融可塑化領域におけるペレットの離散的及び可塑化機構を明らかにする上で有効である。