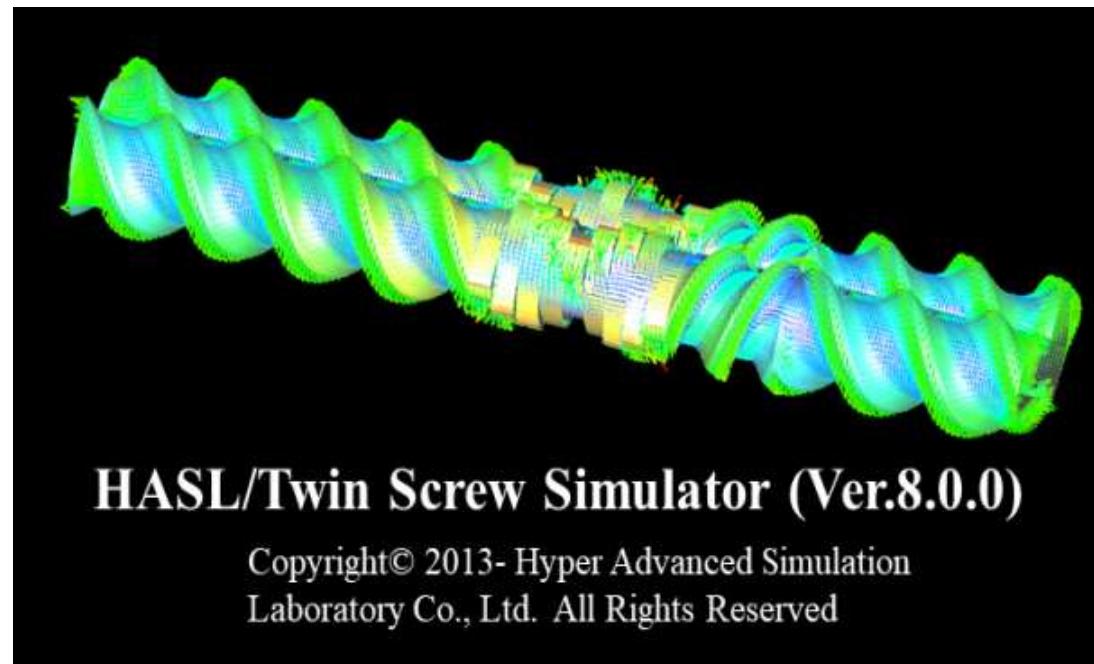


Twin Screw Simulator (Ver.8.0.0)

改良成果資料



2021/07/28

株式会社HASL

○改良成果一覧

① 解析機能の改良

(1) 多成分サイドフィード解析機能(Multi component flow model) 新規実装機能

(2) 溶融可塑化解析機能(High Concentration Suspension Melting Model)
Revised Version

(3) 液滴分裂/合体解析機能(Morphological Evolution Model)
Revised Version

② 解析時間の高速化・効率化

(1) GPUを利用した解析時間高速化 (*)

* NVIDIAグラフィックボードを搭載したPC環境でのみ運用可能です.

(2) 温度解析機能高速化(1D FDM)

(3) Job Control Form(解析ジョブの連続投入機能)の改良

(4) Windowsコマンドプロンプトを利用した解析ジョブ連続&並列実行方法のご紹介

① 解析機能の改良

表. 機能比較一覧

解析機能	Ver <8.0.0	Ver 8.0.0
サイドフィード解析機能	サイドフィード位置/個数任意設定, 单一成分, 陽解法, 非定常解析	サイドフィード位置/個数任意設定, 任意多成分, 陰解法, 非定常/定常解析
溶融可塑化解析機能	陽解法, 非定常解析, 2.5D	陰解法, 定常解析, 1D
液滴分裂合体解析機能	陽解法, 非定常解析, 2.5D	陰解法, 定常解析, 1D

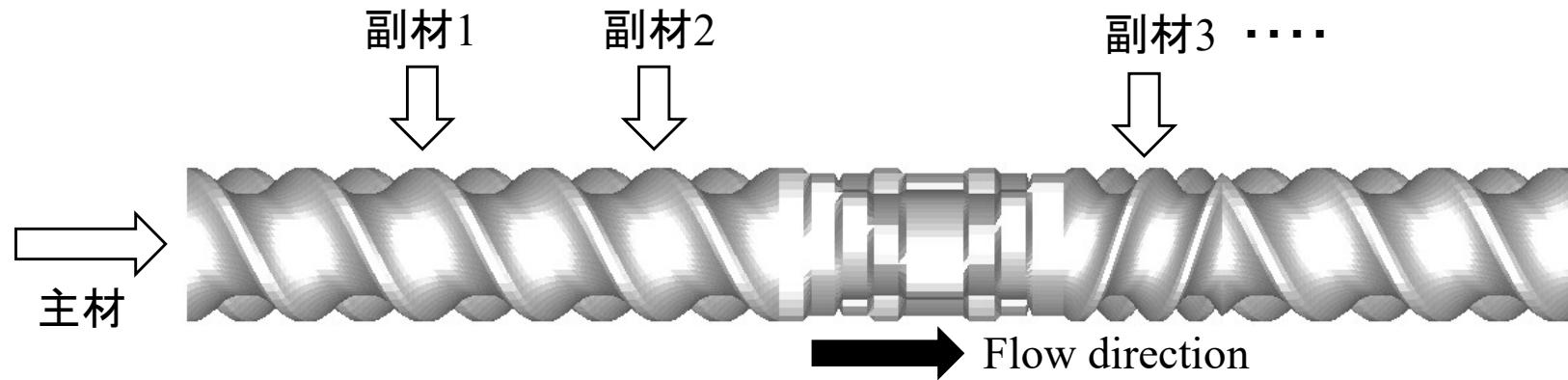
$$\frac{df}{dt} = -\kappa f, \kappa > 0 \quad \xrightarrow{\text{離散化表現}} \quad \begin{cases} \frac{f^n - f^{n-1}}{\Delta t} = -\kappa f^{\boxed{n-1}} \Rightarrow f^n = (1 - \kappa \Delta t) f^{n-1} = (1 - \kappa \Delta t)^n f(0) \\ \frac{f^n - f^{n-1}}{\Delta t} = -\kappa f^{\boxed{n}} \Rightarrow f^n = \frac{1}{(1 + \kappa \Delta t)} f^{n-1} = \left(\frac{1}{1 + \kappa \Delta t}\right)^n f(0) \end{cases}$$

陽解法
安定条件:
 $\Delta t < \frac{1}{\kappa}$

陰解法
無条件安定

$\downarrow \text{理論解}$
 $f(t) = f(0) \exp(-\kappa t)$

(1) 多成分サイドフィード解析機能(Multi component flow model) 新規実装機能



副材 i の体積分率(濃度) ϕ_i に対する輸送方程式

$$\frac{D\phi_i}{Dt} = \frac{\partial \phi_i}{\partial t} + u \frac{\partial \phi_i}{\partial x} + v \frac{\partial \phi_i}{\partial y} + w \frac{\partial \phi_i}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

多成分流体の物性

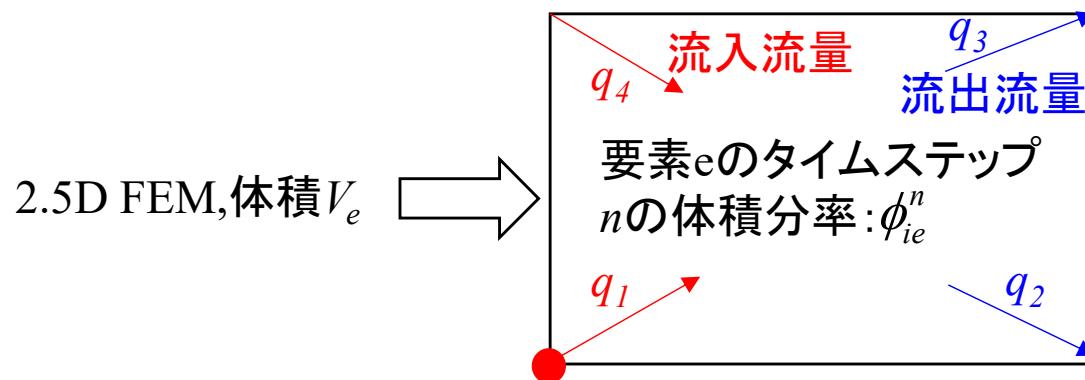
$$f_{mf} = (1 - \sum_{i=1}^n \phi_i) f_m + \sum_{i=1}^n \phi_i f_{si} \quad (2)$$

f_{mf} : 多成分流体の密度, 粘度, 比熱などの物性

f_m : 主材の密度, 粘度, 比熱などの物性

f_{si} : 副材*i*の主材の密度, 粘度, 比熱などの物性

輸送方程式(1)の2.5D FEM離散化方程式の導出手順



要素内流量収支式

$$\sum_{i=1}^4 q_i = \sum_{ip} q_{ip} + \sum_{im} q_{im} = 0 \quad (3)$$

要素流入流量 要素流出流量

※要素内流量収支式は、
2.5D FEMでは自動的に満足される。

要素内体積収支式

$$\text{単位時間当たりの成分 } i \text{ の体積変化} = \text{単位時間当たり要素へ流入する体積増加分} + \text{単位時間当たり要素から流出する体積減少分}$$

$$V \frac{\phi_i^n - \phi_i^{n-1}}{\Delta t} = \sum_{ip} \phi_{i,eupwind}^n q_{ip}$$

$$\phi_i^n \sum_{im} q_{im}$$

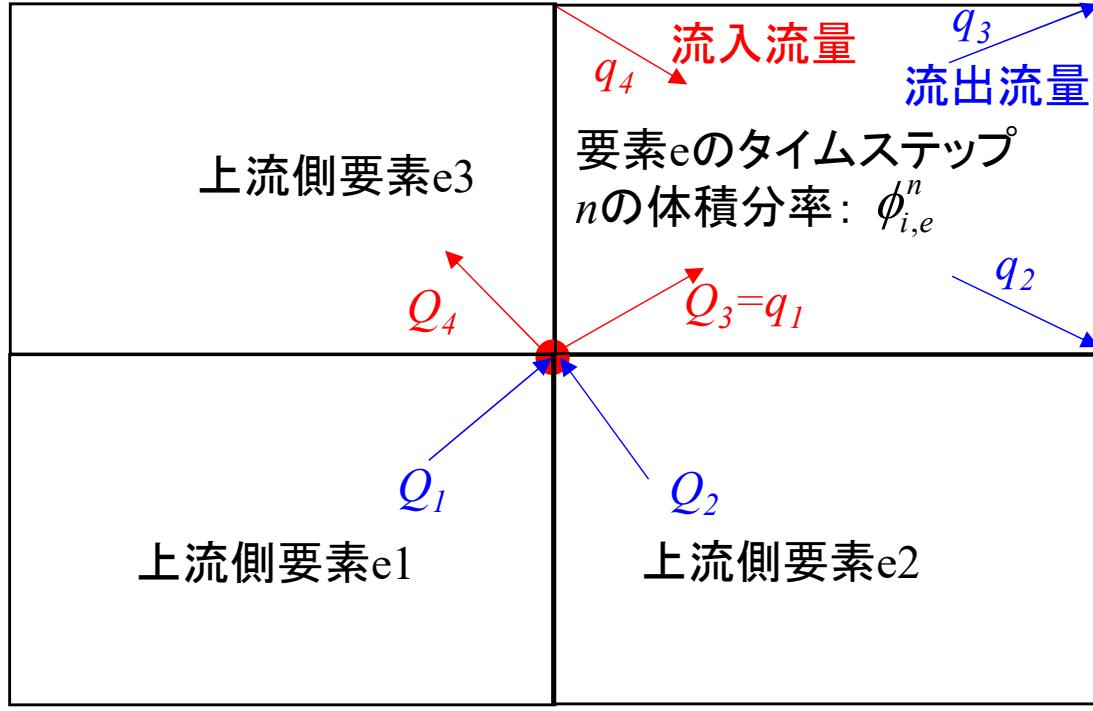
※非構造格子では、上流側要素情報で決定される
体積増加分の表現が非常に複雑。

単位時間当たり要素へ流入する体積増加分 $q_1\phi_{i,upwind}^n$ の計算手順

節点流量収支式

$$\sum_{i=1}^4 Q_i = \sum_{ip} Q_{ip} + \sum_{im} Q_{im} = \begin{cases} 0 & \text{for innernode} \\ Q_b & \text{for innernode} \end{cases} \quad (4)$$

※節点流量収支式は、
圧力離散化方程式を解くことで満足される。



単位時間当たり要素eの上流側要素から流出する体積は、

$$-Q_1\phi_{i,e1} - Q_2\phi_{i,e2}$$

左の図の位置関係からこの流出流量の内、要素eに配分される流量は、

$$(-Q_1\phi_{i,e1} - Q_2\phi_{i,e2}) \frac{Q_3}{Q_3 + Q_4}$$

$$\therefore q_1\phi_{i,upwind}^n = (-Q_1\phi_{i,e1} - Q_2\phi_{i,e2}) \frac{Q_3}{Q_3 + Q_4}$$

他の流入節点に対しても同様の計算手順に従って、風上要素の寄与を評価する。

輸送方程式(1)の2.5D FEM離散化方程式

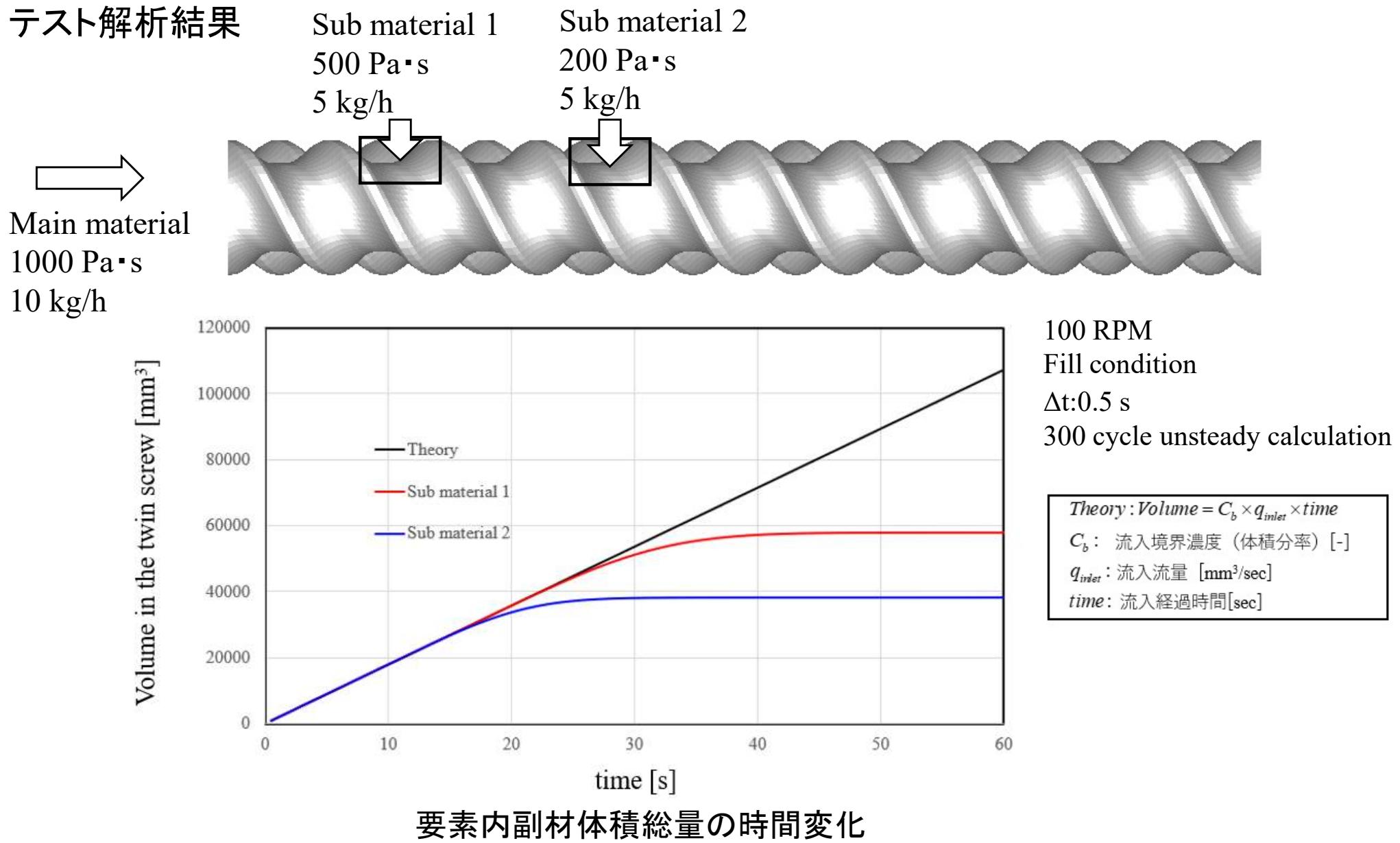
$$\left(V_e - \sum_{im} q_{im} \Delta t \right) \phi_{i,e}^n - \sum_i q_{pi} \phi_{i,eupwind}^n \Delta t = \phi_{i,e}^{n-1} V_e \quad (5)$$

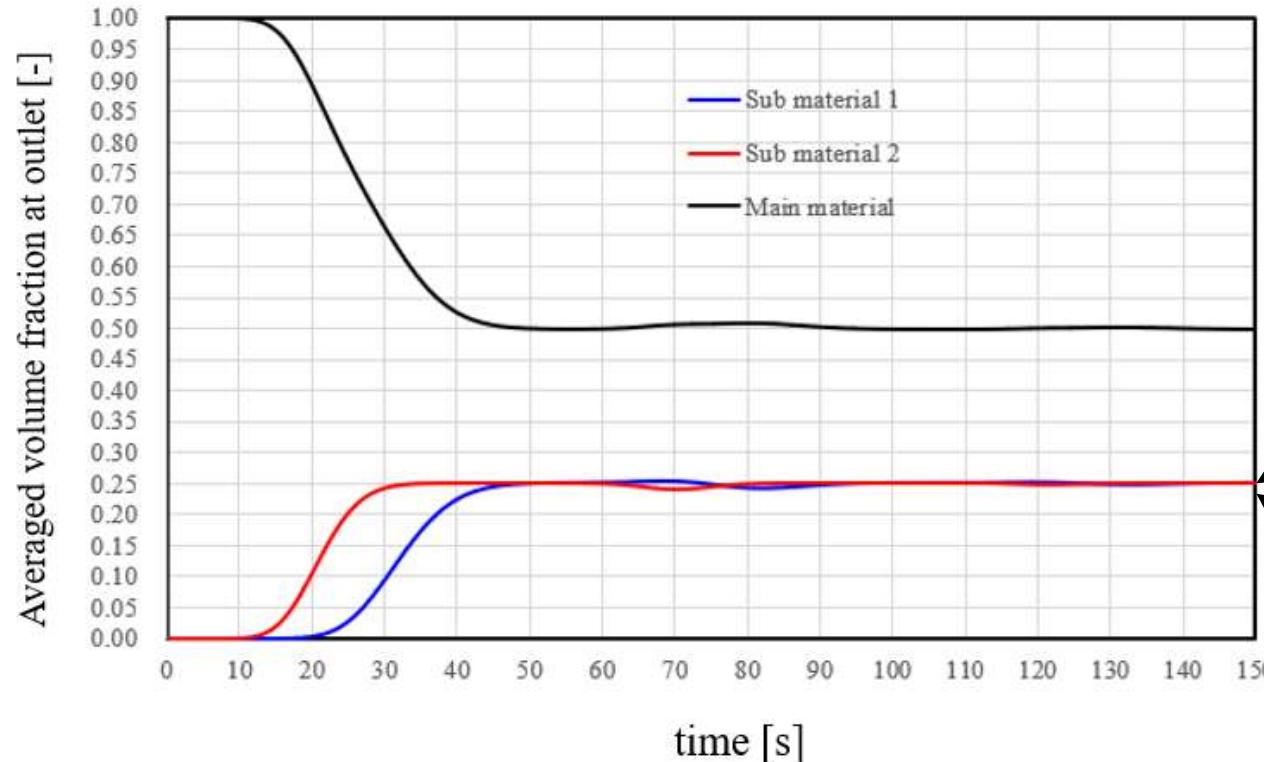
定常状態では、 $\Delta t \rightarrow$ 無限大、あるいは、 $\phi_{i,e}^n = \phi_{i,e}^{n-1}$ として、

$$\sum_{im} q_{im} \phi_{i,e}^n + \sum_i q_{pi} \phi_{i,eupwind}^n = 0 \quad (6)$$

すなわち、単位時間当たりに要素へ流入する成分*i*の体積流量と流出流量が釣り合い、体積分率が時間的に変化しない定常状態に漸近する。

テスト解析結果





流出口で観察される各成分濃度(体積分率)の時間変化

$$\phi_m(t) = 1 - \phi_{s1}(t) - \phi_{s2}(t)$$

$$\phi_{s1}(t \rightarrow \infty) = \frac{q_{s1}}{q_m + q_{s1} + q_{s2}}$$

$$\phi_{s2}(t \rightarrow \infty) = \frac{q_{s2}}{q_m + q_{s1} + q_{s2}}$$

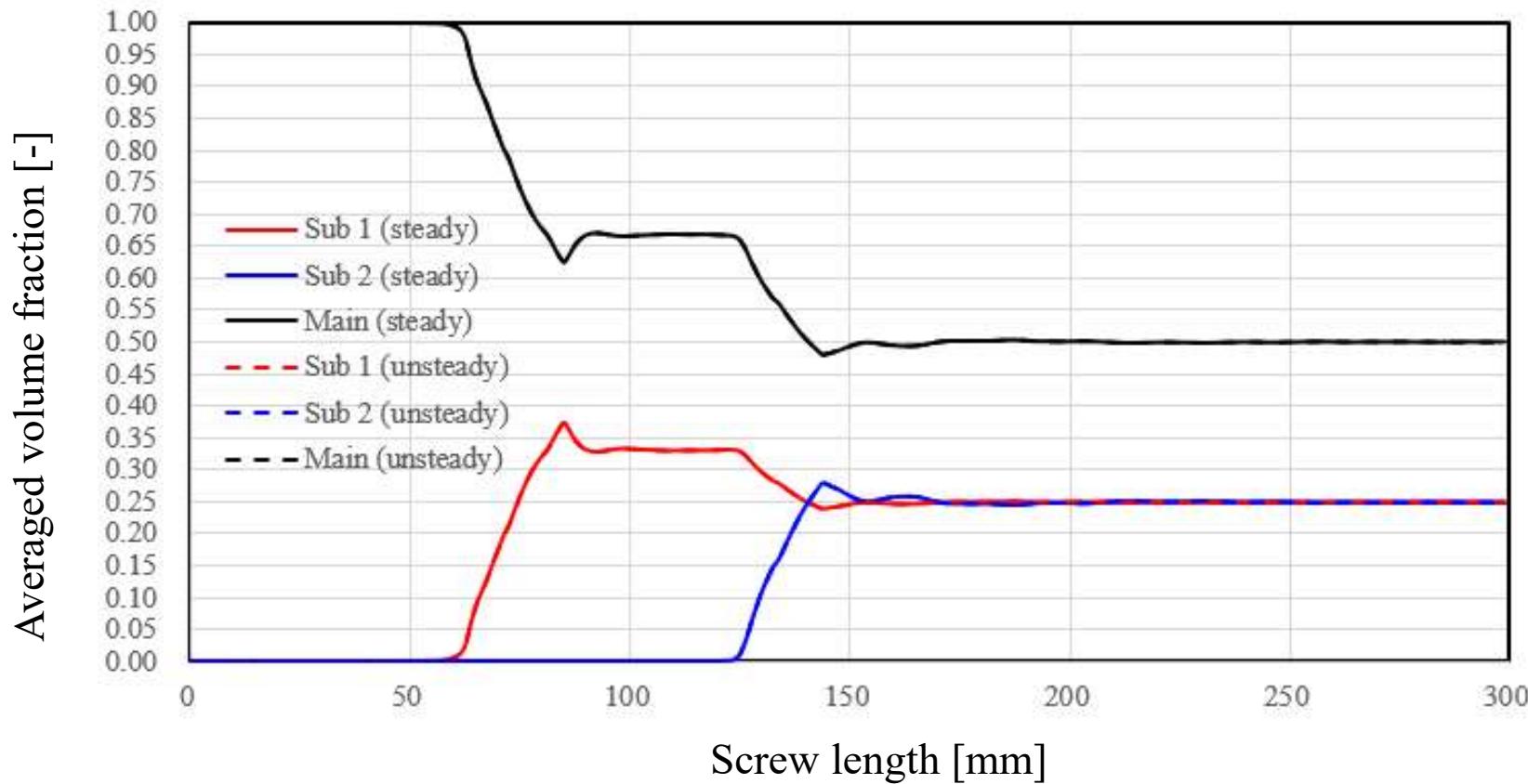
テスト解析条件: $q_{s1} = q_{s2} = 0.5q_m$



$$\phi_{s1}(t \rightarrow \infty) = 0.25$$

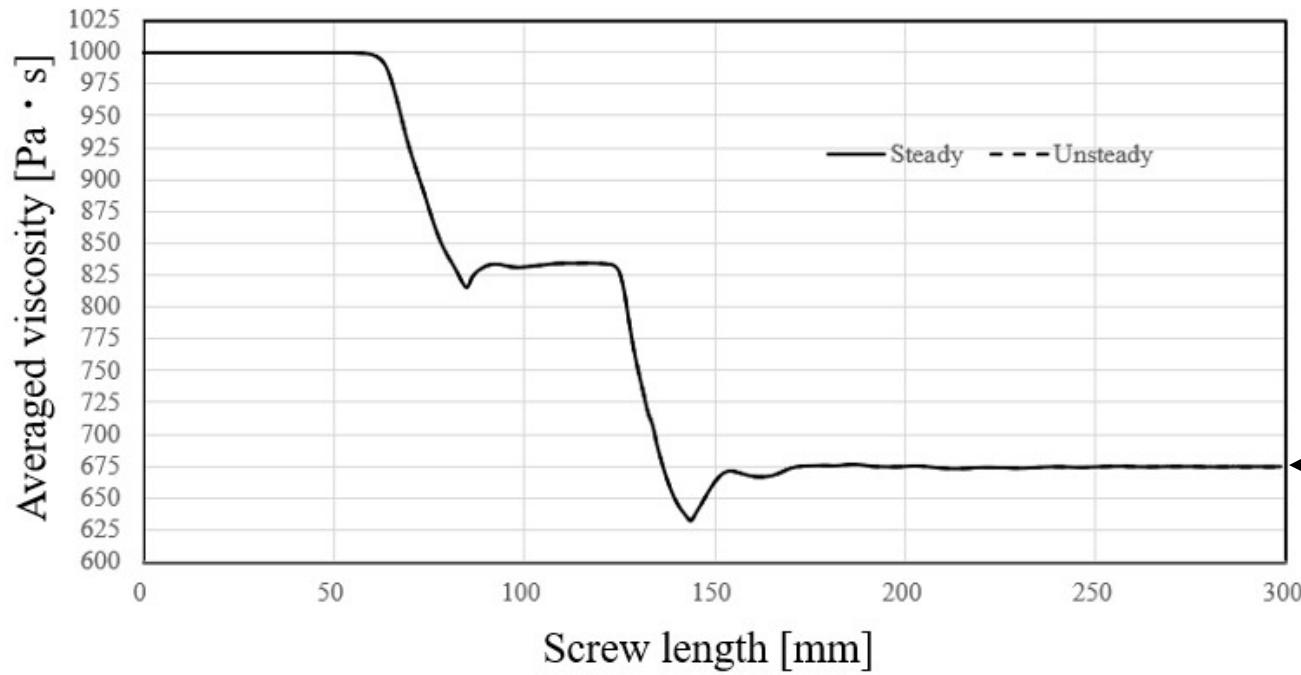
$$\phi_{s2}(t \rightarrow \infty) = 0.25$$

$$\phi_m(t \rightarrow \infty) = 0.5$$



スクリュ内各成分濃度(体積分率)分布

非定常解析の漸近解＝定常解析結果



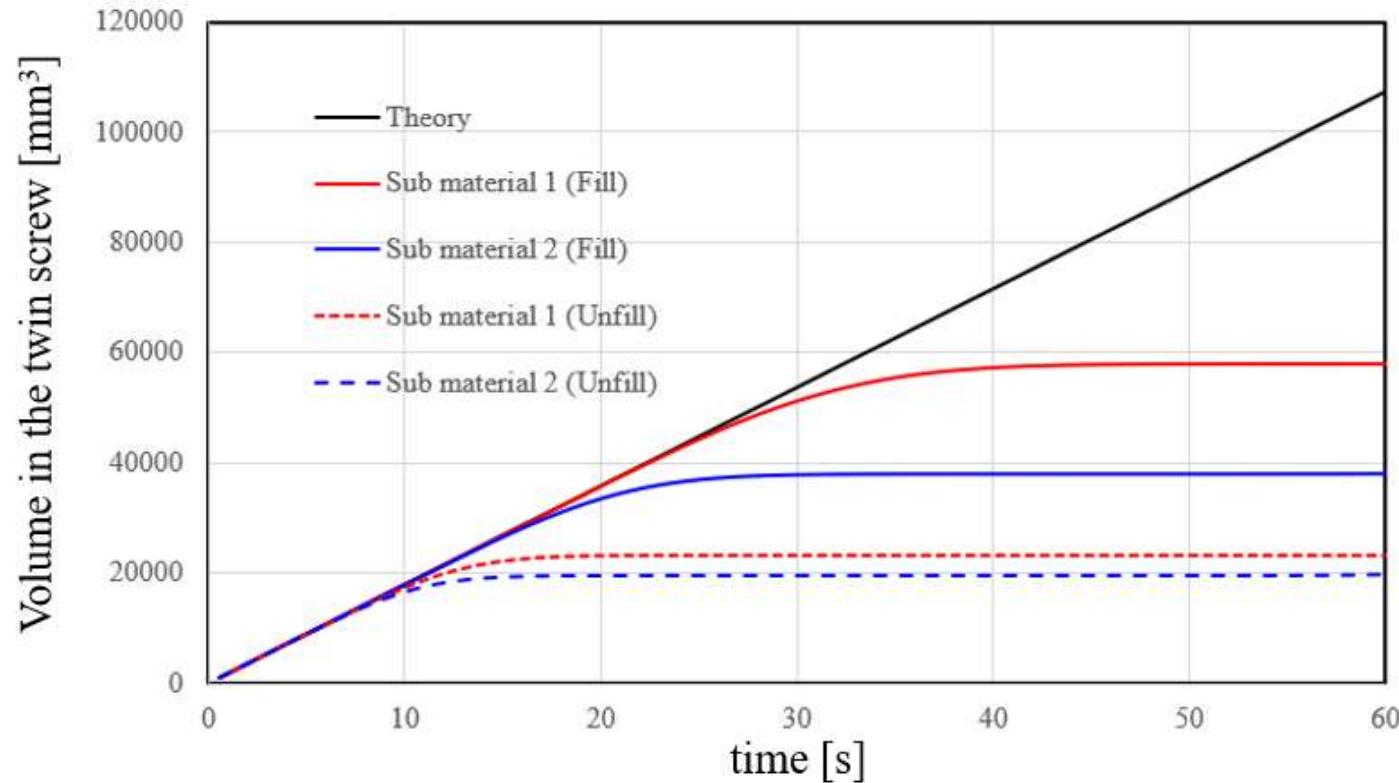
スクリュ内多成分流体粘度分布

$$\eta = (1 - \phi_{s1} - \phi_{s2})\eta_m + \eta_{s1}\phi_{s1} + \eta_{s2}\phi_{s2}$$

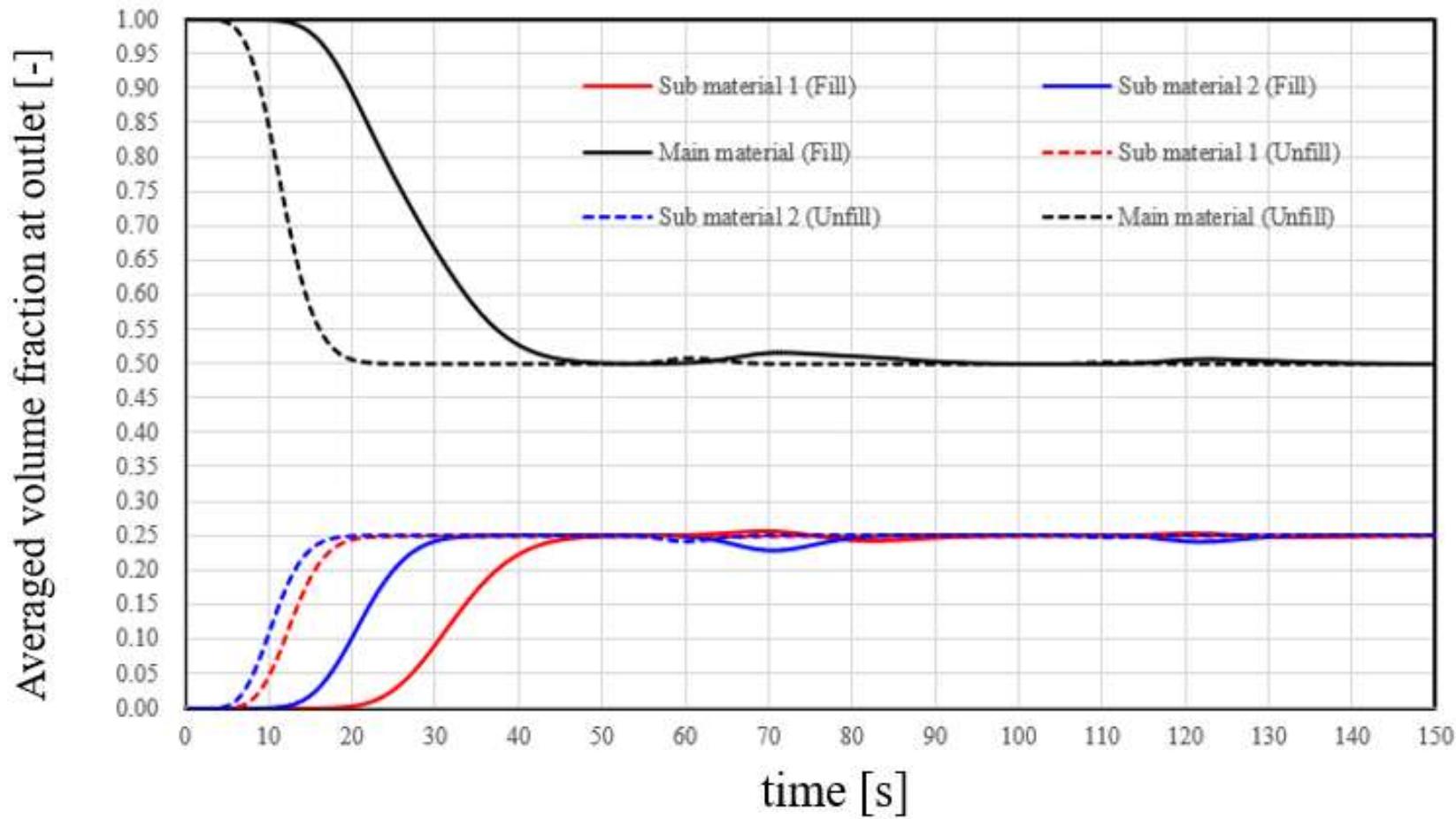
$\eta_m : 1000 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
 $\eta_{s1} : 500 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
 $\eta_{s2} : 200 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
 $\phi_{s1} : 0.25$
 $\phi_{s2} : 0.25$



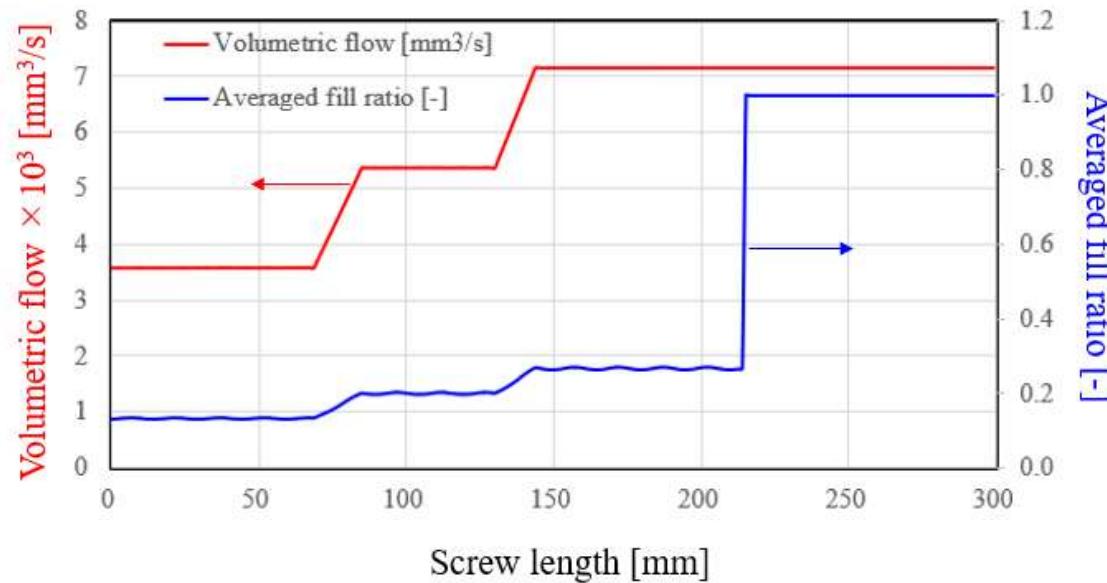
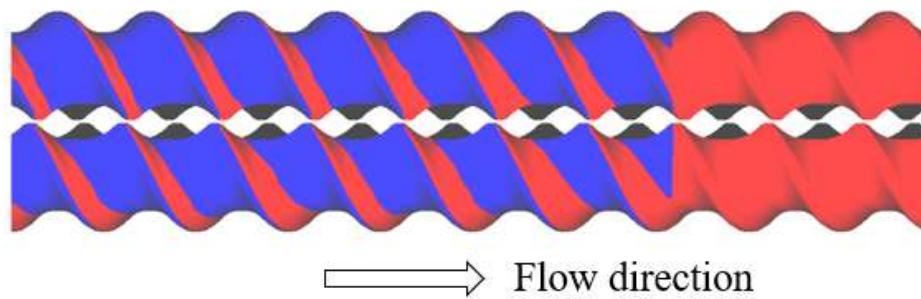
$$\begin{aligned}
 \eta &= 0.5 \times 1000 + 0.25 \times 500 + 0.25 \times 200 \\
 &= 500 + 125 + 50 = 675 \text{ Pa} \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$



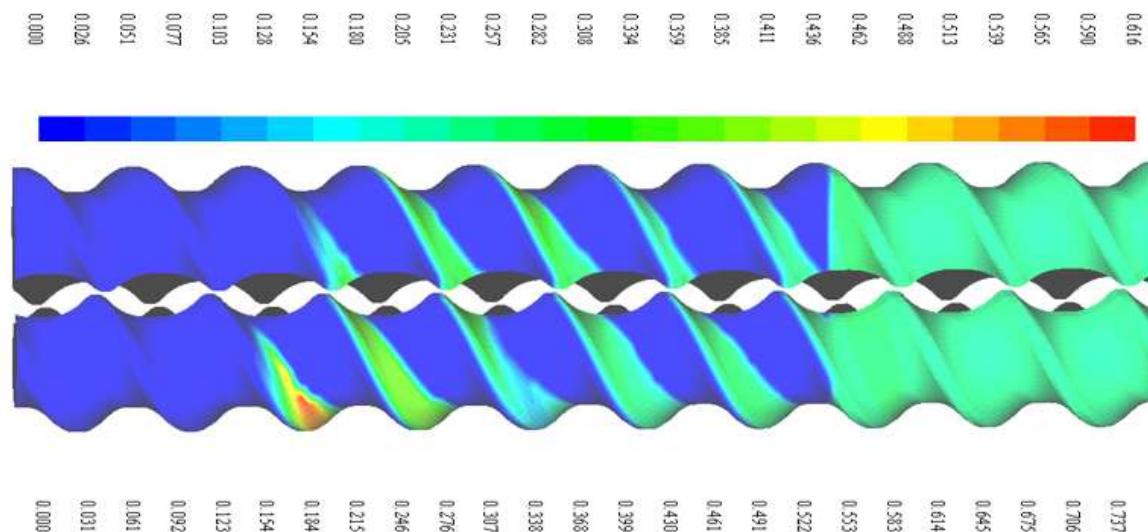
要素内副材体積総量の時間変化(充满解析と非充满解析結果の比較)



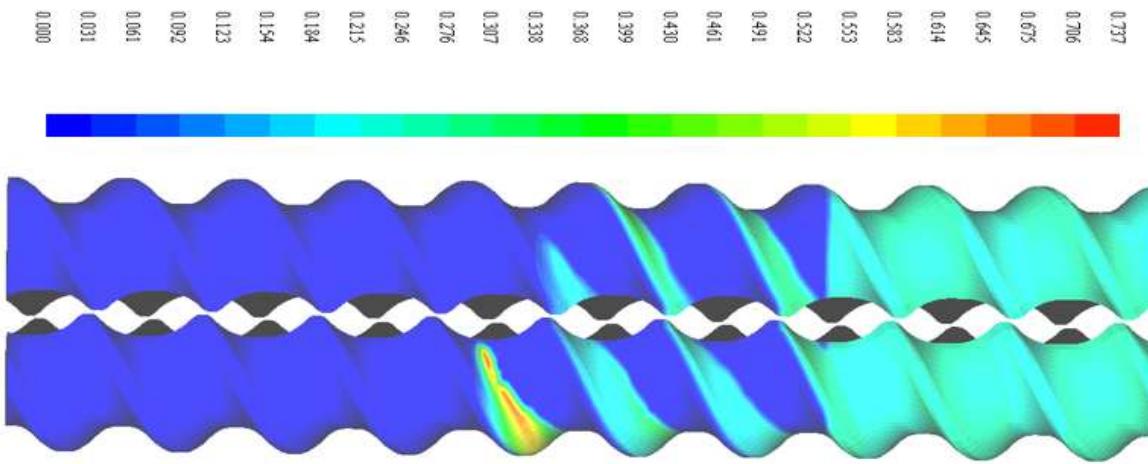
流出口で観察される各成分濃度(体積分率)の時間変化
(充满解析と非充满解析結果の比較)



スクリュ内軸垂直断面を通過する体積流量分布と 平均充満率分布

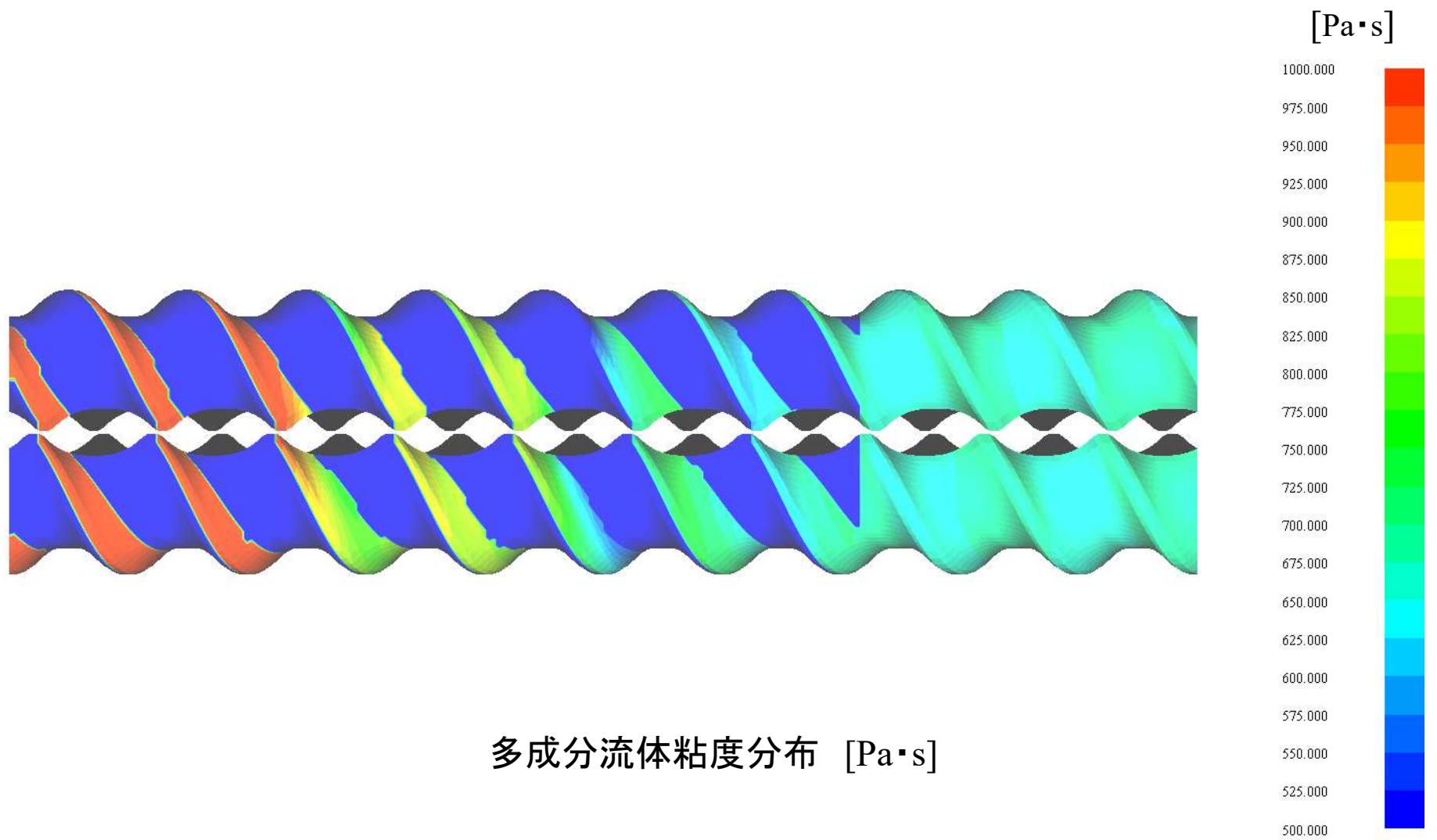


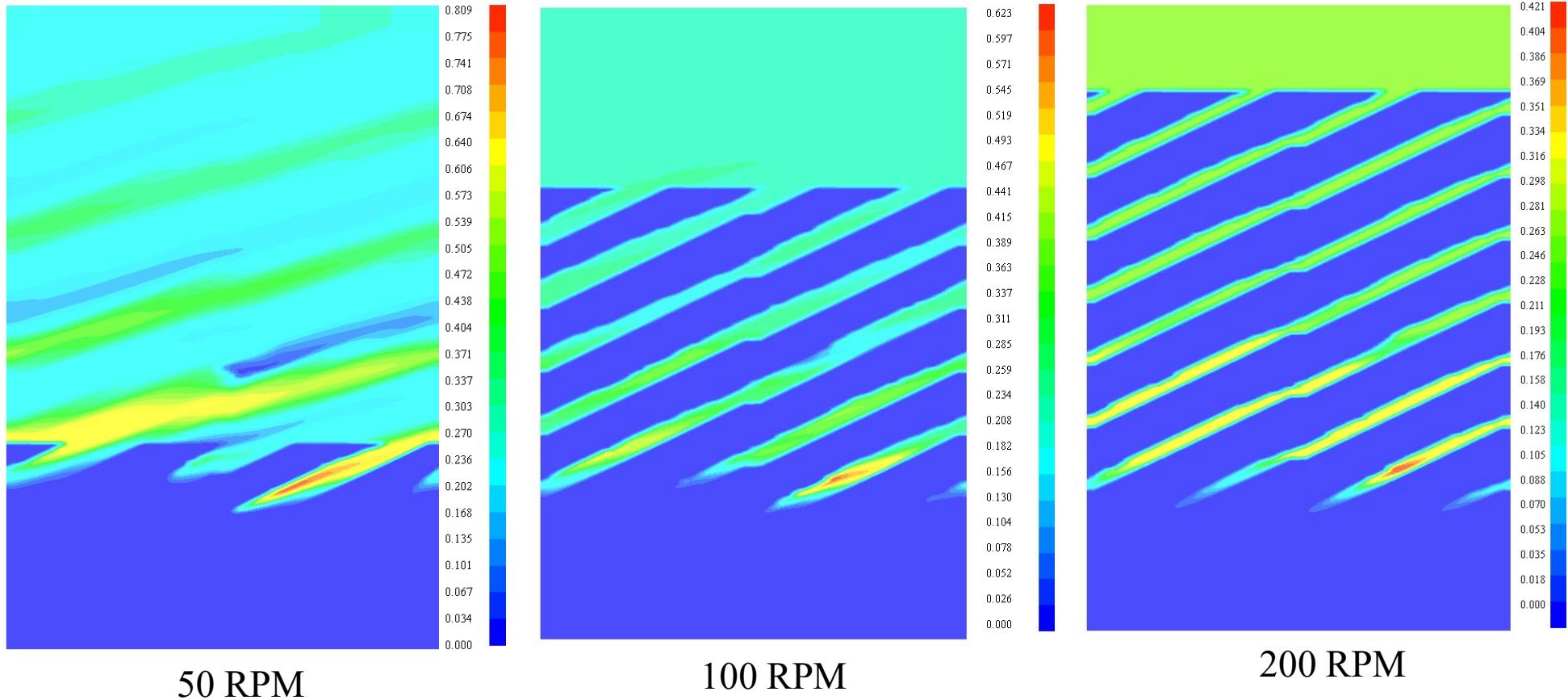
Sub material 1

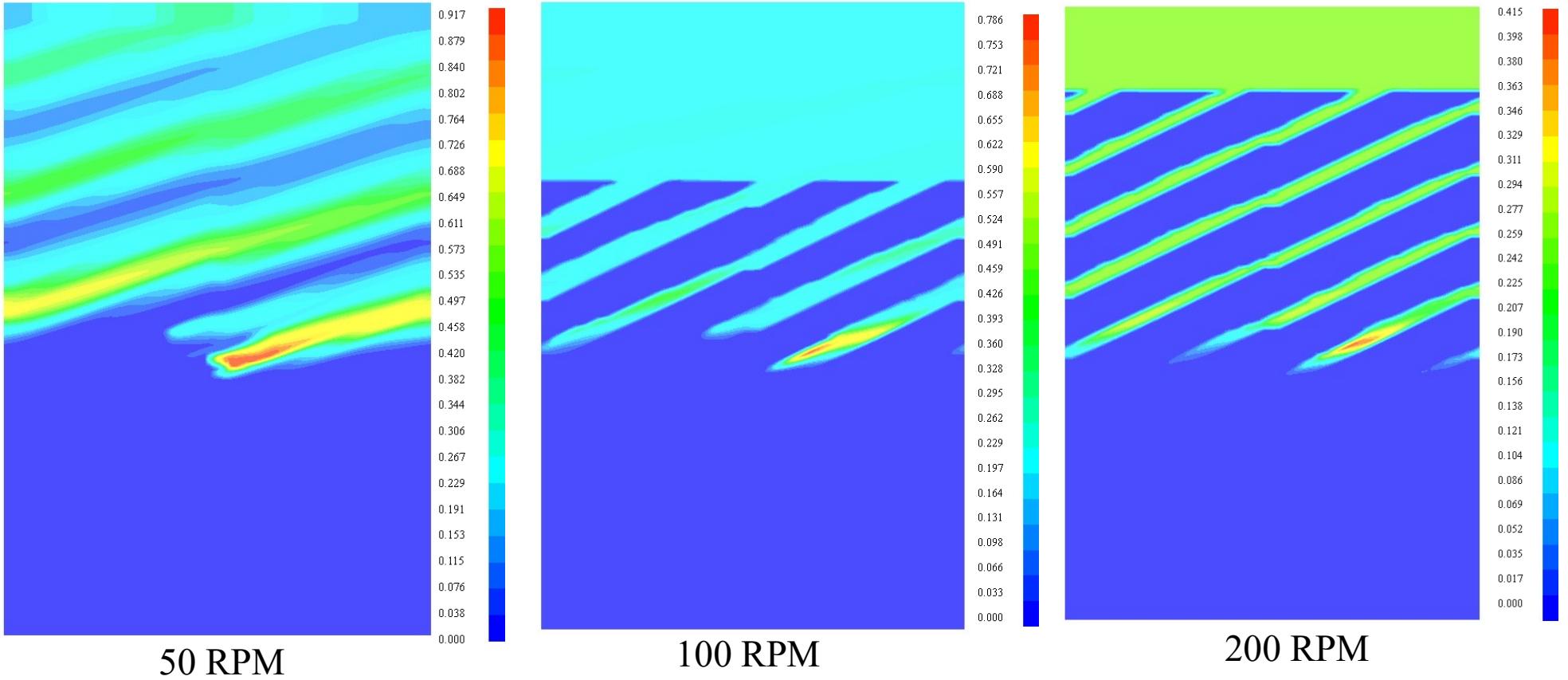


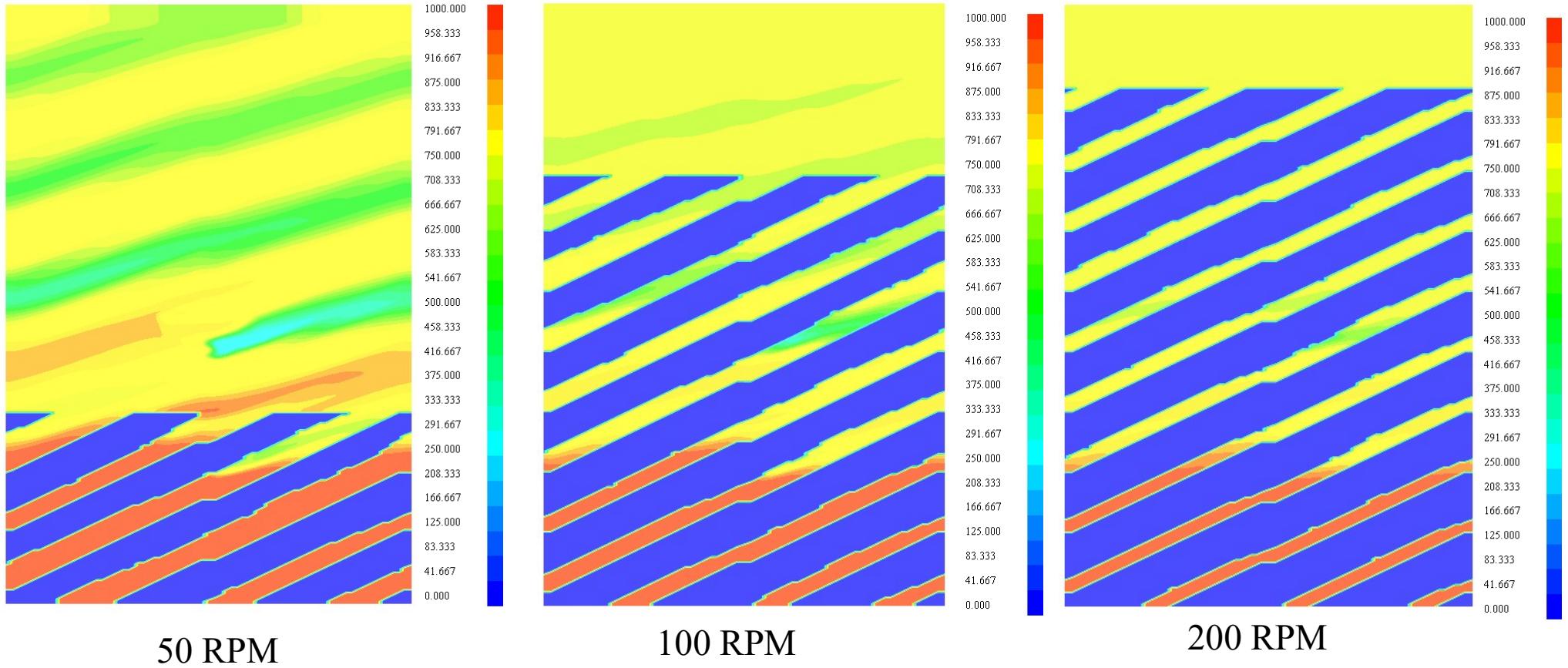
Sub material 2

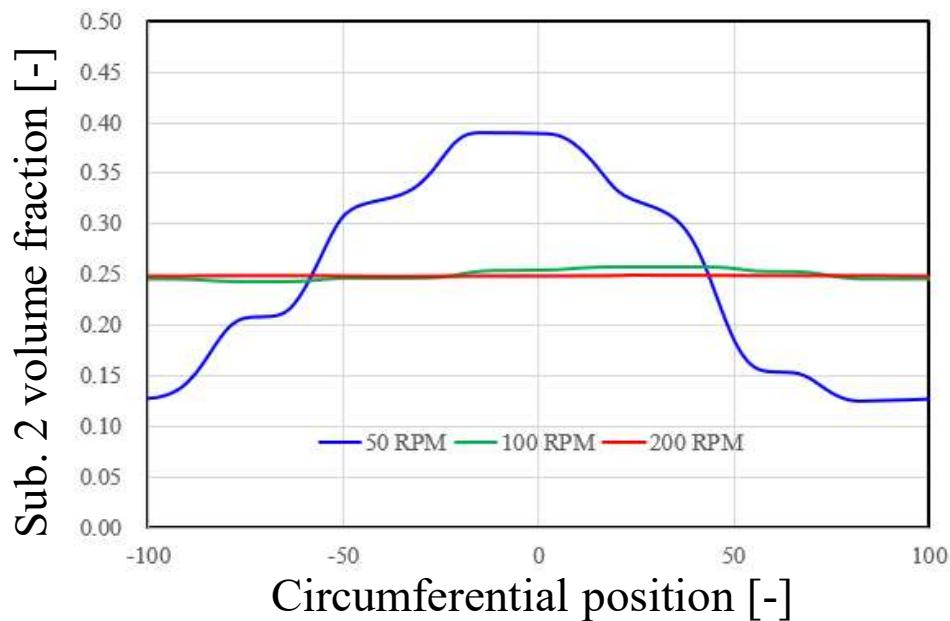
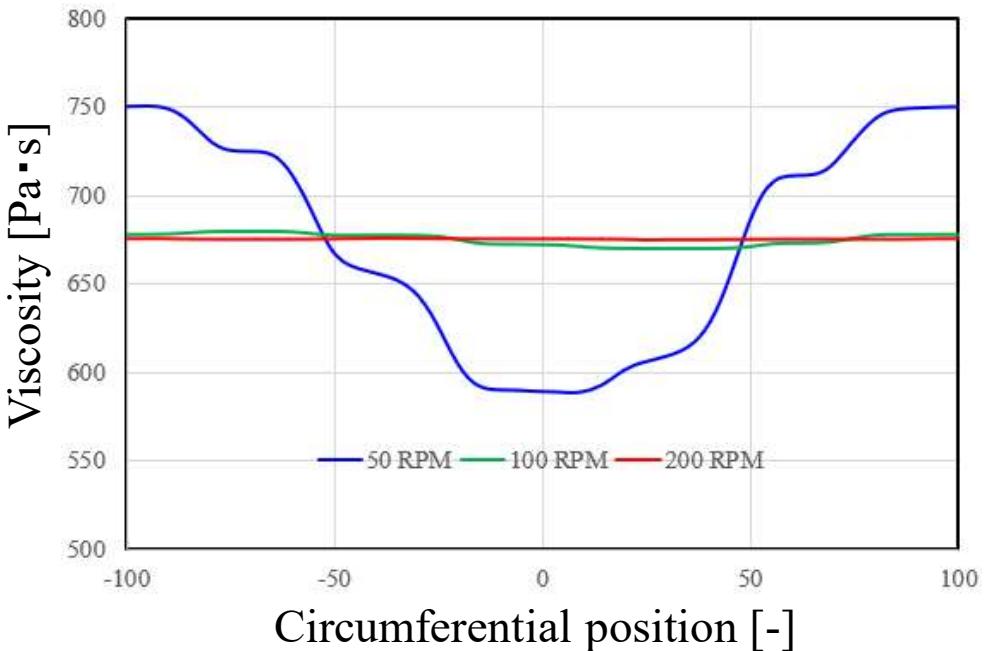
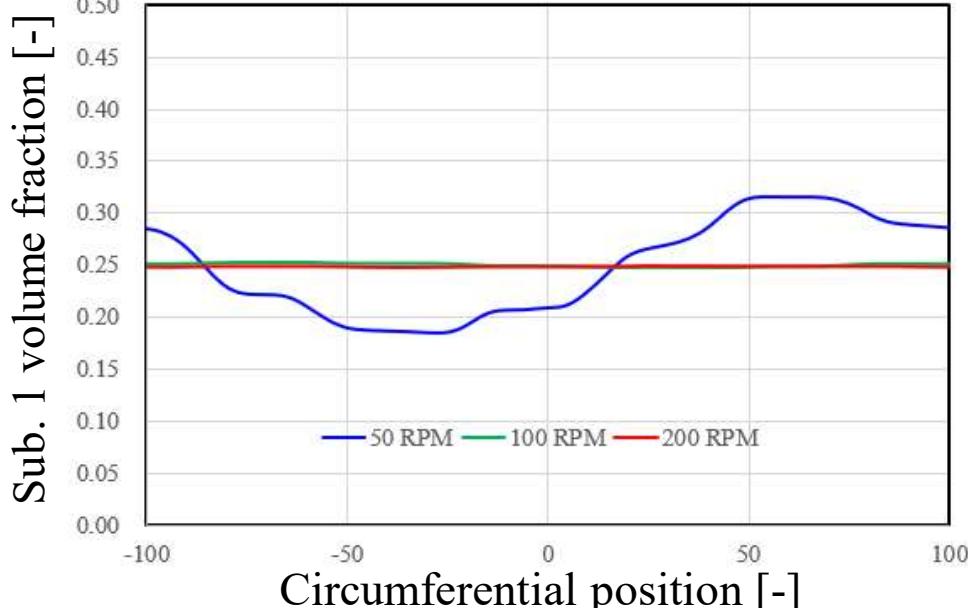
スクリュ内濃度(成分体積分率)分布 [-]









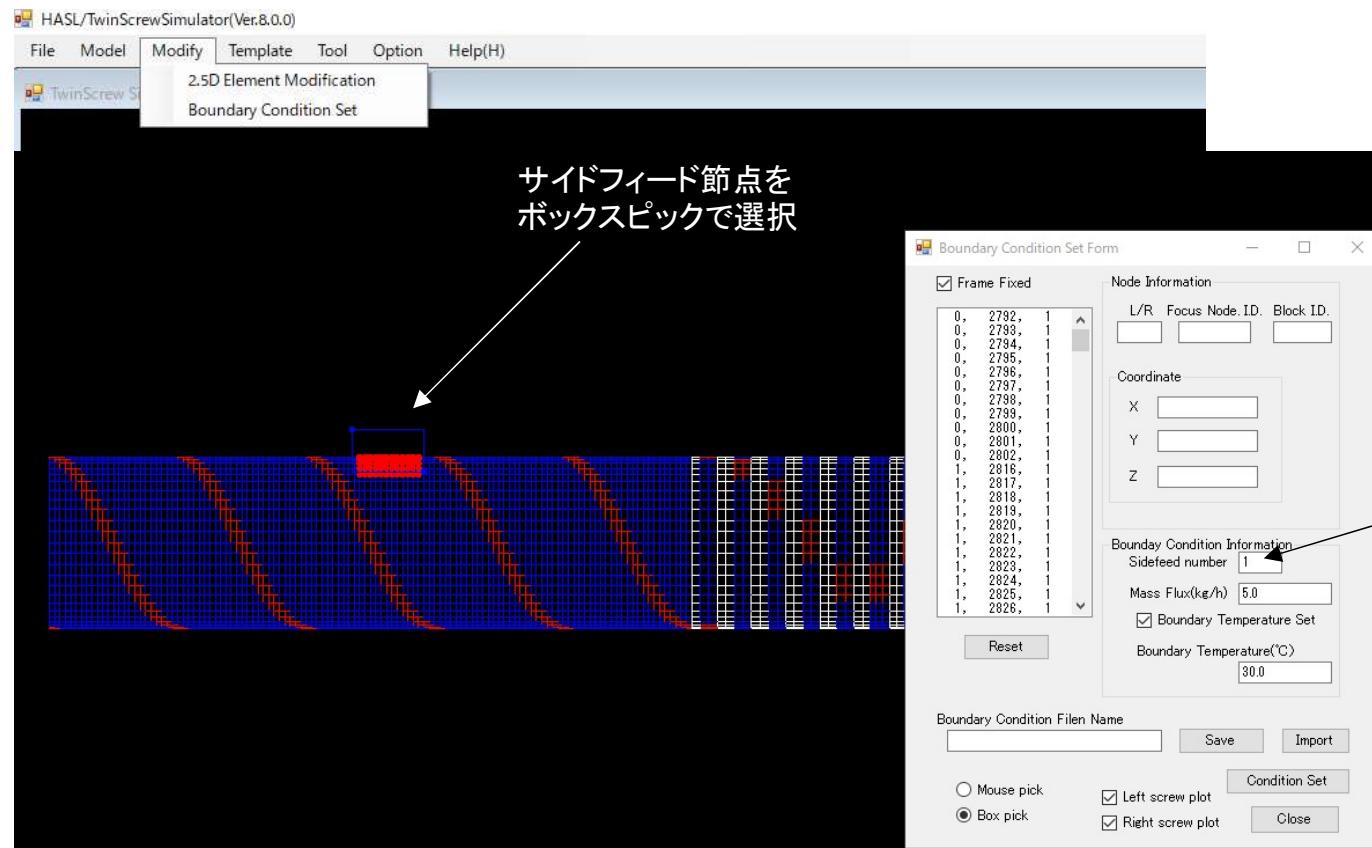


スクリュ流出口で予測される各種成分濃度分布と多成分流体粘度分布のスクリュ回転数依存性

多成分サイドフィード解析機能運用方法

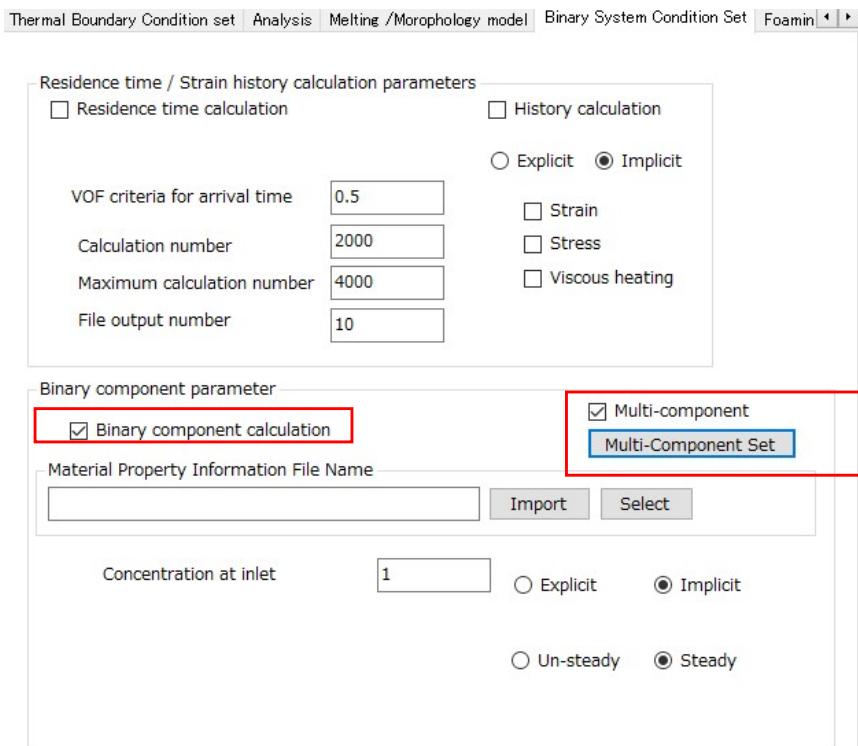
① サイドフィード位置の設定(従来通り)

メッシュ生成後、Modify/Boundary Condition Set をプルダウン選択して表示されるフォームにおいてボックスピックでサイドフィードに位置する節点を選択します。サイドフィード位置番号を1から順に2,3,⋯⋯と変更し、設定位置を変えることで、複数のサイドフィード条件の設定が可能です。設定後、メッシュファイルを保存します。

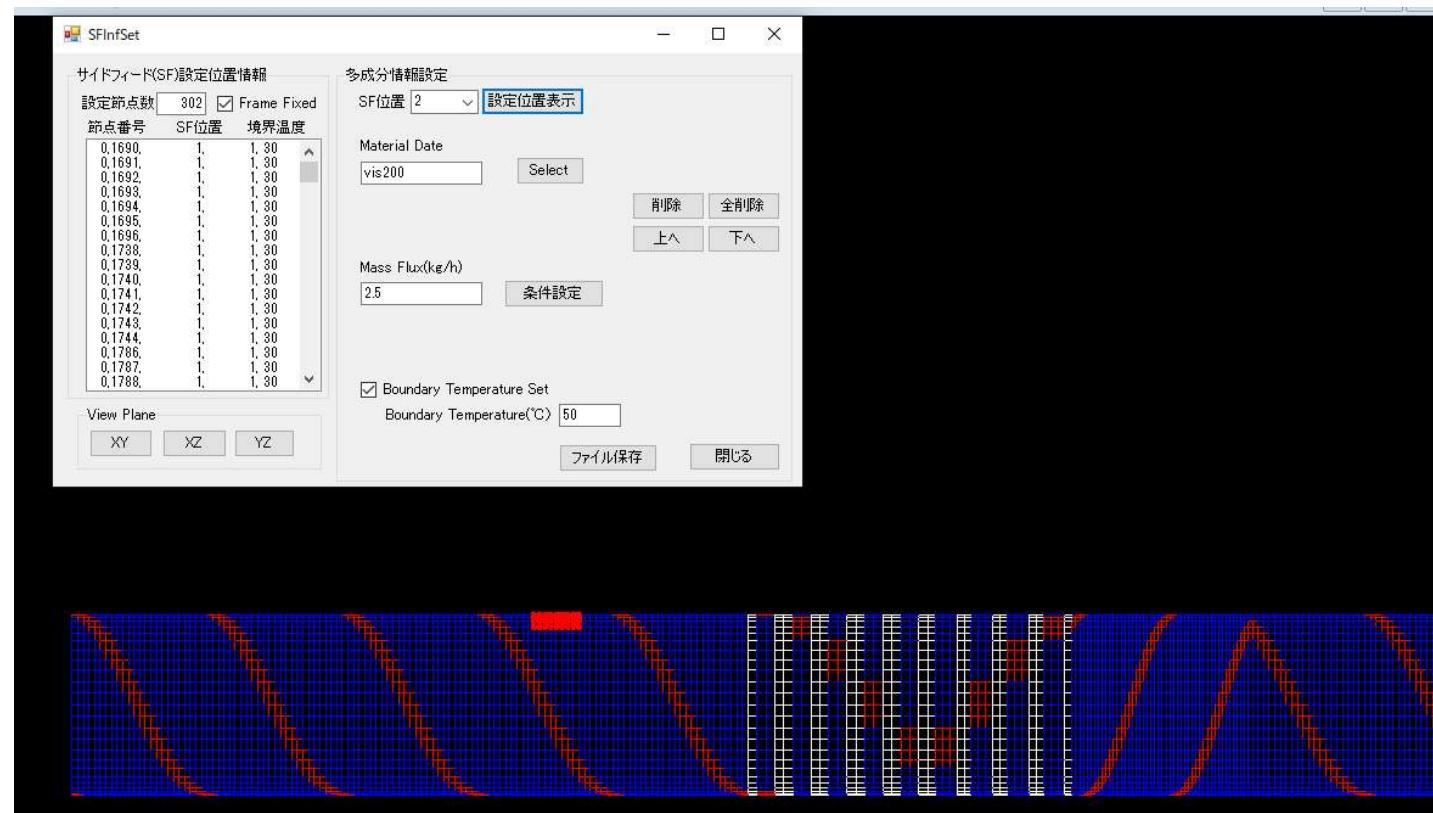


② 多成分情報の個別設定(新規実装機能)

従来通り、①で作成したサイドフィード解析用のメッシュデータをAnalysisタブメニューのModel information file name欄に設定し、Binary System Condition Setフォームで、Binary Component calculation とMulti-component チェックボックスをチェック状態とし、Multi-Component Set ボタンを押します。



Multi-Component Set ボタンを押して表示されるフォームにおいて、SF(サイドフィード)位置をコンボボックスで指定し、設定位置表示ボタンを押すと、下図に示す様に選択したサイドフィード位置(①で予め設定)の節点が表示されます。Material Dataに、Selectボタンを押して材料物性ファイル(Proファイル)を選択設定します。Mass Flux(kg/h)に押出量を設定した後、条件設定ボタンを押すと、表示されたサイドフィード位置の材料物性が設定されます。SF位置を変えて、同様の操作を繰り返し、全ての成分についての情報を設定します。設定後、ファイル保存ボタンを押すことで、設定情報がメッシュファイルに保存されます。このメッシュファイルは、元メッシュファイル名の末尾に”_multi”が自動的に付加されます。多層フィード解析では、末尾に”_multi”が付加されたメッシュファイルを利用します。



③ Binary System condition set タブメニューの設定(一部変更)

サイドフィード解析では、以下の何れかの設定を推奨します。

多成分材料の注入
濃度(体積分率)

Binary component parameter

Binary component calculation Multi-component

Material Property Information File Name Import Select

Concentration at inlet Explicit Implicit

Un-steady Steady

陰解法定常解析

多成分材料の注入
濃度(体積分率)

Binary component parameter

Binary component calculation Multi-component

Material Property Information File Name Import Select

Concentration at inlet Explicit Implicit

Non-stationary calculation cycle number Un-steady Steady

Time increment

陰解法非定常解析

新規出力ファイル

サイドフィード解析を行うと以下に示すテキストファイルが出力されます。これらの情報を利用して、MD方向の各種分布量や時間依存性などの出力が可能です。

解析結果ファイル名 + 拡張子(binaryinf) : 各種計算量 vs.MD position

	A	B	C	D	E	F
1	Z-posion (mm)	Viscosity(Pa · s)	Flux × 10^3 (mm^3/s)	Averaged fill ratio (-)	Averaged volume fraction (-)	
2	0.00E+00	999.5499	1.787502	6.61E-02	7.76E-03	3.48E-11
3	1.25	998.5311	1.787605	6.63E-02	7.76E-03	3.48E-11
4	2.5	998.0506	1.787585	6.67E-02	7.83E-03	3.53E-11
5	3.75	998.028	1.787788	6.72E-02	7.89E-03	3.58E-11
6	5	998.0108	1.787741	6.76E-02	7.93E-03	3.60E-11
7	6.25	997.9942	1.787765	6.79E-02	7.96E-03	3.63E-11
8	7.5	997.975	1.787822	6.79E-02	8.00E-03	3.66E-11
9	8.75	997.9517	1.787888	6.76E-02	8.05E-03	3.70E-11
10	10	997.9211	1.788075	6.72E-02	8.12E-03	3.75E-11
11	11.25	997.882	1.788216	6.67E-02	8.20E-03	3.81E-11
12	12.5	997.8286	1.788013	6.63E-02	8.32E-03	3.89E-11
13	13.75	997.7575	1.78801	6.62E-02	8.48E-03	4.01E-11
14	15	997.662	1.787896	6.62E-02	8.69E-03	4.16E-11
15	16.25	997.5368	1.787793	6.63E-02	8.97E-03	4.36E-11

解析結果ファイル名 + 拡張子(comptimed) : 各種計算量 vs. time **注) 非定常解析時のみ出力**

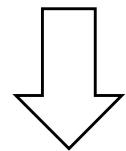
成分1

成分2

A	B	C	D	E	F	G
time (s)	Inlet Volume (mm ³)	Calculated volume (mm ³)	Average volume fraction (-)	Inlet Volume (mm ³)	Calculated volume (mm ³)	Average volume fraction (-)
1	893.7509	893.7984	5.50E-17	893.7509	893.7446	1.26E-15
2	1787.502	1787.692	1.49E-15	1787.502	1787.493	3.08E-14
3	2681.253	2681.69	2.05E-14	2681.253	2681.22	3.84E-13
4	3575.004	3575.809	1.92E-13	3575.004	3574.977	3.25E-12
5	4468.755	4469.995	1.37E-12	4468.755	4468.693	2.10E-11
6	5362.505	5364.289	7.92E-12	5362.505	5362.453	1.11E-10
7	6256.256	6258.673	3.89E-11	6256.256	6256.165	4.97E-10
8	7150.007	7153.134	1.66E-10	7150.007	7149.893	1.94E-09
9	8043.758	8047.583	6.34E-10	8043.758	8043.512	6.77E-09
10						

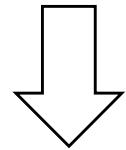
輸送方程式の簡略化

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = G(F)$$



定常状態に着目

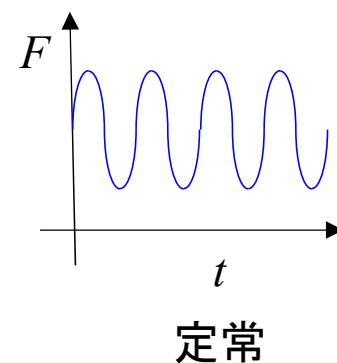
$$\frac{DF}{Dt} = u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = G(F)$$



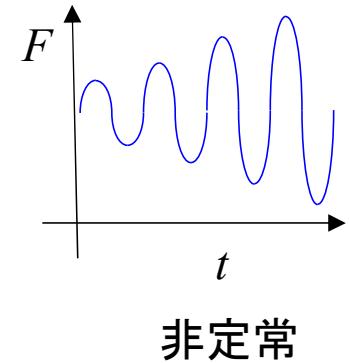
スクリュ軸方向zに対するFの分布状態に着目

$$w \frac{\partial F}{\partial z} = G(F)$$

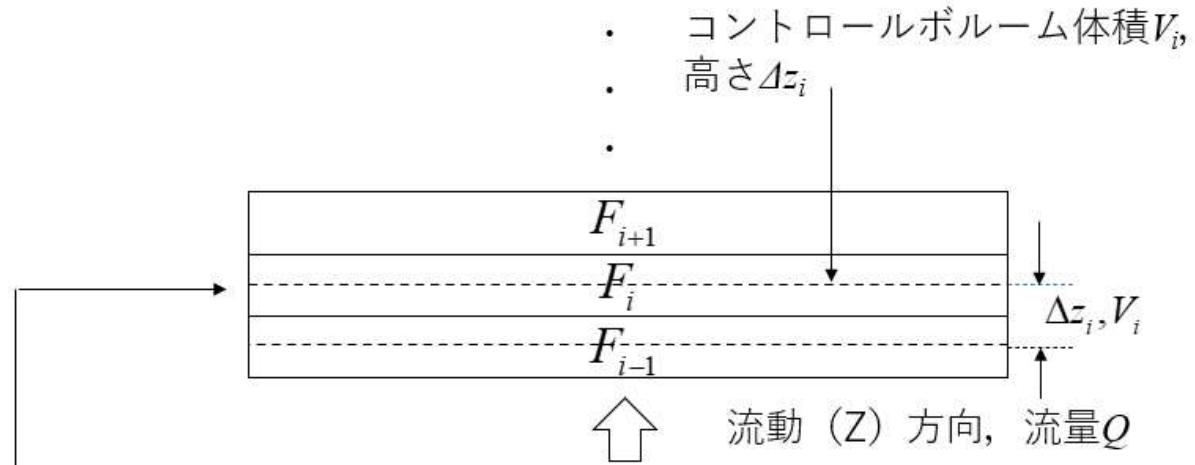
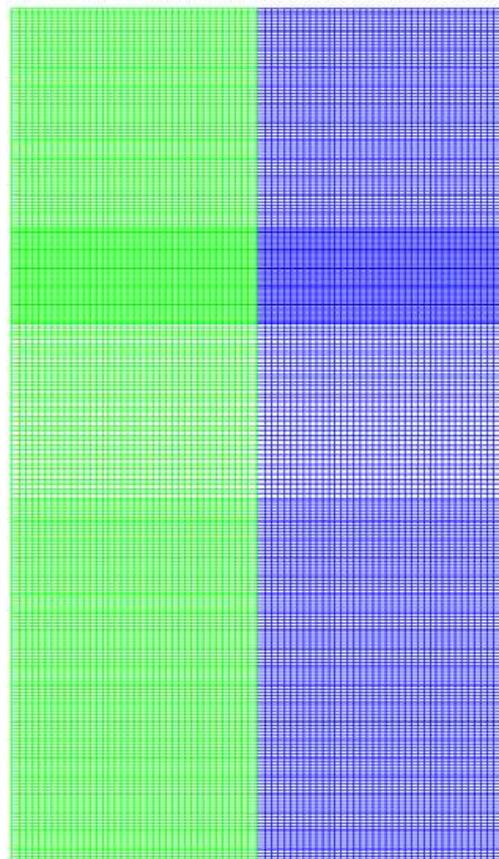
非定常流とは、速度、圧力などの状態量が、場所のみならず、時間によっても変化する流れである。但し、等速並進運動または等速回転運動する座標系に変換すれば定常流となるような流れは、普通、非定常流とは呼ばれない。



定常



非定常



$$w \frac{\partial F}{\partial z} \cong w_i \frac{F_i - F_{i-1}}{\Delta z_i} = G(F_i)$$

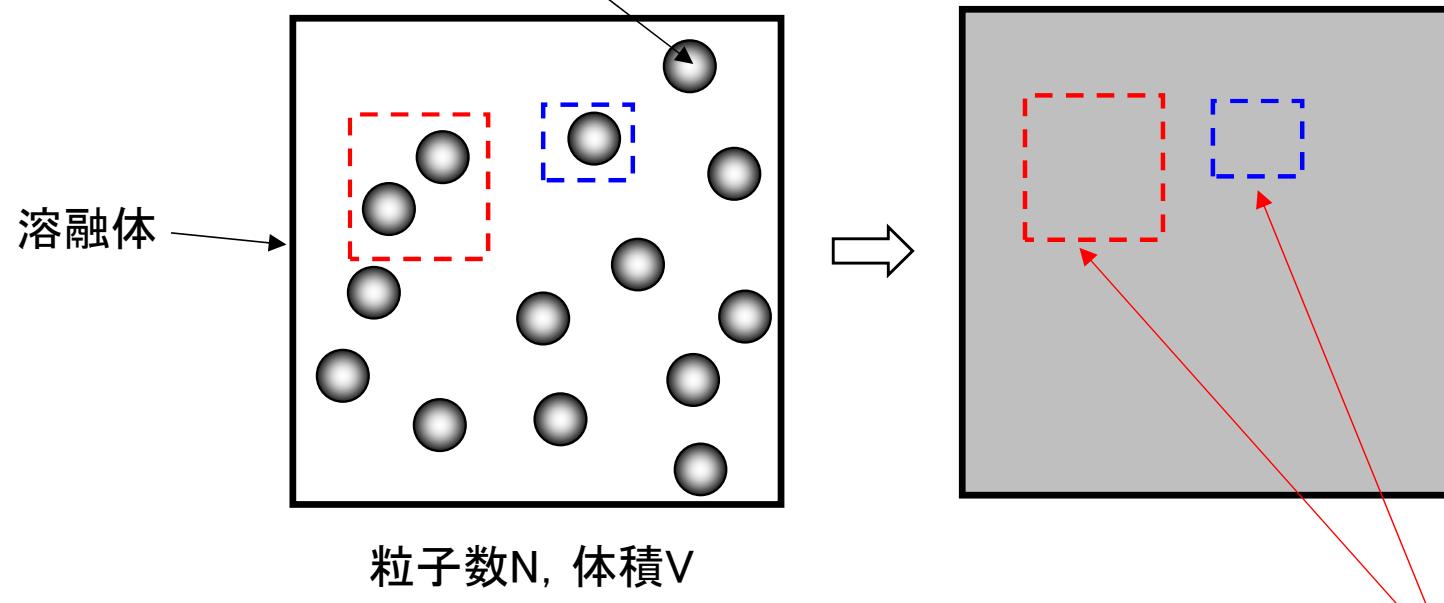
風上差分近似

$$w_i S_i = w_i \frac{V_i}{\Delta z_i} = Q \quad : \text{質量(流量)保存則}$$

$$\therefore \frac{Q}{V_i} (F_i - F_{i-1}) = G(F_i)$$

(2) 溶融可塑化解析機能(High Concentration Suspension Melting Model) Revised Version

ペレット(半径 R_s の球体粒子にモデル化)



粒子数N, 体積V

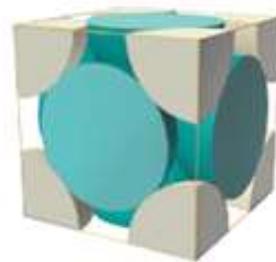
$$\text{単位体積内の粒子数: } n = \frac{N}{V} [1/m^3] \quad (1)$$

$$\text{固体の体積分率: } \phi_s = \frac{V_s}{V} = \frac{\frac{4\pi}{3} R_s^3 N}{V} = \frac{4\pi}{3} n R_s^3 [-] \quad (2)$$

$$\phi_s \leq \phi_m \quad (3)$$

$$\phi_m = \frac{\pi}{\sqrt{18}} \approx 0.74 \text{ Face centered cubic}$$

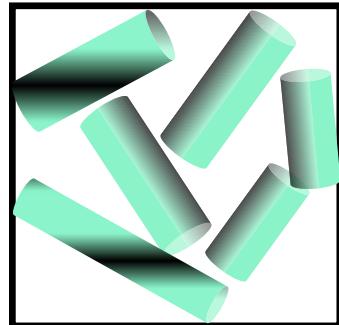
立方最密充填or六方最密充填



ケプラー予想：球に対してこの配置が最密充填(1611年)、
2014年8月10日にヘイルズ(ミシガン大学)らによって証明完結

$$\phi_m \approx 0.64 \quad \text{Random close packing}$$

固体密度: ρ_s
嵩密度: ρ_{bulk}



バルク体積V

固体体積Vs

質量保存則: $\rho_{bulk}V = \rho_s V_s$

$$\therefore \rho_{bulk} = \rho_s \frac{V_s}{V} = \rho_s \phi_s \quad (4)$$

モデル化上の嵩密度適正值

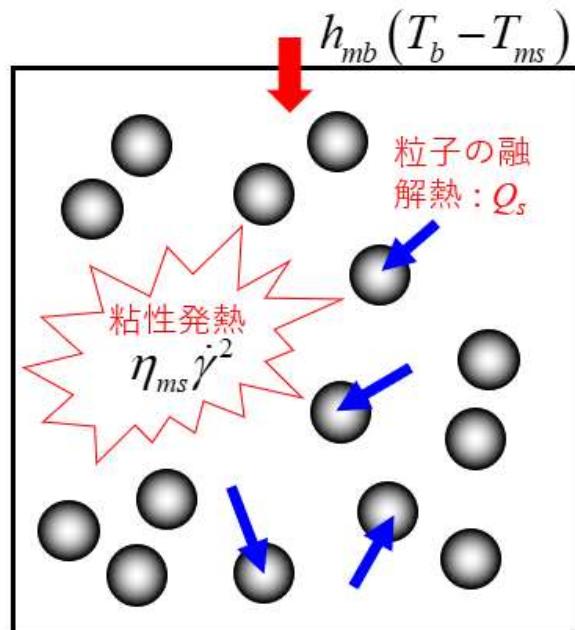
$$\rho_{bulk} \leq \rho_s \phi_m = 0.74 \rho_s$$

$$\rho_{bulk} = 0.64 \rho_s$$

固体粒子連続体/固液2相流体のエネルギー一方程式

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{bulk} C_{ps} \frac{DT_s}{Dt} = \frac{S}{V} h_{sb} (T_b - T_s) \text{ for } T_{ms} = T_s < T_{melt} \\ \rho_{ms} C_{pms} \frac{DT_{ms}}{Dt} = \frac{S}{V} h_{msb} (T_b - T_{ms}) + (1 - \phi_s) \eta_{ms} \dot{\gamma}^2 - \phi_s Q_s \text{ for } T_{ms} \geq T_{melt}, T_s = T_{melt} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{昇温(固体)Phase} \\ \text{溶融可塑化Phase} \end{array} \quad (5)$$

バレル側：熱伝達境界



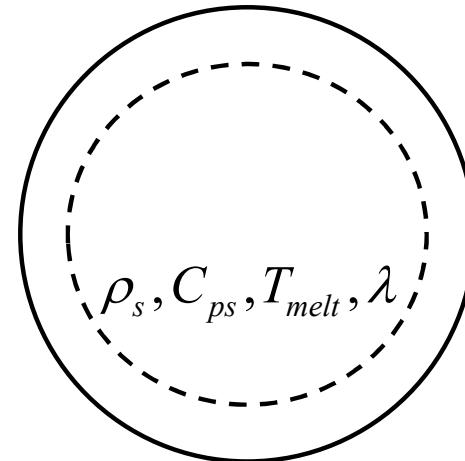
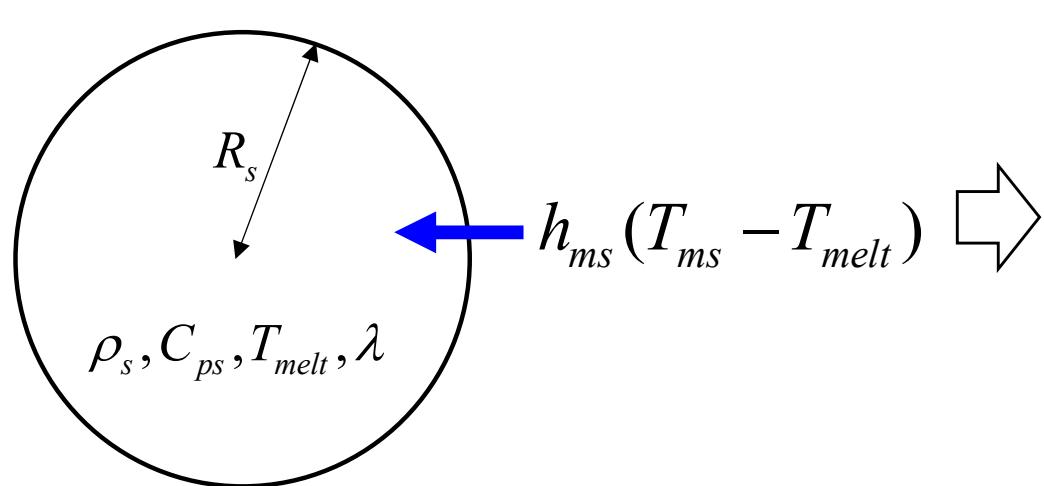
ρ_{bulk}	嵩密度 [kg/m³]	ρ_{ms}	2相流体の密度 [kg/m³]
C_{ps}	固体の比熱 [J/kg/K]	C_{pms}	2相流体の比熱 [J/kg/K]
T_s	固体の温度 [K]	T_{ms}	2相流体の温度 [K]
h_{sb}	固体とバレル間の熱伝達率 [W/m²/K]	h_{msb}	2相流体とバレル間の熱伝達率 [W/m²/K]
S	連続体とバレルとの接触面積[m²]	T_b	バレル設定温度[K]
V	連続体の体積 [m³]	ϕ_s	固体体積分率 [-]
η_{ms}	2相流体の粘度 [Pa · s]	$\dot{\gamma}$	ひずみ速度 [1/s]
Q_s	固体の融解に費やされる単位体積当たりのエネルギー [W/m³]		

固体粒子の溶融可塑化モデル

$$\underbrace{4\pi R^2 \frac{DR}{Dt} \rho_s (C_{ps} T_{melt} + \lambda)}_{\text{球体表層殻が溶融体に変化することで失う単位時間当たりの熱エネルギー} < 0} + \underbrace{4\pi R^2 h_{ms} (T_{ms} - T_{melt})}_{\text{固体粒子周囲の2相流体から受ける単位時間当たりの熱エネルギー} > 0} = 0 \quad (6)$$

球体表層殻が溶融体に変化することで失う単位時間当たりの熱エネルギー < 0

固体粒子周囲の2相流体から受ける単位時間当たりの熱エネルギー $= \frac{4}{3}\pi R^3 Q_s > 0$



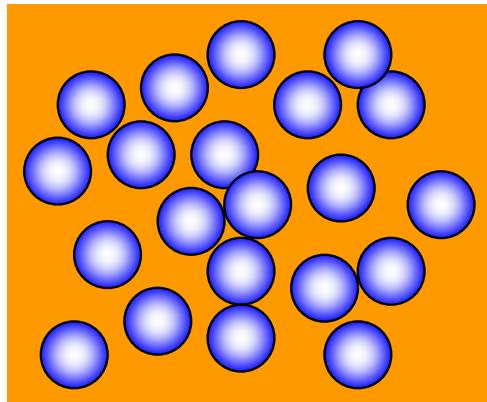
λ : 潜熱 [W/kg]
 h_{ms} : 热伝達率 [W/m²/K]

固体粒子連続体・固液2相流体の熱物性

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{ms} = \phi_s \rho_s \text{ for } T_s < T_{melt} \\ C_{pms} = \phi_s C_{ps} \text{ for } T_s < T_{melt} \\ \rho_{ms} = (1 - \phi_s) \rho_m + \phi_s \rho_s \text{ for } T_{ms} \geq T_{melt}, T_s = T_{melt} \\ C_{pms} = (1 - \phi_s) C_{pm} + \phi_s C_{ps} \text{ for } T_{ms} \geq T_{melt}, T_s = T_{melt} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{昇温(固体)Phase} \\ (7) \\ \text{溶融可塑化Phase} \end{array}$$

ρ_m : 溶融体の密度 [kg/m³] ρ_s : 固体の密度 [kg/m³]
 C_{pm} : 溶融体の比熱 [J/kg/K] C_{ps} : 固体の比熱 [J/kg/K]

固液2相流体の粘度



未溶融ペレット(球体にモデル化)



溶融体

Einstein model (希薄系)

$$\eta_r = 1 + [\eta]\phi$$

Krieger-Dougherty model^{*)}(濃厚系)

$$\eta_r = \left(1 - \frac{\phi}{\phi_m} \right)^{-[\eta]\phi_m} \quad (9)$$

$[\eta]$: 固有粘度(球の場合2.5)
 ϕ : 粒子体積濃度= ϕ_s
 ϕ_m : 最密充填体積濃度

未溶融ペレットを含む溶融体を粘度 η の
濃厚サスペンションとしてモデル化

$$\eta_{ms} = \eta_r \eta_m \quad (8)$$

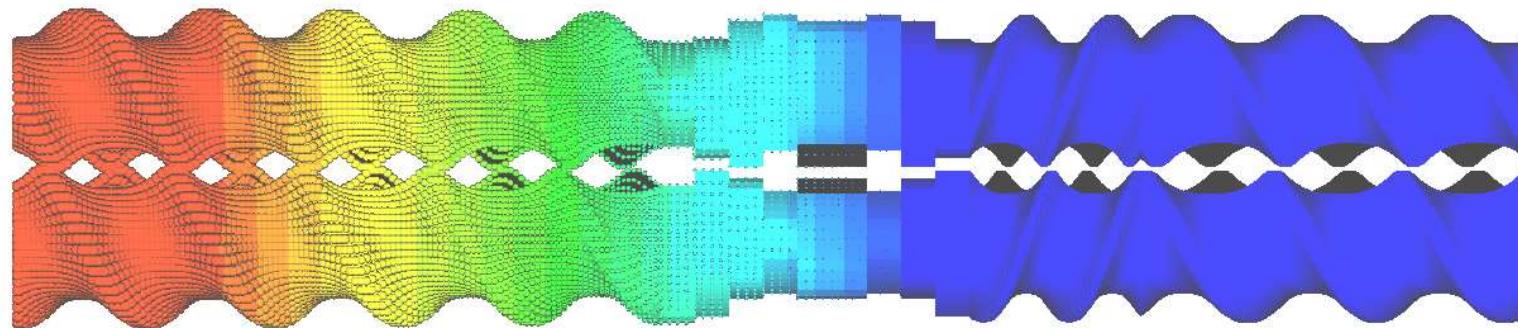
サスペンション粘度

相対粘度

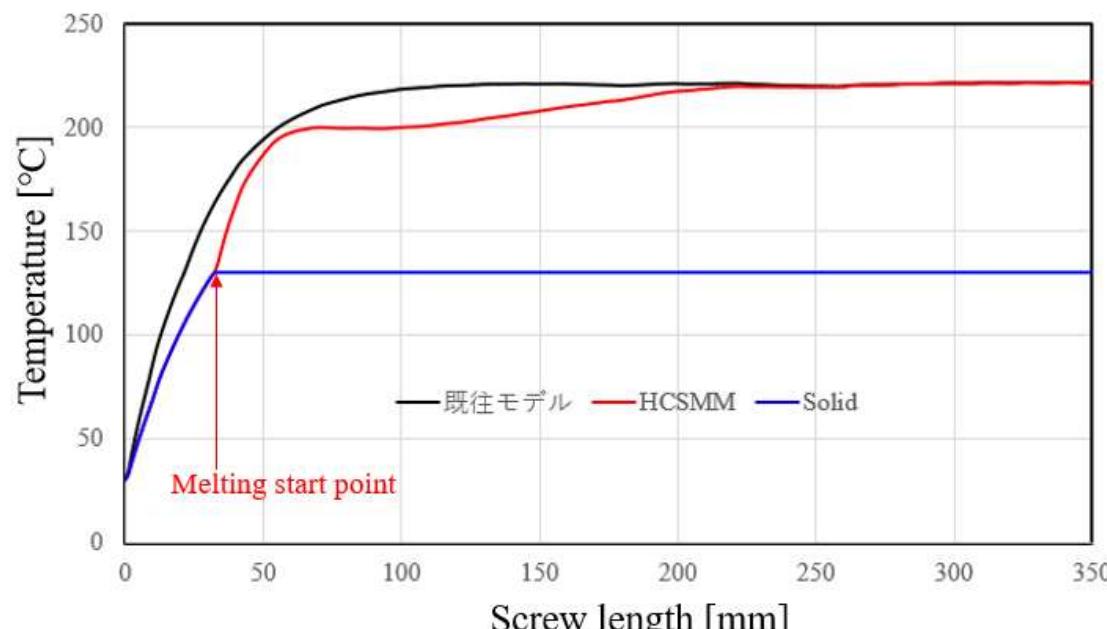
溶融体粘度

*) I.M. Krieger and T.J. Dougherty, *Trans. Soc. Rheol.*, 3, 137-152(1959)

テスト解析結果

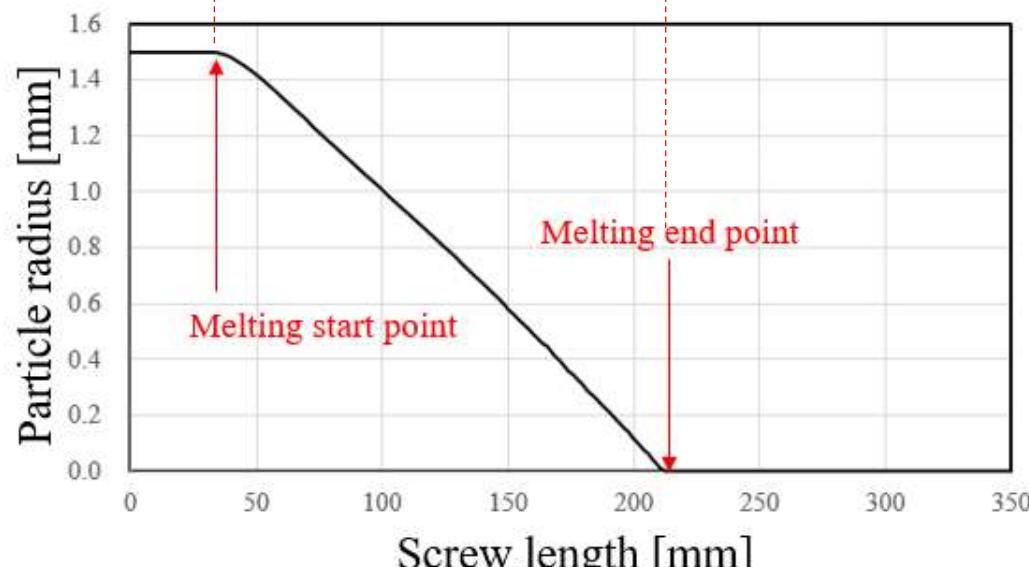
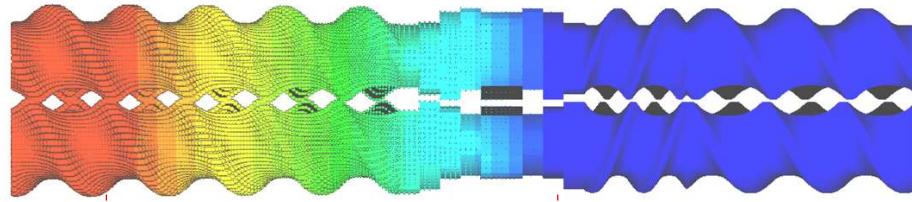


ペレット粒子径分布

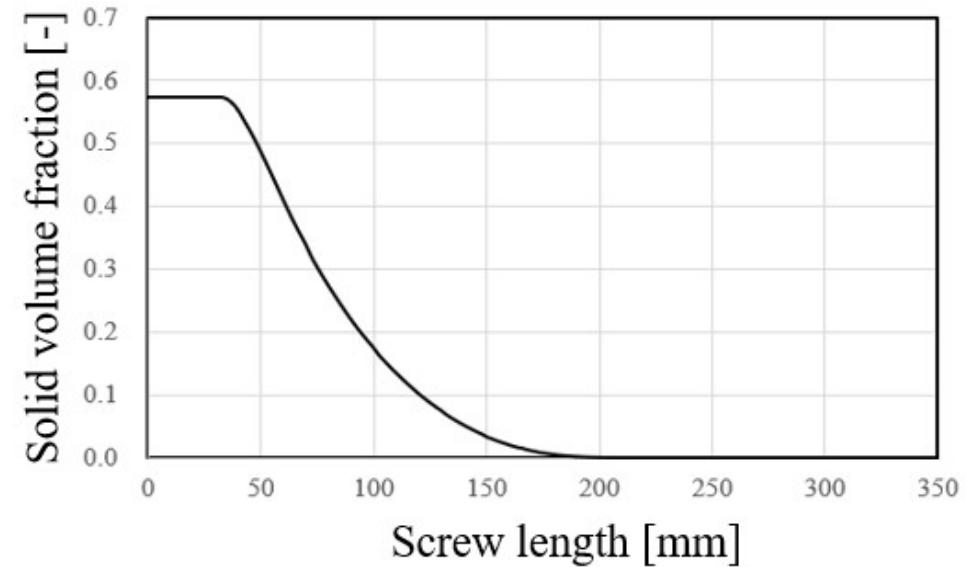


温度分布

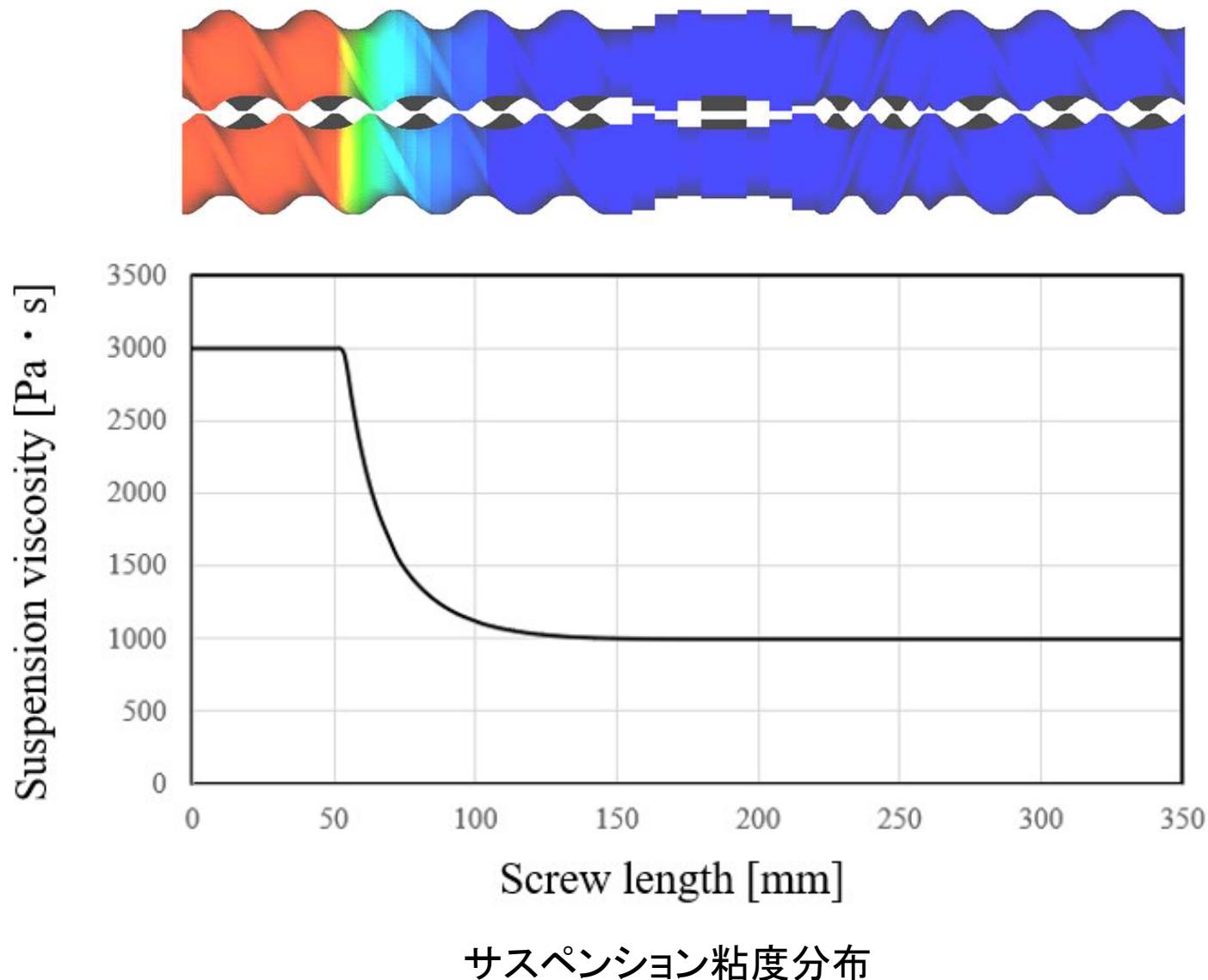
10kg/h mass flux fixed
100 RPM
 $H_{mb} = H_{sb}$: 1500 W/m²/K
 H_{ms} : 200 W/m²/K
 T_b : 200 °C
 η_m : 1000 Pa · s



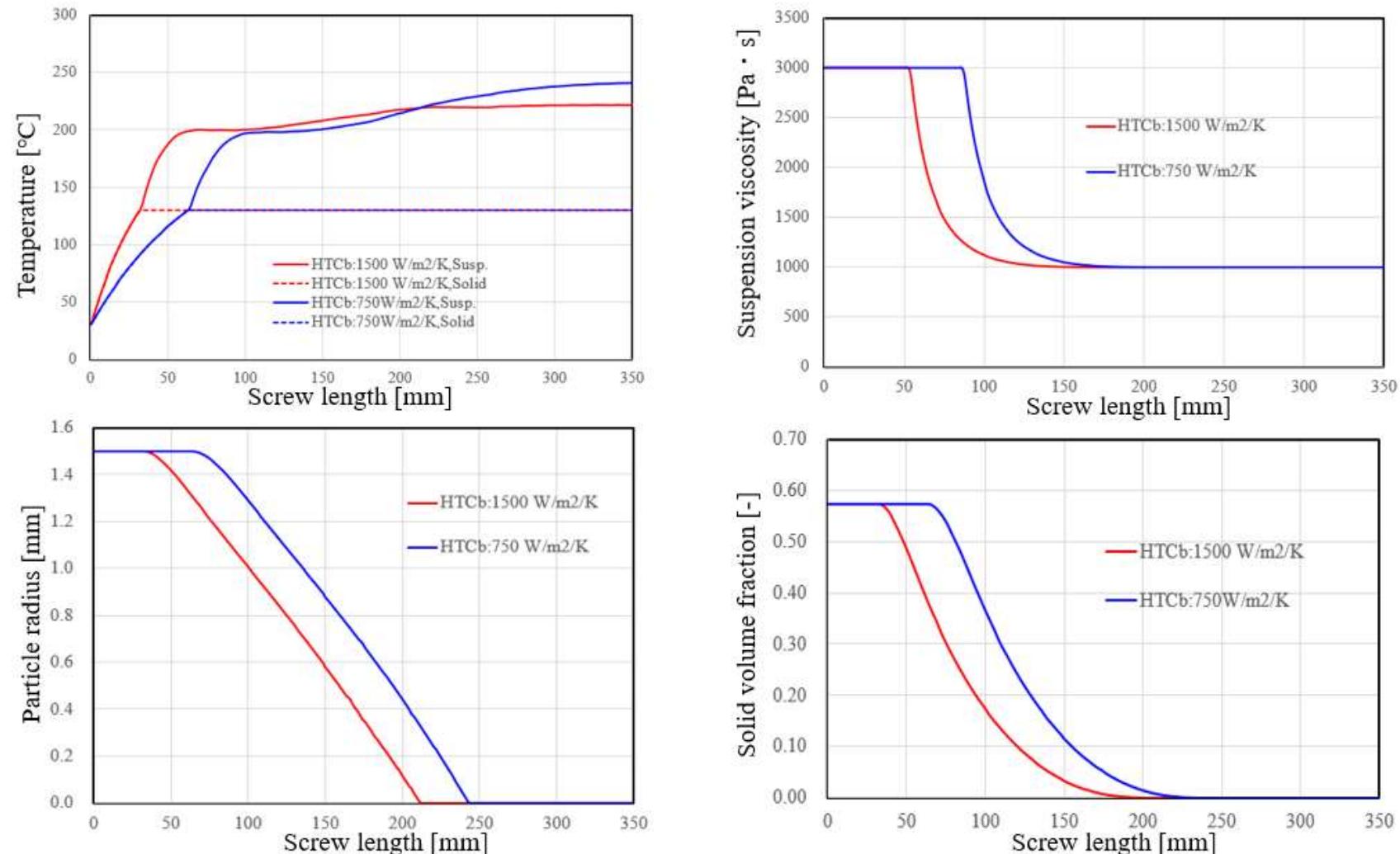
ペレット粒子径分布



固体(ペレット粒子)体積分率分布

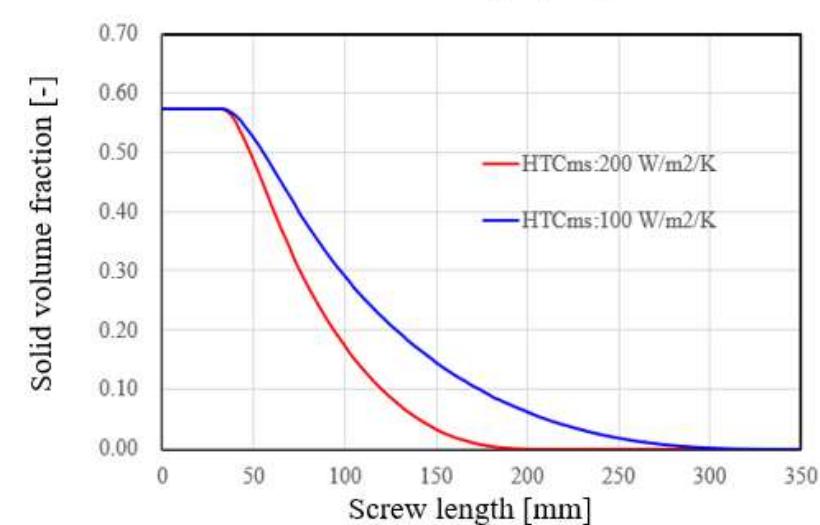
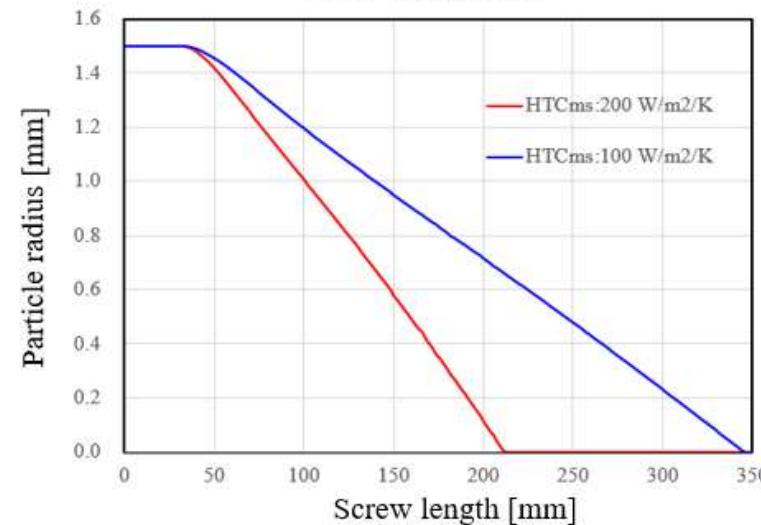
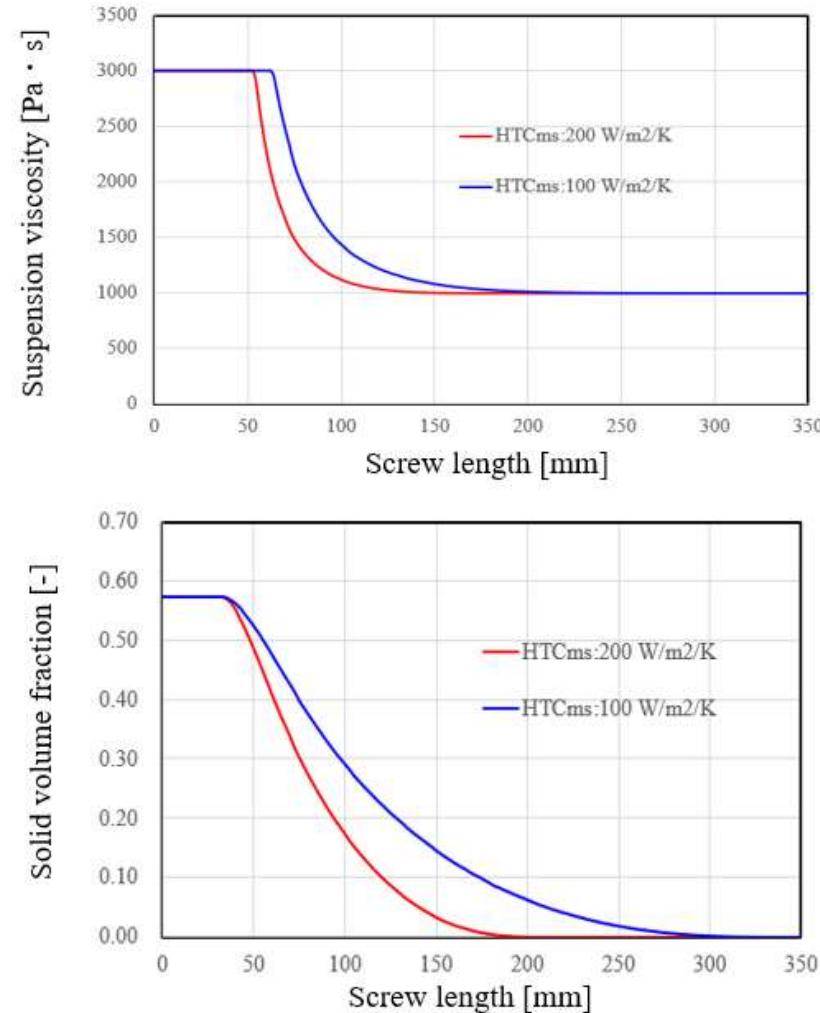
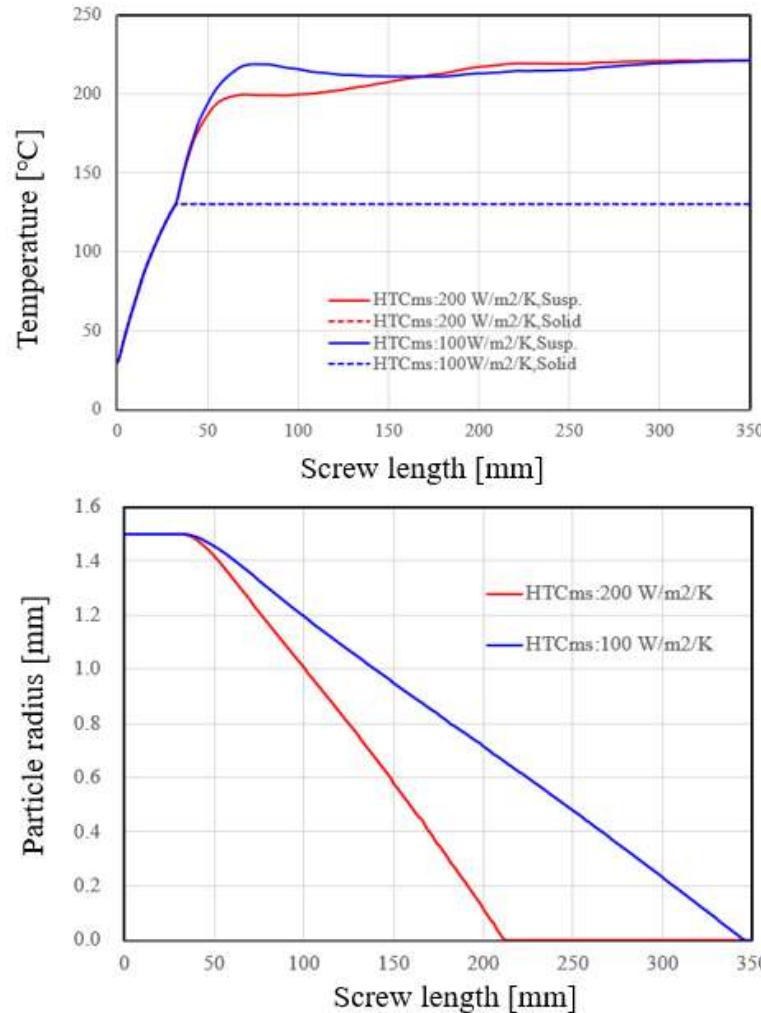


バレルとの熱伝達係数の変化の影響($HTC_b: 1500 \text{ W/m}^2/\text{K} \rightarrow 750 \text{ W/m}^2/\text{K}$): 外部境界との伝熱効果低減



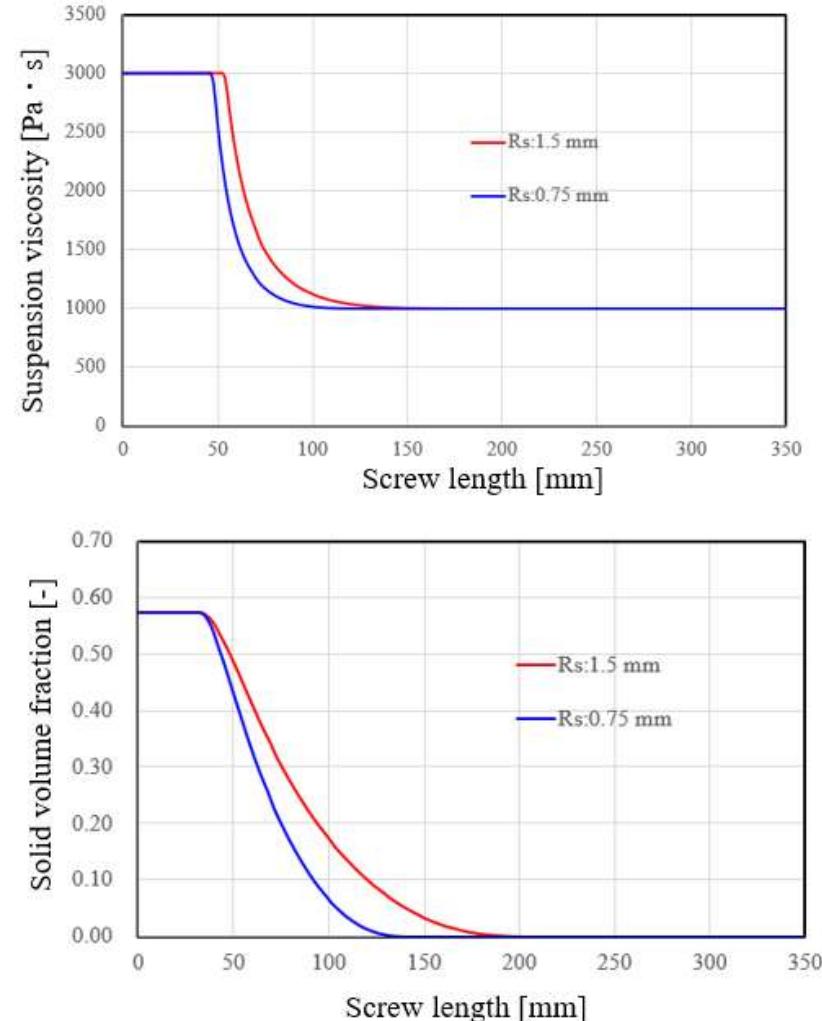
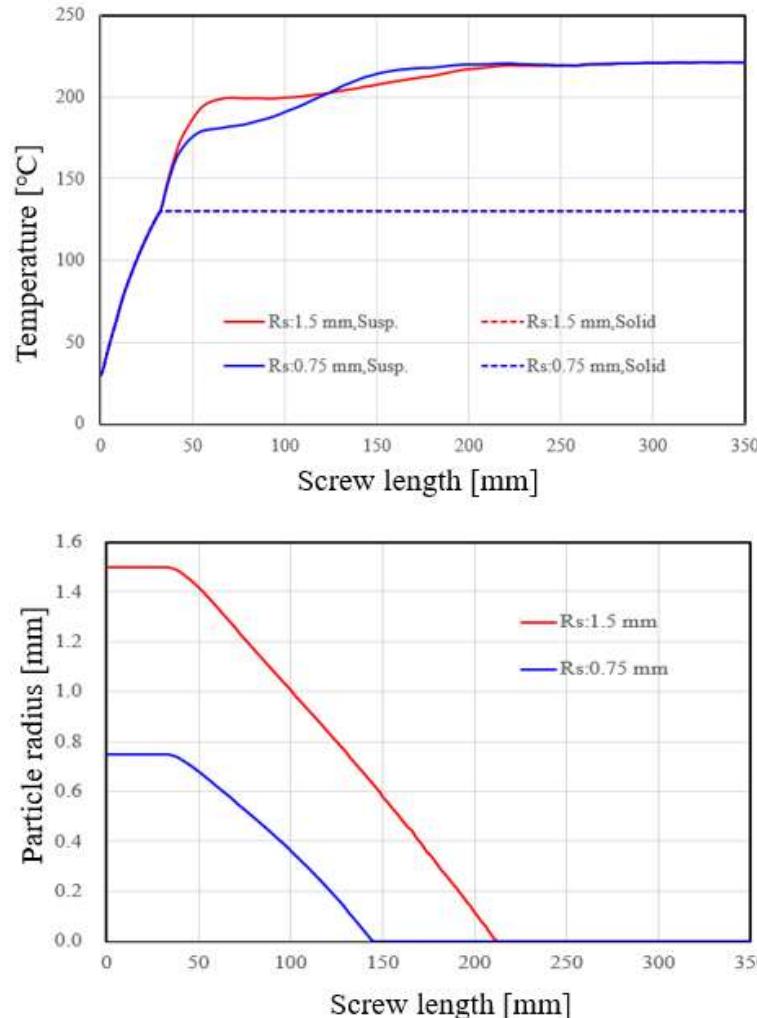
バレルとの熱伝達係数の減少に伴って、溶融可塑化は遅延する。上流側ではバレル側からの伝熱効果が減少するため、サスペンションの温度が上昇しにくくなるが、逆に、下流側では、せん断発熱の影響を受け易くなり、温度上昇が顕著になる。

固体粒子と2相流体の熱伝達係数の変化の影響($HTC_{ms}:200\text{ W/m}^2/\text{K}\rightarrow100\text{ W/m}^2/\text{K}$): 内部境界との伝熱効果低減



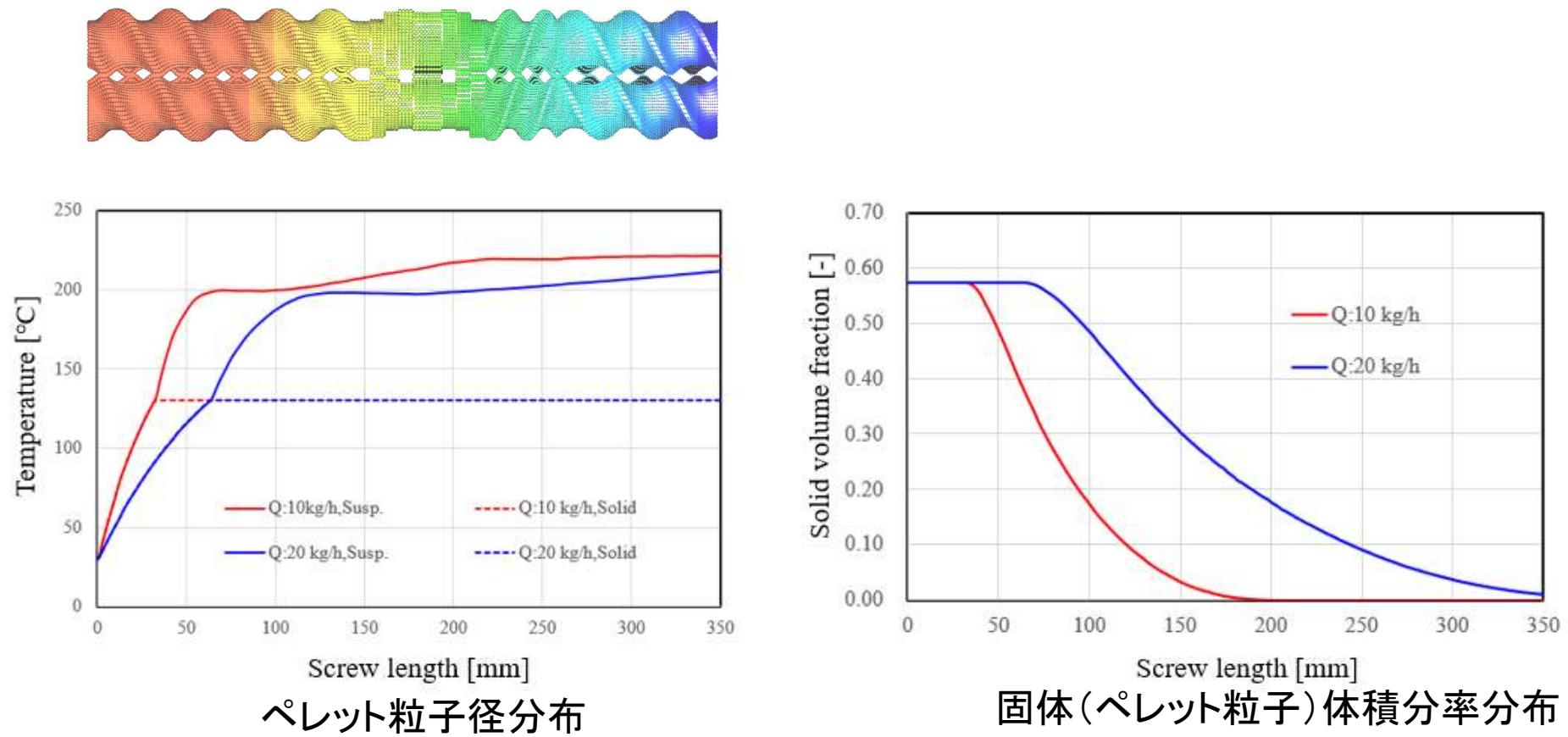
固体粒子と2相流体間の熱伝達係数の減少に伴って、溶融可塑化は遅延する。上流側ではバレルからの伝熱効果と溶融可塑化が遅延することを理由に、サスペンションの温度が上昇はし易くなる。下流側に向けて溶融可塑化が進行し、両ケース間の温度差は減少する。

固体粒子と半径の変化の影響(R_s :1.5 mm → 0.75 mm)



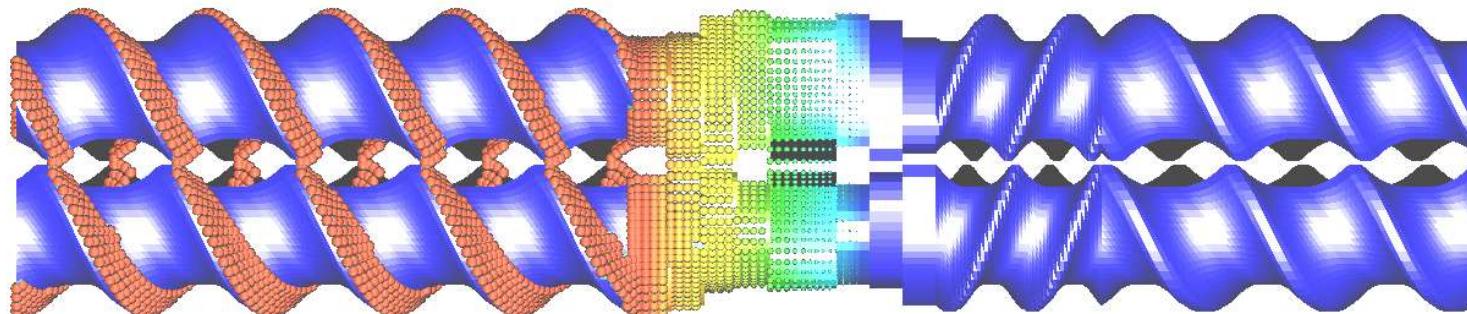
固体粒子径の減少に伴って溶融可塑化が促進される。固体体積分率を一定として、粒子径を減少させると粒子数が増加するが、周囲流体との熱伝達界面積が増加し、溶融可塑化への熱エネルギー供給効率が向上する。塊の氷をバラバラに碎くと溶けやすくなる現象と同様の原理。

押出量の変化の影響($10\text{kg/h} \rightarrow 20\text{kg/h}$)

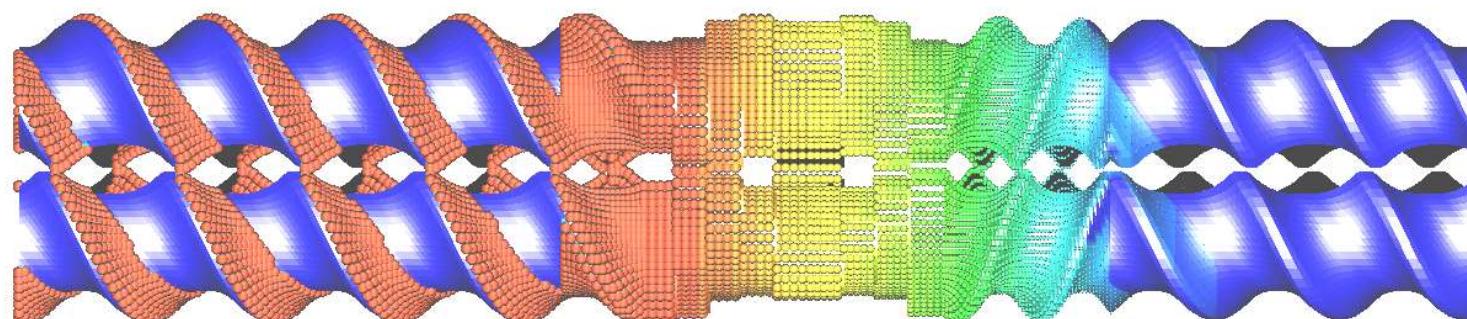


押出量の増加に伴って、滞留時間が減少するため、溶融開始点が下流側にシフトし、溶融可塑化が抑制される。

未充满溶融可塑化解析



10kg/h



20kg/h

ペレット粒子径分布

計算時間3分以内！！！

```
***** Thermal Flow Calucation End *****  
+++++ Screw Volume : 341.3627 cc  
+++++ Volumetric flow : 3.57500362396240 cc/sec  
+++++ Averaged residence time : 95.4859649960533 sec  
+++++ Torque : 157.0403 (Nm)  
+++++ Power : 1644.520 (KW)  
+++++ Averaged outlet pressure : 3.000000 (MPa)  
+++++ Averaged outlet temperature : 218.3948 (degree)  
##### Program Normal End !!! Press Any Key  
total : 132.5952 sec
```

$P_{head}=3$ MPa
100 RPM
 $H_{mb}=H_{sb}$: 1500 W/m²/K
 H_{ms} : 1500 W/m²/K
 T_b : 200 °C
 η_m : 1000 Pa · s

未充满領域の新規補正機能

Outlet Boundary Condition

Pressure fixed Mass Flux fixed

Un-fill analysis Old version algorithm

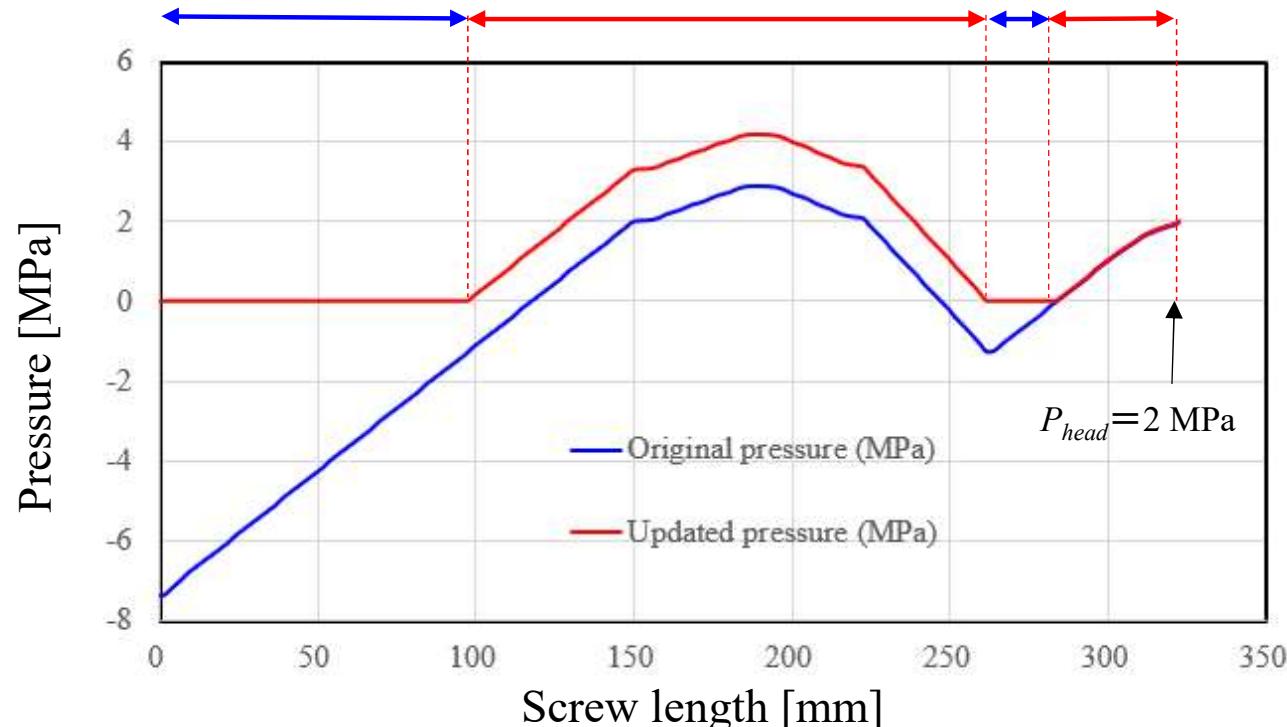
New version algorithm

Outlet Pressure(MPa) 2

Output(kg/h) 10

Boundary layer number 3

New version algorithm チェックボックスをチェック状態として未充满解析を行うと、周方向に平均化した圧力分布の1D情報を元にFAN法と同様の充满/未充满判定を行い、充满状態の軸方向(MD)分布の補正を行います。この補正の結果、2.5D 解析結果として未充满と判定された領域の一部が、充满状態に変更される可能性があります。この補正を行っても未充满と判定された領域の充满率は従来と変化しません。この補正情報は、解析結果名+拡張子(pressinf)のファイルに出力されます。



溶融可塑化解析機能(Revised version)運用方法(一部変更)

Computational parameter for melting model

Concentrated suspension model calculation

Spherical initial radius (mm)

ペレット半径

Iteration number

サスペンション流体エネルギー方程式と
ペレット溶融可塑化モデル反復計算回数

Initial temperature (°C)

ペレット初期温度

Heat transmission (W/m²/K) Particle-Fluid

ペレット vs. サスペンション流体間熱伝達係数

Heat transmission (W/m²/K) Particle-Barrel

ペレット vs. バレル間熱伝達係数

Bulk density (kg/m³)

嵩密度

Relative viscosity max. val.

相対粘度条件値

新規出力ファイル

解析結果ファイル名 + 拡張子(meltinf) : 各種計算量 vs.MD position

	A	B	C	D	E	F
1	Z-position (mm)	Pellet radius(mm)	Volume fraction (-)	Solid temp.(°C)	Suspention temp. (°C)	viscosity (Pa · s)
2	0.00E+00	1.5	0.6197917	30	30	3000
3	1.25	1.5	0.6197917	30.83167	30.83167	3000
4	2.5	1.5	0.6197917	31.65926	31.65926	3000
5	3.75	1.5	0.6197917	32.48281	32.48281	3000
6	5	1.5	0.6197917	33.30232	33.30232	3000
7	6.25	1.5	0.6197917	34.1097	34.1097	3000
8	7.5	1.5	0.6197917	35.03368	35.03368	3000
9	8.75	1.5	0.6197917	35.94081	35.94081	3000
10	10	1.5	0.6197917	36.80454	36.80454	3000
11	11.25	1.5	0.6197917	37.63563	37.63563	3000

(3) 液滴分裂/合体解析機能(Morphological Evolution Model^{*)}) Revised Version

液滴の変形(分裂)への3つの影響因子:

1) キャピラリ一数

$$Ca = \frac{\tau}{\sigma / R} = \frac{\eta_m \dot{\gamma} R}{\sigma} \quad (1)$$

キャピラリ一数が大きいほど
変形 or 分裂し易い.

2) 粘度比

$$\lambda = \frac{\eta_d}{\eta_m} \quad (2)$$

粘度差が大きいほど
分裂し難い.

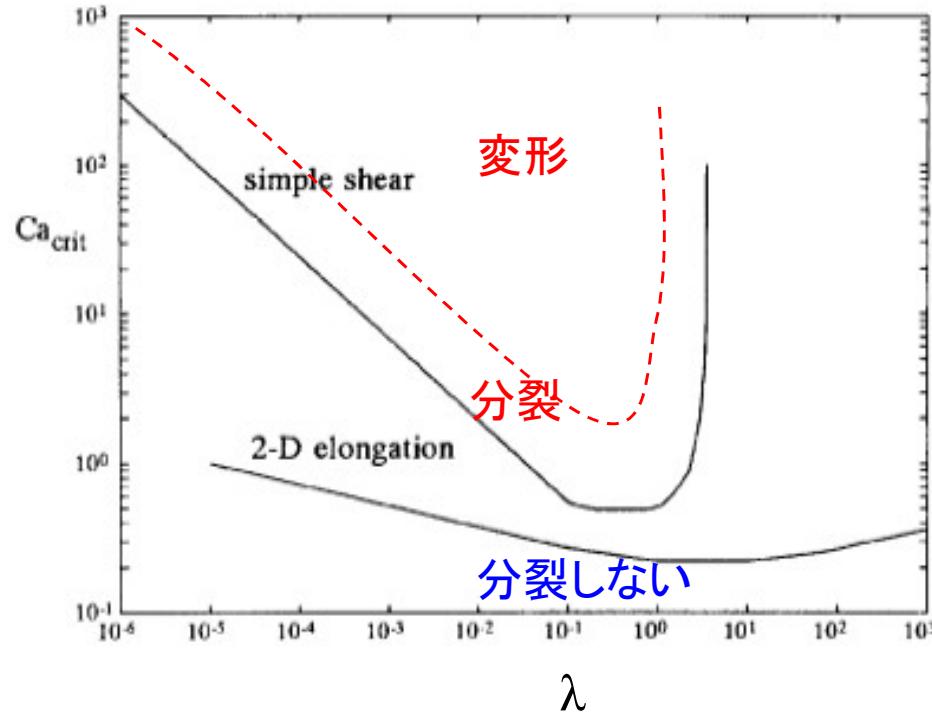
3) 液滴分裂に関する無次元時間パラメータ

$$t_b^* \quad (3)$$

t_b^* が大きいほど分裂に
要する時間が長い.

Ca :	キャピラリ一数
τ :	応力
σ :	界面張力
R :	液滴半径
λ :	粘度比
η_d :	液滴粘度
η_m :	マトリクス粘度
$\dot{\gamma}$:	ひずみ速度
t_b^* :	無次元時間パラメータ

*) M. A. Huneault, Z. H. Shi, and L. A. Utracki : *Polym. Eng. Sci.* , 35,1,115(1995)



粘度比 λ と臨界キャピラリー数 Ca_{crit} の関係 *)

*) : H. P. Grace : *Eng. Found. Res. 3rd Conference on Mixing*, Andover(1971)

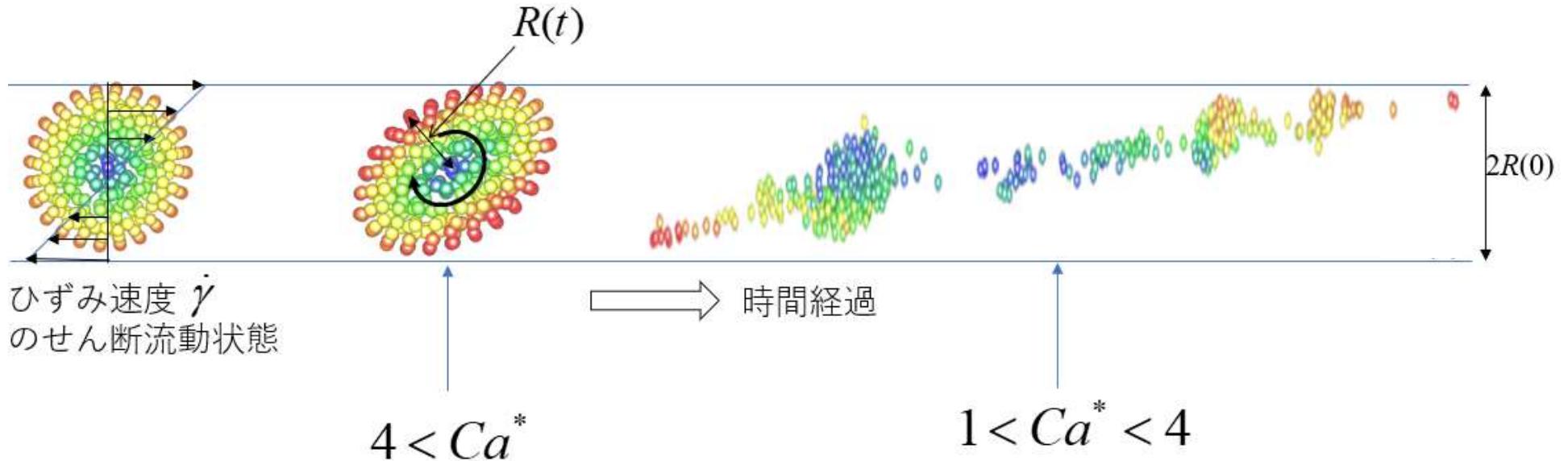
Reduced capillary number:

$$Ca^* = \frac{Ca}{Ca_{crit}} \quad (4)$$

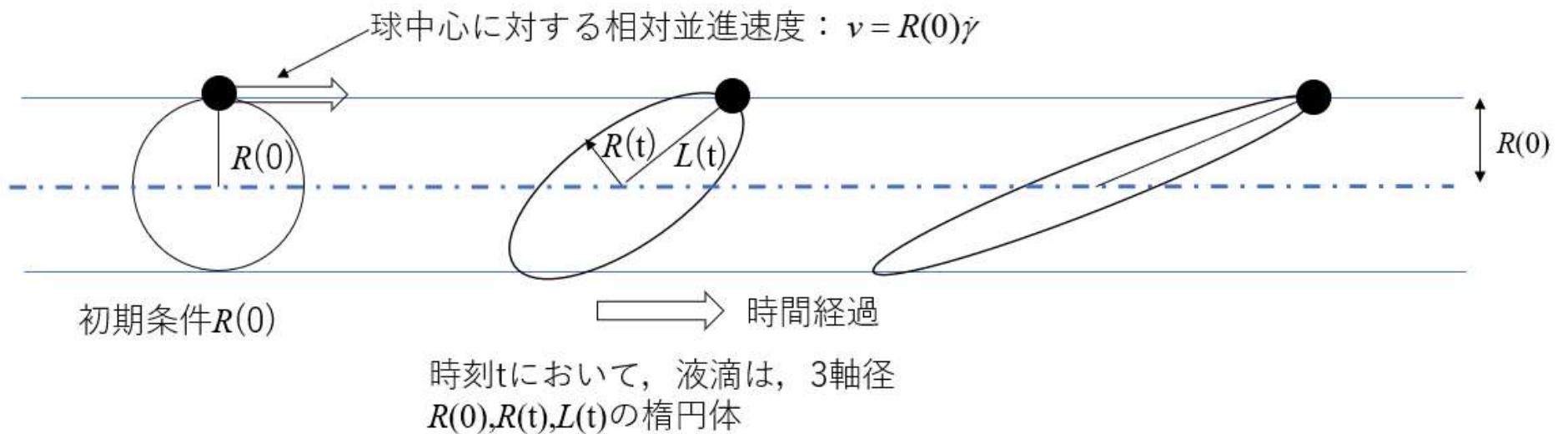
表 Ca^* による液滴の変形、分裂状態の分類

$Ca^* < 0.1$	液滴は変形しない。
$0.1 < Ca^* < 1$	液滴は変形するが、分裂しない。
$1 < Ca^* < 4$	液滴は2つの液滴に分裂する。
$4 < Ca^*$	液滴は安定なフィラメントに変形する。 Droplets deform into stable filaments.

Droplets deform into stable filaments.



液滴は、橢円体に変形し、その径は時間的に変化する。その最短径 $R(t)$ を使ってキャピラリー数を求める。



$$\text{体積保存 : } \frac{4}{3}\pi R(0)^3 = \frac{4}{3}\pi R(0)R(t)L(t)$$



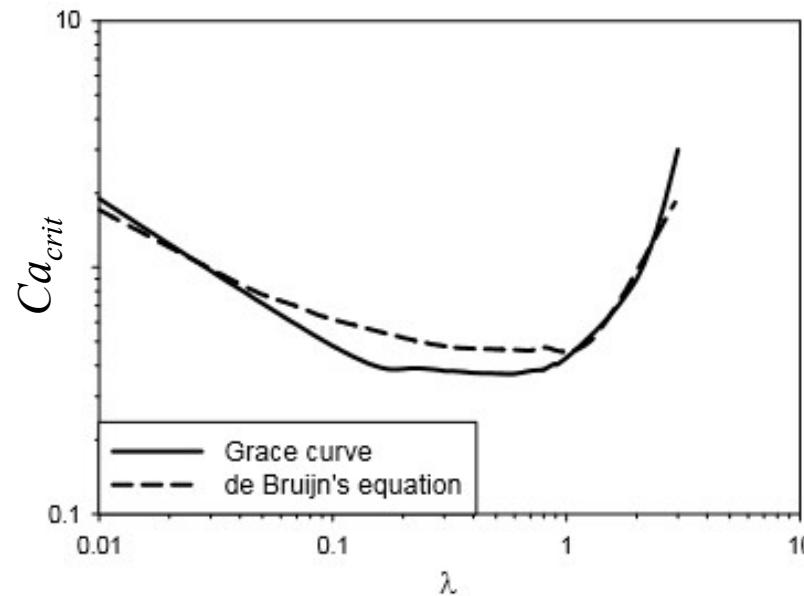
$$\int_0^t v dt = \int_0^t R(0)\dot{\gamma} dt = R(0) \int_0^t \dot{\gamma} dt = R(0)\gamma(t),$$

$$\gamma(t) = \int_0^t \dot{\gamma} dt$$

$$R(t) = \frac{1}{\sqrt{1 + \gamma(t)^2}} R(0)$$

臨界キャビラリー数に対するBruijnの経験則評価式^{*)}

$$\log(Ca_{crit}) = -0.5060 - 0.0994 \log \lambda + 0.1240(\log \lambda)^2 - \frac{0.1150}{\log \lambda - 0.6110} \quad (5)$$

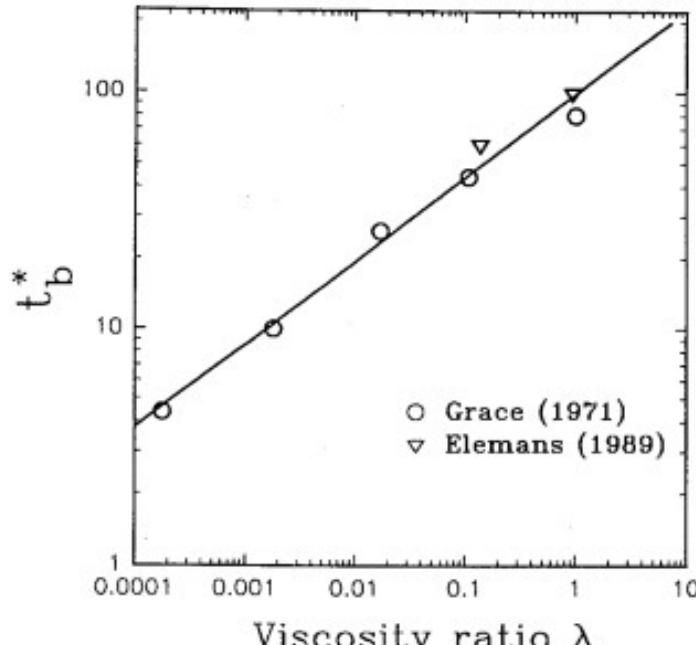


Grace curve のBruijn モデルフィット^{*)}

*) R. A. De Bruijn, PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Netherlands(1989)

無次元時間パラメータ

$$t_b^* = a\lambda^b, \quad (6)$$
$$a = 91.41,$$
$$b = 0.3397$$



粘度比と無次元分裂時間の関係

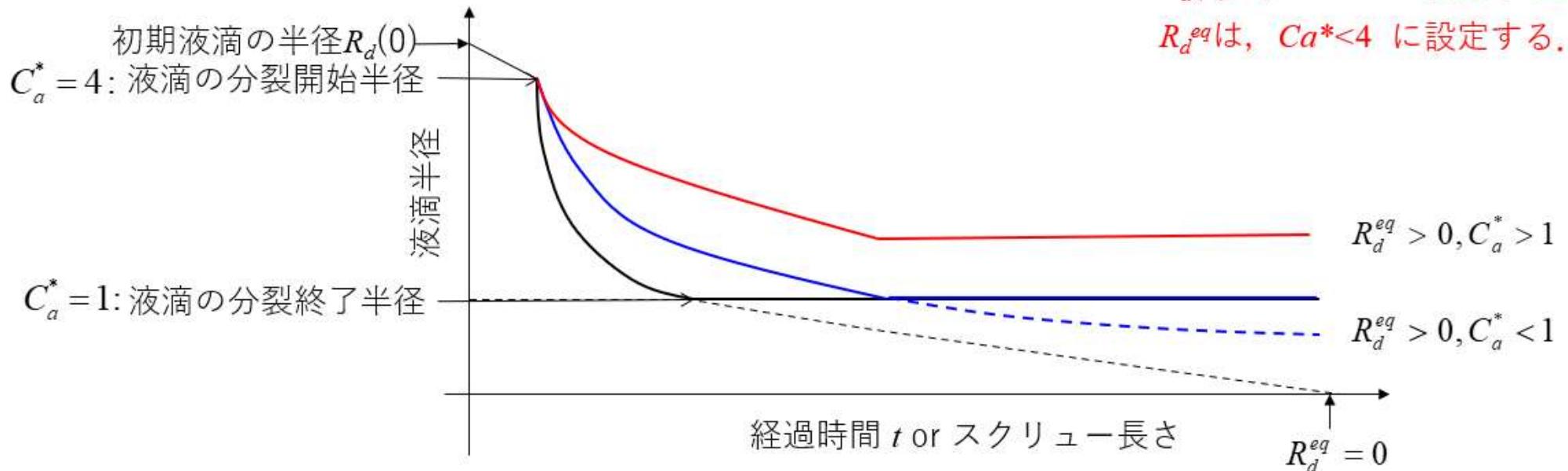
液滴半径 R_d の現象論的計算モデル

$$\left\{ \begin{array}{l} R_d(t) = \frac{1}{\sqrt{1 + \gamma(t)^2}} R_d(0) \text{ for } C_a^* > 4 \\ \frac{dR_d}{dt} = -\frac{\dot{\gamma} R_d}{3 Ca_{crit} t_b^*} + \kappa \frac{\phi^{8/3} \dot{\gamma}}{R_d} \text{ for } 1 \leq C_a^* \leq 4 \\ R_d(t) = R_d^* \text{ for } C_a^* < 1 \text{ or } R_d(t) = R_d^{eq} \text{ for } 1 \leq C_a^* \leq 4 \end{array} \right. \quad (7)$$

定数 κ は、液滴半径の平衡値 R_d^{eq} と液剤の体積分率 ϕ を指定することで次式から決定

$$R_d^{eq} = (3\kappa Ca_{crit} t_b^* \phi^{8/3})^{1/2} \quad (8)$$

液滴半径の平衡値 R_d^{eq} の意味

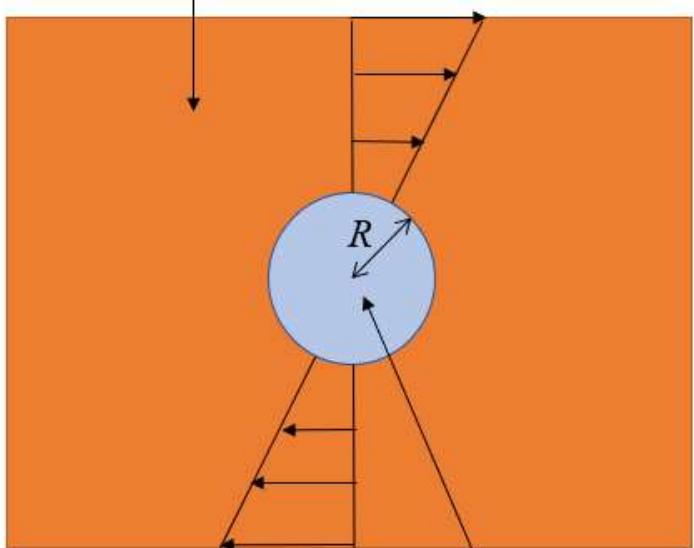


- 最初に $R_d^{eq} = 0$ の解析を行い液滴分裂開始半径、分裂終了半径を算出
- 液滴の分裂終了半径未満に R_d^{eq} を設定すると合体の影響を受け、液滴径の減少率が抑制されるが、最終的には、 $\text{Ca}^*=1$ の分裂終了半径に漸近する。
- 液滴の分裂終了半径以上に R_d^{eq} を設定すると合体の影響を受け、液滴径の減少率が抑制されるとともに $\text{Ca}^*>1$ の平衡液滴径に漸近する。

液滴分裂径の試算

$\eta_m : 1000 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

$\dot{\gamma} : 100 \text{ s}^{-1}$



$\eta_d : 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
 $\sigma : 0.1 \text{ N/m}$

粘度比 : $\lambda = \frac{\eta_d}{\eta_m} = 10^{-3}$

臨界キャビラリ数 : $Ca_{crit} = 10$ (5式から8.71)

キャビラリ数 : $Ca = \frac{\eta_m \dot{\gamma} R}{\sigma} = \frac{10^3 \times 10^2}{10^{-1}} R = 10^6 R$

Reduced capillary number :

$$Ca^* = \frac{Ca}{Ca_{crit}} = \frac{\eta_m \dot{\gamma} R}{\sigma Ca_{crit}} = 10^5 R$$

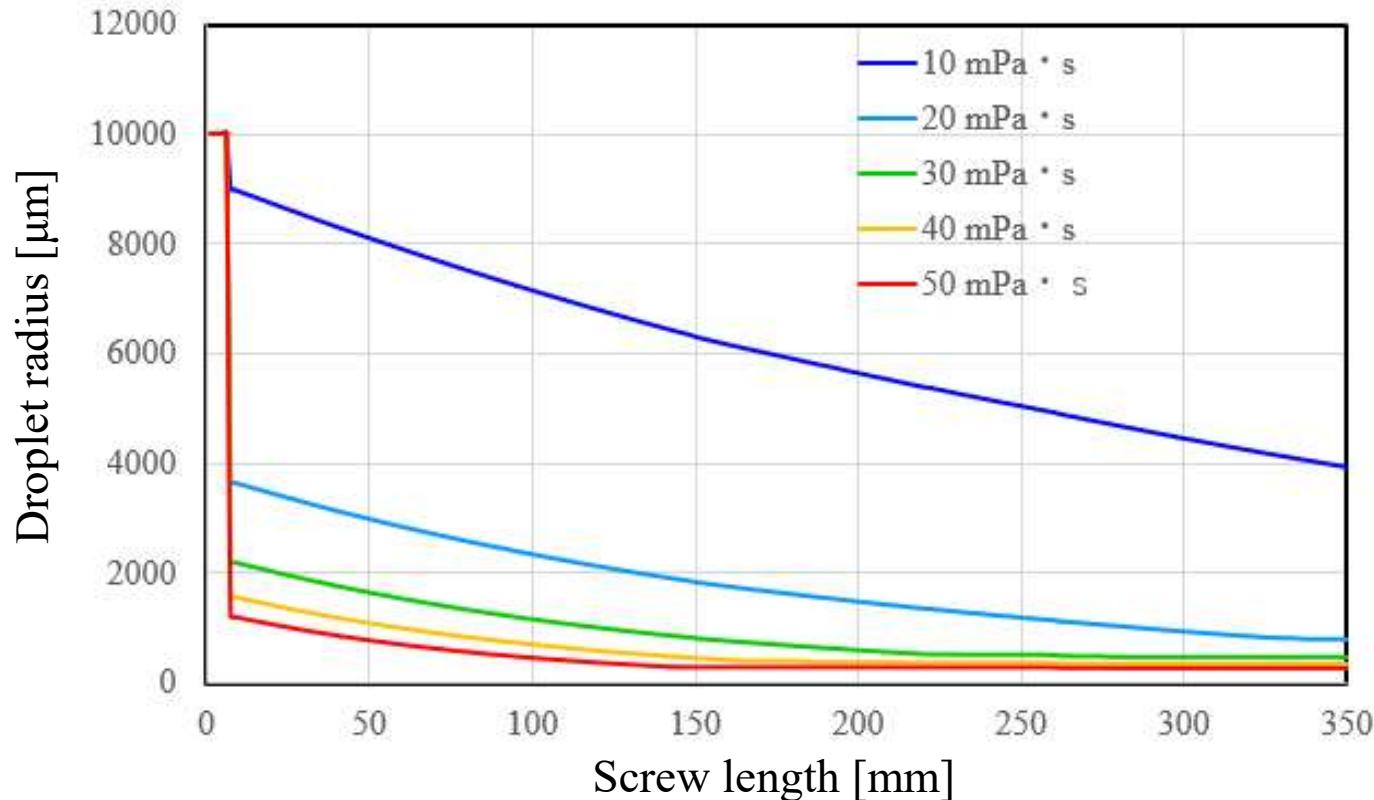
$Ca^* = 10^5 R > 4 \Rightarrow R > 40 \mu\text{m}$: フィラメント変形

$1 < Ca^* = 10^5 R < 4 \Rightarrow Max(10, R_d^{eq}) \mu\text{m} < R < 40 \mu\text{m}$ 液滴分裂

$Ca^* = 10^5 R < 1 \Rightarrow R < Max(10, R_d^{eq}) \mu\text{m}$: 液滴分裂停止

テスト解析結果

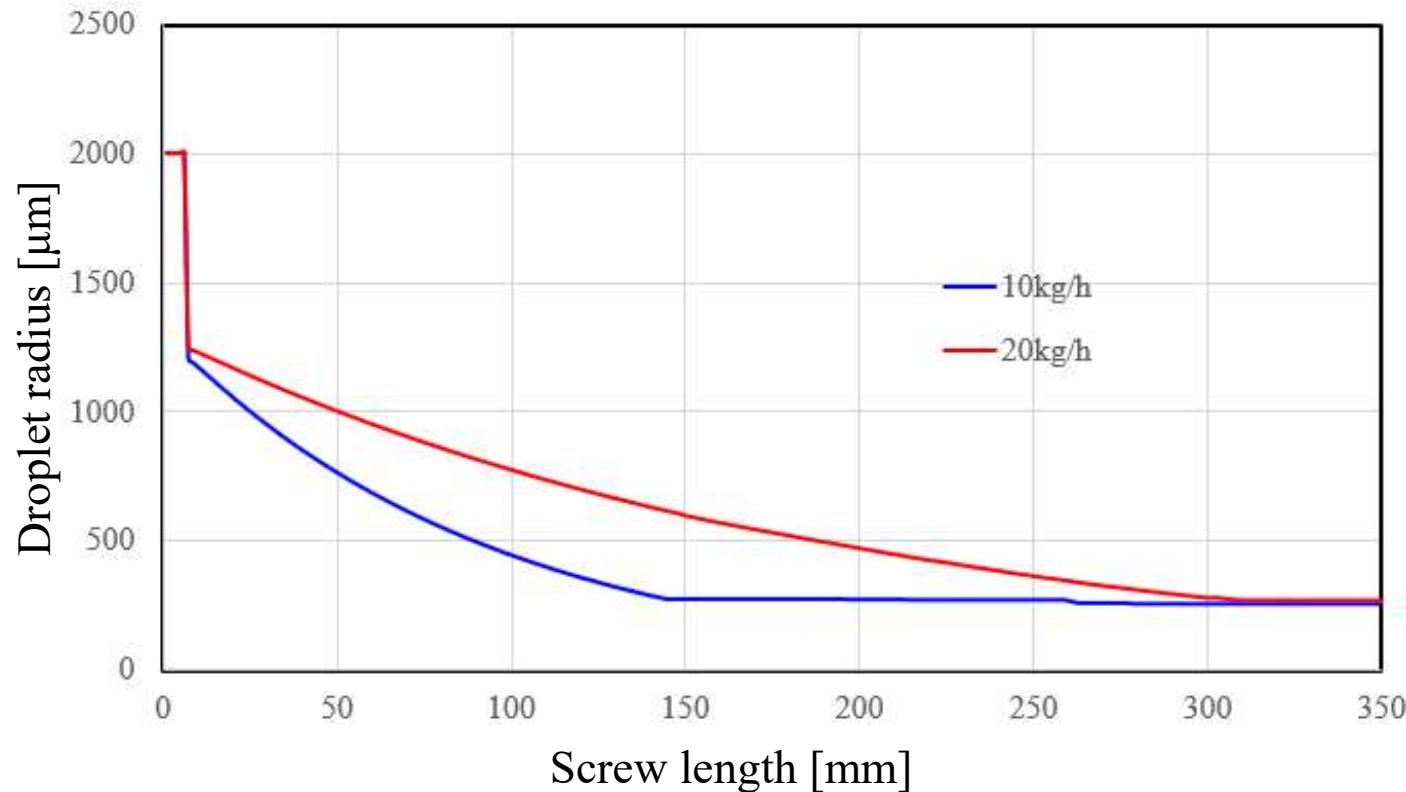
粘度比が液滴分裂に与える影響



10kg/h mass flux fixed
100 RPM
 $R_d(0) = 10000 \mu\text{m}$
 $R_d^{eq} : 0 \mu\text{m}$
 $\sigma : 0.1 \text{ N/m}$
 $\eta_m : 1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

- λ : $10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ の範囲において液滴径の粘度を増加させると最終的な分裂径と時定数(最終分裂径に到達する時間)が減少する。

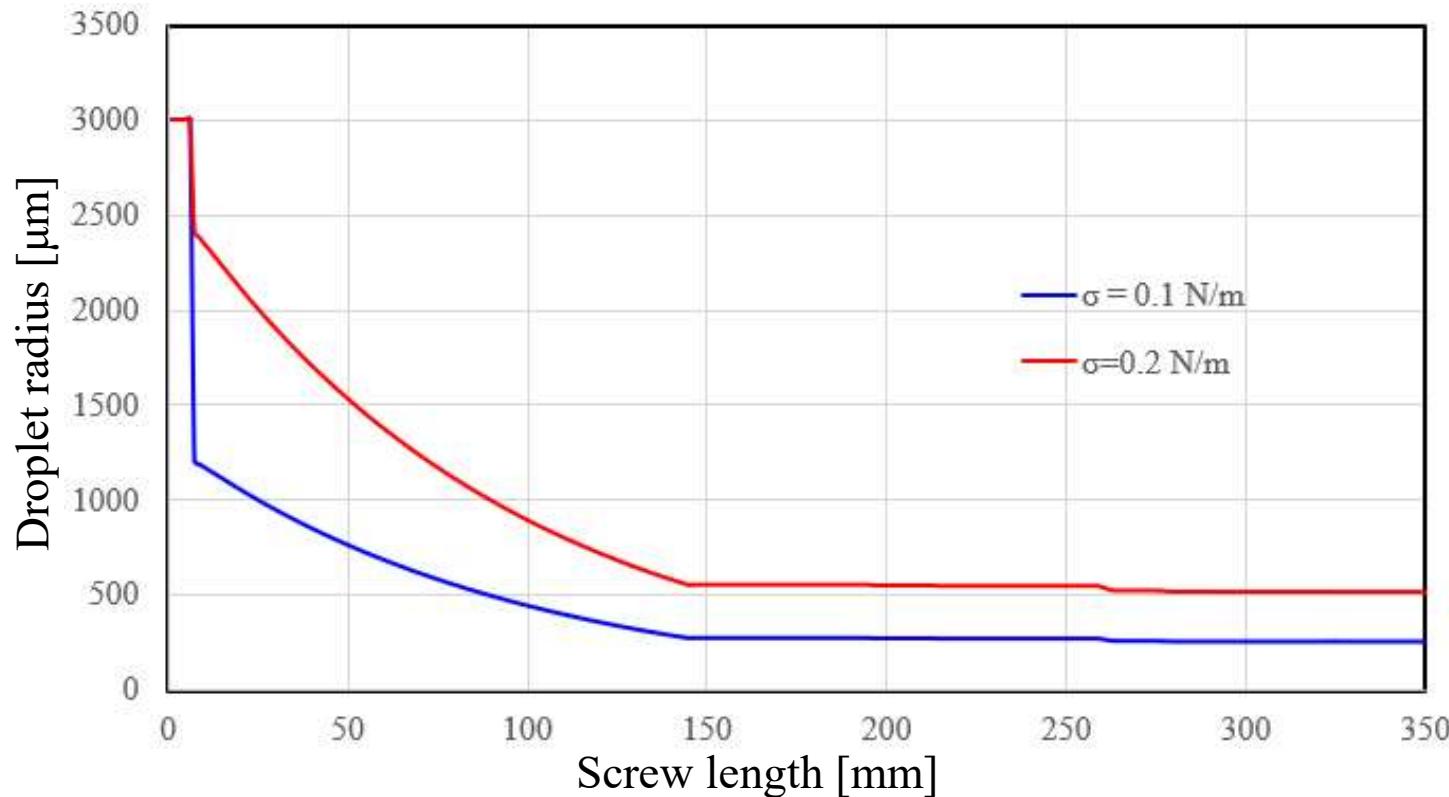
押出量が液滴分裂に与える影響



10kg/h,20kg/h mass flux fixed
100 RPM
 $R_d(0) = 2000 \mu\text{m}$
 $R_d^{eq} : 0 \mu\text{m}$
 $\sigma : 0.1 \text{ N/m}$
 $\eta_m : 1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $\eta_d : 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

- 押出量の増加に伴って、滞留時間が減少するため、液滴分裂は抑制される。

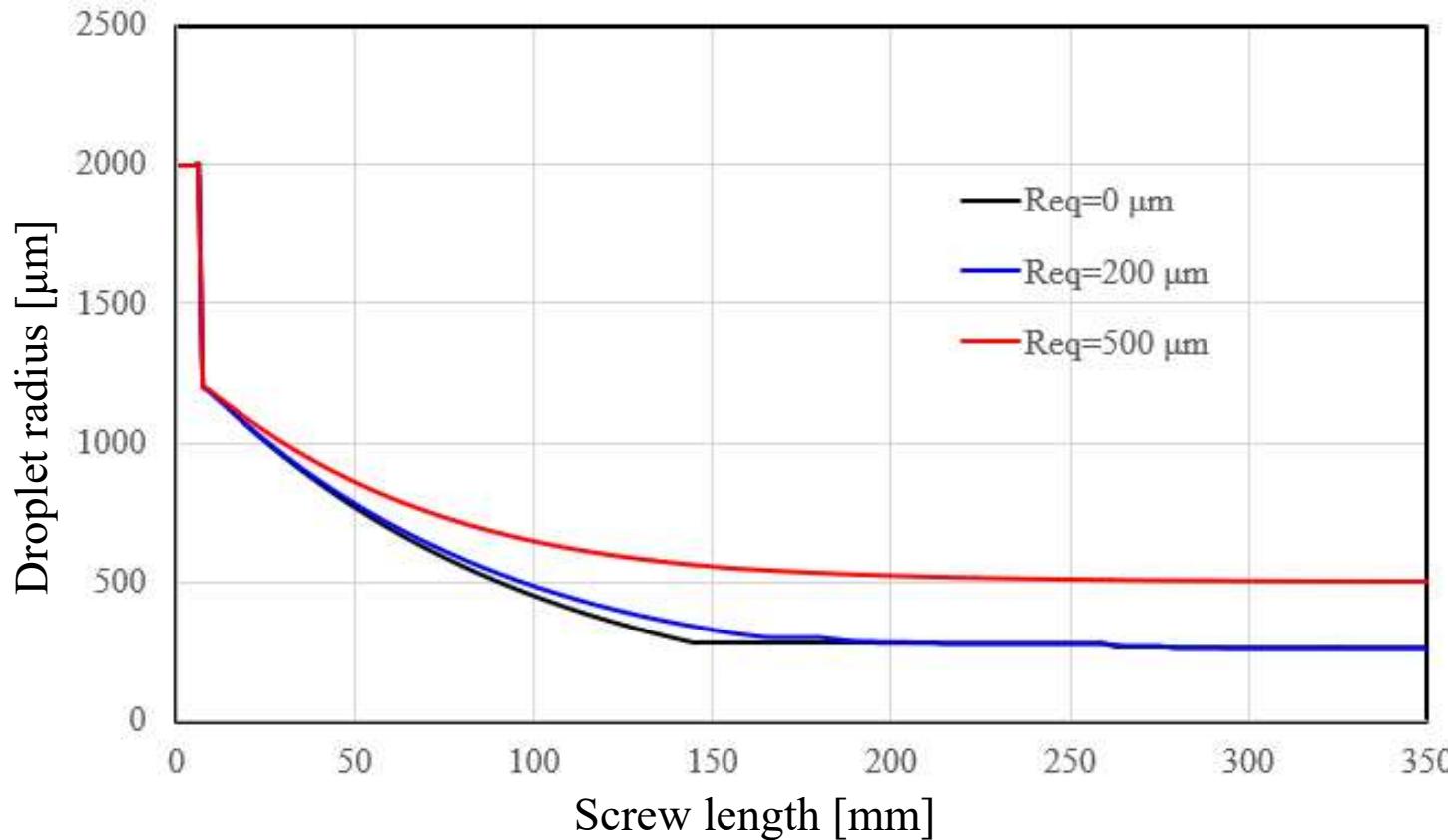
表面張力が液滴分裂に与える影響



10kg/h mass flux fixed
100 RPM
 $R_d(0) = 3000 \mu\text{m}$
 $R_d^{eq} : 0 \mu\text{m}$
 $\sigma : 0.1 \text{ N/m}, 0.2 \text{ N/m}$
 $\eta_m : 1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $\eta_d : 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

- 表面張力の増加に伴って、キャピラリ数が変化し、分裂開始半径と終了半径が共に増加する。

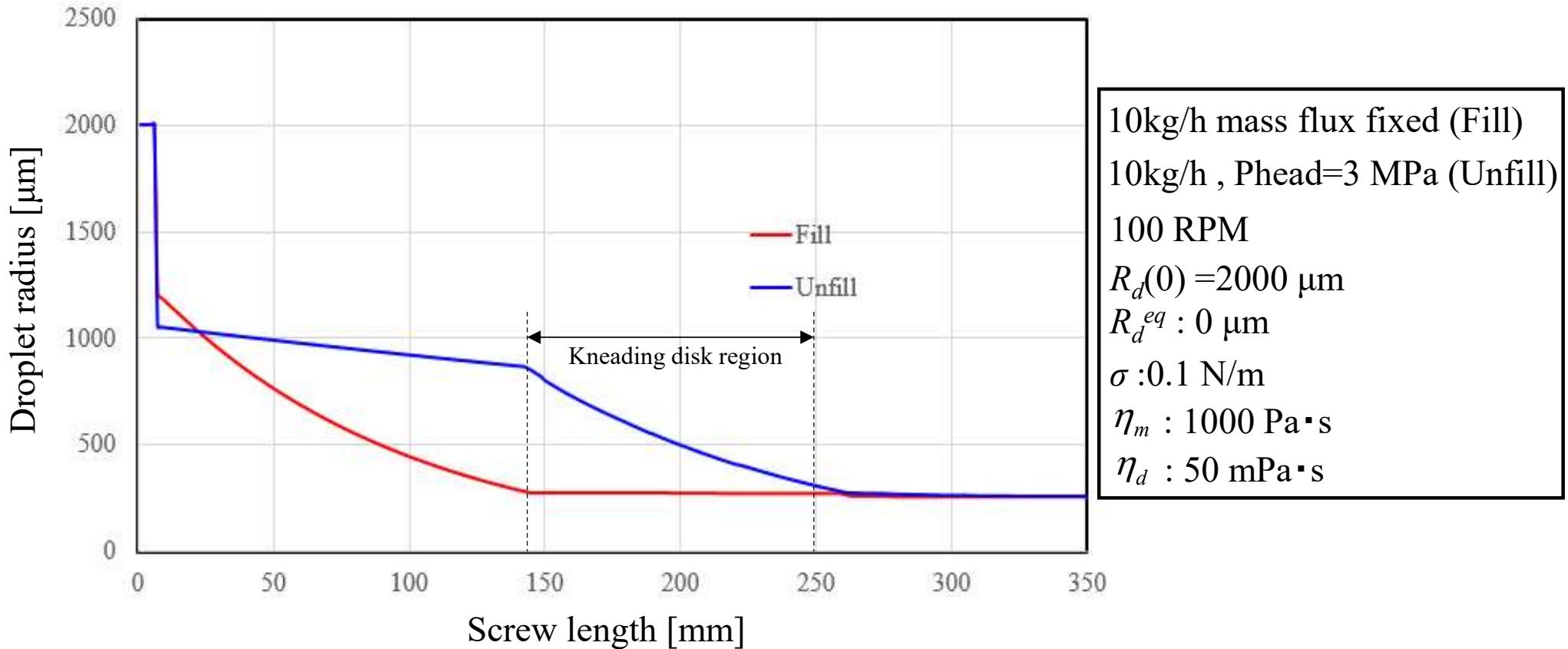
平衡径(液滴衝突・合体)が液滴分裂に与える影響



10kg/h mass flux fixed
100 RPM
 $R_d(0) = 2000 \mu\text{m}$
 $R_d^{eq} : 0 \mu\text{m}, 200 \mu\text{m}, 500 \mu\text{m}$
 $\sigma : 0.1 \text{ N/m}$
 $\eta_m : 1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $\eta_d : 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

- 平衡径を0とした際の最終径は、250 μm程度。平衡径をこの最終径より小さく200μmに設定した場合、液滴の合体により、液滴分裂は抑制されるが、最終径に変化は見られない。最終径より大きく500μmに設定した場合、液滴の合体の影響が強まり、最終径も $\text{Ca}^*=1$ に相当する250μmよりも大きくなり、平衡径500μmに漸近する。

充满率が液滴分裂に与える影響



・未充满解析結果では、押出量を共通に設定しても標準スクリュ領域の充满率の低下に伴って滞留時間が減少するため、液滴の分裂が充满解析結果と比較して抑制される。液滴分裂は、ニーディングディスク領域で促進され、当領域下流側で最終分裂径に至る。

液滴分裂/合体解析機能(Revised version)運用方法(一部変更)

Computational parameter for Morphological Evolution Model or Chemical Reaction Model

Morphorogy evolution model calculation Chemical model calculation

液滴初期半径 → Droplet initial radius (μm)

計算開始Z位置 → Calculation start Z-position(mm)

液材体積分率 → Volume fraction

液滴平衡径 → Equilibrium radius(μm)

dimensionless time parameter a

dimension less time parameter b

Interfacial tension coefficient (N/m)

表面張力係数

無次元時定数のモデルパラメータ
 $t_b^* = a \lambda^b$,
 $a = 91.41$,
 $b = 0.3397$

Material Property Information File Name
 Import Select

新規出力ファイル

解析結果ファイル名 + 拡張子(morinf) : 各種計算量 vs.MD position

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	izbreak		7	breakstarradius= 528.9133							
2	Z-position (mm)	Dropradius (μ m)	Reducedcap (-)	Cap (-)	Capcrit (-)	Vis (Pa · s)	Gam (1/s)	Δt (s)	Strain (-)	τ (s)	λ (-)
3	1.25	2000	15.39715	2668.292	173.2978	1000	66.70729	4.54E-02	0.00E+00	24.64194	5.00E-05
4	2.5	2000	15.14778	2625.077	173.2978	1000	65.62693	4.54E-02	0.00E+00	25.0476	5.00E-05
5	3.75	2000	15.10438	2617.556	173.2978	999.9999	65.4389	4.54E-02	0.00E+00	25.11957	5.00E-05
6	5	2000	15.13175	2622.3	173.2978	999.9998	65.55752	4.54E-02	0.00E+00	25.07412	5.00E-05
7	6.25	2000	15.17886	2630.464	173.2978	1000	65.7616	4.54E-02	0.00E+00	24.9963	5.00E-05
8	7.5	635.0222	4.820194	835.3278	173.2975	999.9996	65.77158	4.54E-02	2.986525	24.99247	5.00E-05
9	8.75	528.9133	4	137.669	173.2978	1000	65.52975	4.54E-02	5.962068	25.08474	5.00E-05
10	10	527.963	3.970463	688.0726	173.2978	999.9998	65.16297	4.54E-02	8.920956	25.22594	5.00E-05
11	11.25	527.0213	3.934248	681.7966	173.2978	999.9999	64.68398	4.54E-02	11.85809	25.41274	5.00E-05
12	12.5	526.0872	3.902637	676.3186	173.2978	999.9999	64.27819	4.54E-02	14.77681	25.57317	5.00E-05

② 解析時間の高速化・効率化

(1) GPUを利用した解析時間高速化

解析時間の短縮を目的に, Twin Screw Simulator Ver.8.0.0 のGPU対応版を用意しました.
GPU対応版は, NVIDIA グラフィックボードが搭載されたPCでのみ運用可能です(下表).

表. PGIアクセラレータ機能が有効となるGPU

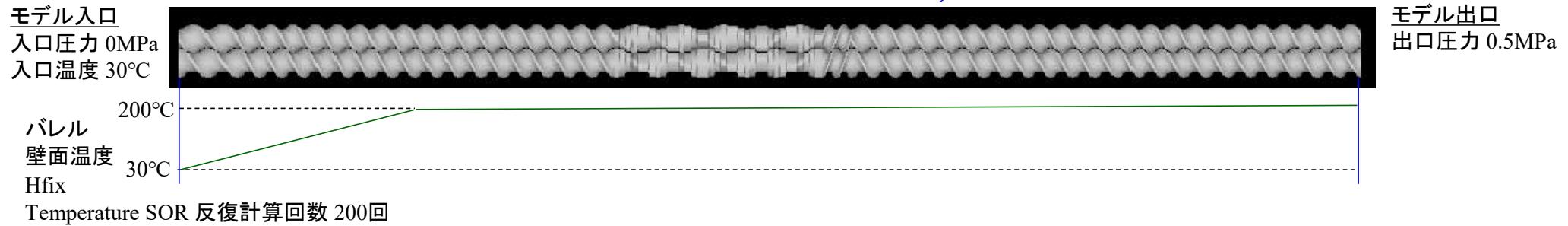
Nvidia Tesla
Nvidia Quadro
Volta (Titan V)
GeForce 20 series
GeForce 16 series
GeForce 10 series
GeForce 900 series
GeForce 700 series

HASL社開発環境(GPU:Nvidia GeForce GTX 1660 Ti,
CPU:Intel®Core™ i7-9700@3.00GHz, Memory:16GB)
コンパイラ: PGI Community Edition

解析例: バレル径20mm, L/D=40 (1600mm) 二軸スクリューモデル

モデル要素数 40800,
肉厚方向分割数 10

樹脂データ HDPE_B1, 押出量 40kg/h, スクリュ回転数 100rpm, 未充满解析(Un-fill analysis)



【解析条件】 温度解析方法違いの2水準: (1) 2.5D FEM(標準), (2) 1D FDM(新機能)
追加オプション解析: 履歴解析(陰解法)

【解析結果】 解析時間の比較結果を以下に示す.

解析 No.	温度解析 方法	Twin Screw Simulator 解析時間		
		(A)標準版(CPU) Intel®Core™ I7-9700 CPU@3.00GHz	(B)GPU対応版 NVIDIA GeForce GTX 1660Ti	Acceleration Ratio (A)/(B)
(1)	2.5D FEM	905.1 sec	162.7 sec	5.5
(2)	1D FDM	379.6 sec	84.2 sec	4.5

(1)標準版の解析結果(.twininf)

```
+++++ Screw Volume : 1550.355 cc
+++++ Volumetric flow : 14.4300203323364 cc/sec
+++++ Averaged residence time : 107.439564659854 sec
+++++ Torque : 278.7595 (Nm)
+++++ Power : 2919.132 (kW)
+++++ Averaged outlet pressure : 0.5000000 (MPa)
+++++ Averaged outlet temperature : 223.7176 (degree)
```

(1)GPU対応版の解析結果(.twininf)

```
+++++ Screw Volume : 1550.355 cc
+++++ Volumetric flow : 14.43002033233643 cc/sec
+++++ Averaged residence time : 107.4395646598537 sec
+++++ Torque : 278.7594 (Nm)
+++++ Power : 2919.129 (kW)
+++++ Averaged outlet pressure : 0.5000000 (MPa)
+++++ Averaged outlet temperature : 223.7176 (degree)
```

Twin Screw Simulator Ver.8.0.0／GPU対応版の使用方法

- Ver8.0.0出荷¥bin¥x86直下の Systemver.8.0.0_GPU フォルダ内の TwinScrewGUISystem.exe を起動します。
(標準版と同名実行ファイルのため注意)



GPU対応版の場合、
熱流動解析時に
Solver on [GPU] の
記載があります。

```
選択C:\Users\yorif\Desktop\tssver8_time\multiproflesimulator.exe
***** Thermal Flow Calucation Start *****
*****
***** Static Calculation *****
*****
----- Mesh Information -----
Node Number : 61260
Element Number : 61200
-----
ioutletnodenum= 60 iinletnodenum= 60 iqbc=
flowrateoutlet= 14.43001556398484 massfluxflowratesum=
0.0000000000000000
iteration = 1 /
itempcal= 2 call tempcall it: 1
volum= 1548.398 areasum= 3235.986 energysum= 0.000000
call heleshaw qoutletp= 14.43002 qoutletm= 0.000000
solver on [GPU]
-----
lb - A*x|/(|A|*|x|) = 0.2645400018329D-15
ret heleshaw
iblock= 1 flowoutlet= 14.43002033233643 cc/s : Mass flux=
40.00001431076717 kg/h
iteration = 2 /
itempcal= 2 call tempcall it: 2
volum= 425.0151 areasum= 880.0928 energysum= 1212.632
call heleshaw qoutletp= 14.43002 qoutletm= 0.000000
solver on [GPU]
-----
H A S L Hyper Advanced Simulation Laboratory
```

* GPU対応版の注意点

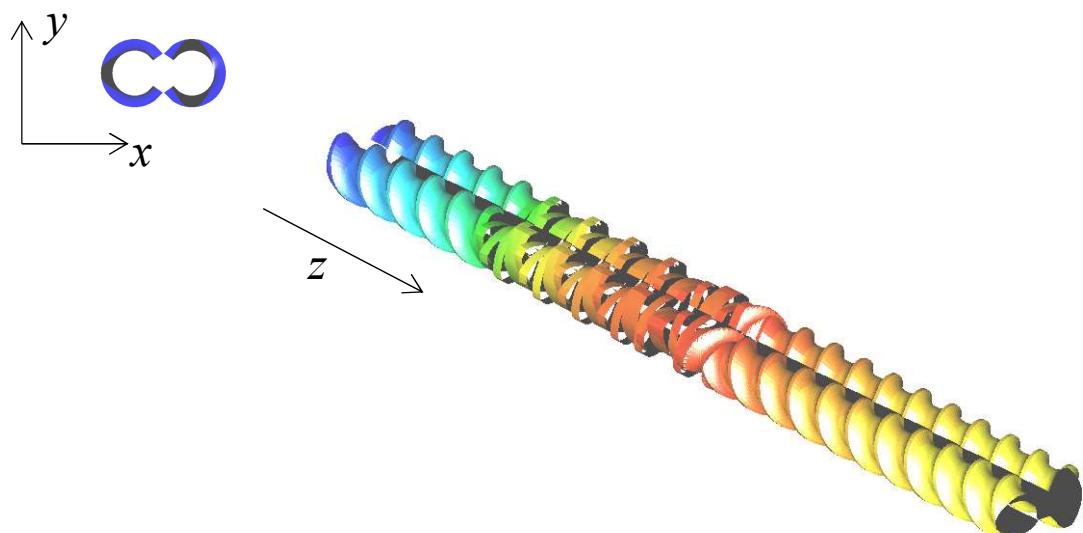
GPU対応版において、オプション解析の一部には、演算速度加速の恩恵が受けられない機能があります。
(例: 前ページの解析例において、(1)2.5D FEM に纖維破断解析(陰解法)を追加した場合、(A)標準版は 1065.3 s (+160s), (B)GPU対応版は 638.4s (+475s), (A)/(B)=1.6 となり時間効率が低下した。)

この場合、解析条件を決定するまでは通常の熱流動解析(未充満解析含む)のみを実施し、解析条件決定後にオプション解析機能を追加する、などの手順を取ることで時間効率が改善すると考えられます。

(2) 温度解析機能高速化(1D FDM)

Twin Screw Simulator の現行温度解析(2.5D FEM)は、流動面内の熱対流効果、肉厚方向の熱伝導、粘性発熱、壁面からの熱伝達などの因子を考慮し、以下のエネルギー方程式を解析することで算出します。

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial h} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial h} \right) + \eta \dot{\gamma}^2$$



T : 温度, u : x 方向流速, v : y 方向流速, w : z 方向流速

ρ : 密度, C_p : 比熱, κ : 热伝導率, η : 溶融粘度

h : 肉厚, $\dot{\gamma}$: ひずみ速度

壁面の温度境界条件として、温度規定あるいは熱伝達規定の何れかの境界条件を採用します。

温度規定: $T = T_w$,

熱伝達規定: $\kappa \frac{\partial T}{\partial h} = \lambda(T_w - T)$.

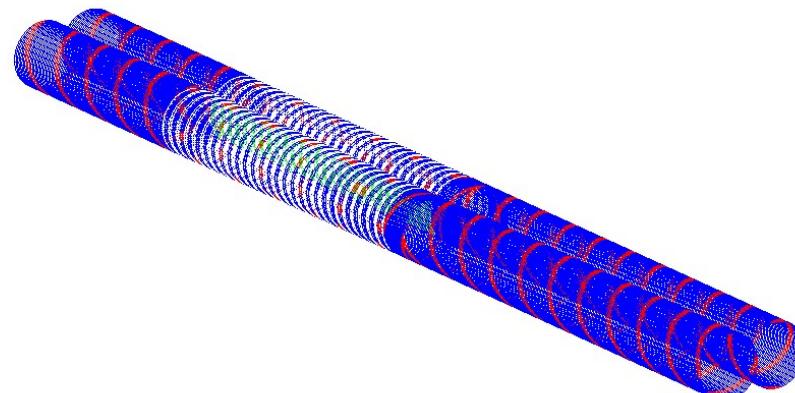
T_w :壁面温度、 λ :熱伝達係数

Twin Screw Simulator / 壁面温度境界条件設定フォーム (Thermal Boundary Condition set タブ)

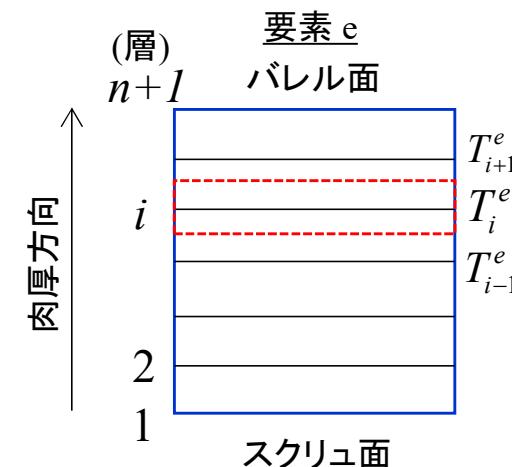
Setting Surface	<input checked="" type="radio"/> Barrel <input type="radio"/> Screw	Temperature fix	Heat Transmission
Height Ratio	Reference Temperature	Height Ratio	Reference Temperature(C)
		0.0	200.0
Thermal Boundary Condition		Heat Transmission Coefficient(W/cm ² /K) 0.3	

現行温度解析(2.5D FEM)の離散化スキーム

p.2 のエネルギー方程式に、2.5D要素の体積領域をコントロールボリュームとした離散化法を適用すると、要素 e の i 番目の層の温度 T_i^e の離散化方程式は次式で表されます。

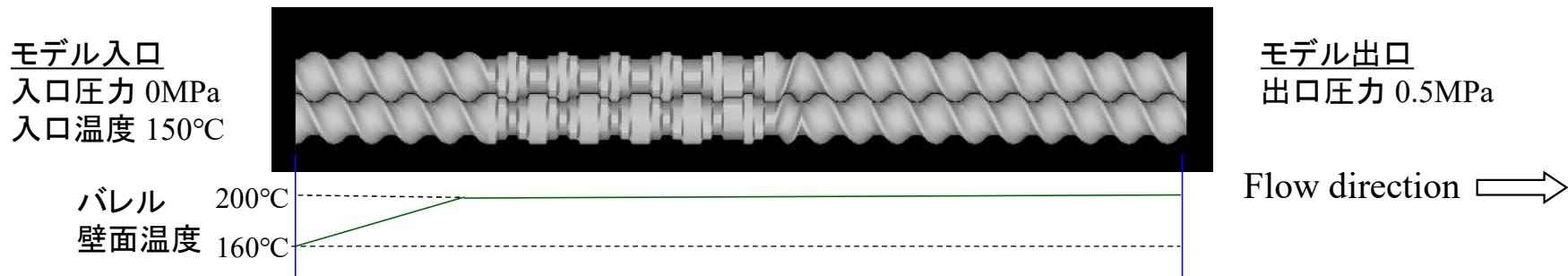


$$\Delta h = \frac{H_e}{n} \quad \begin{array}{l} H_e: \text{要素e の肉厚} \\ n: \text{肉厚方向の分割数} \end{array}$$



解析例: バレル径20mm, L/D=17.35 (694mm) 二軸スクリューモデル

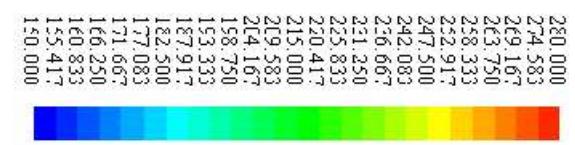
樹脂データ HDPE_B1, 押出量 20kg/h, スクリュ回転数 200rpm, 未充满解析(Un-fill analysis)



○ 解析検証1／壁面温度境界条件の影響／現行温度解析

【解析結果／温度分布(°C)】

(1-1) Tfix



(1-2) Hfix / 热伝達係数 0.1 W/cm²/K (1000W/m²/K)



(1-3) Hfix / 热伝達係数 0.05W/cm²/K (500W/m²/K)



実験温度結果との比較検討により
適切な温度境界条件を設定することが望ましい。

○解析検証2／押出量の影響確認

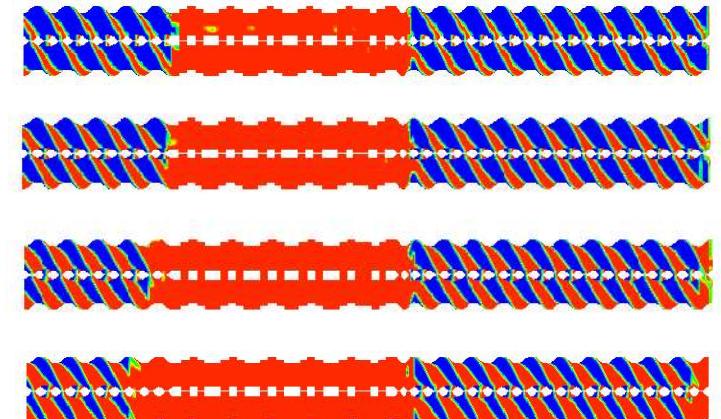
検証1の解析モデルにおいて、押出量を 40kg/h, 60kg/h, 80kg/h まで増加させた場合の傾向を確認した。
(スクリュ回転数は 200rpm に固定)

【解析結果一覧／現行温度解析】

押出量	充満率 (スクリュ 内 平均値)	滞留 時間 (s)	解析出口温度 (境界条件 3水準)		
			(1) Tfix	(2) Hfix 1000 W/m ² /K	(3) Hfix 500 W/m ² /K
(a) 20kg/h	0.42	42	217°C	225°C	230°C
(b) 40kg/h	0.52	26	225°C	239°C	247°C
(c) 60kg/h	0.64	21	234°C	251°C	262°C
(d) 80kg/h	0.74	18	240°C	255°C	264°C

*充満率、滞留時間は温度境界条件に依らずほぼ
同じため、(1) Tfix の場合の結果を記載した。

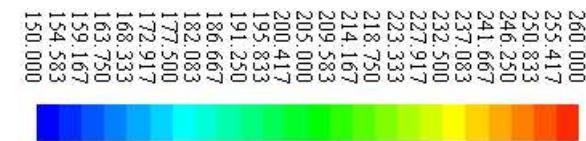
・充満率分布 ((1)Tfixの場合)



赤色部が樹脂充満領域

温度分布／現行温度解析(2.5D FEM)

【解析結果／温度分布(°C)】



(a-現1) 20kg/h, Tfix



(a-現2) 20kg/h, Hfix 1000 W/m²/K



(b-現1) 40kg/h, Tfix



(b-現2) 40kg/h, Hfix 1000 W/m²/K



(c-現1) 60kg/h, Tfix



(c-現2) 60kg/h, Hfix 1000 W/m²/K



(d-現1) 80kg/h, Tfix



(d-現2) 80kg/h, Hfix 1000 W/m²/K



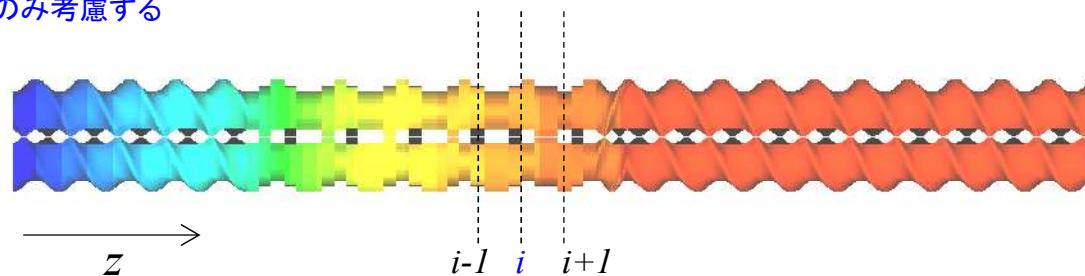
現行の温度解析では、押出量の増加に伴ない出口温度が増加する傾向が得られた。
(押出量が多いほど充満率が高く、下流側で粘性発熱項の影響が大きくなっている)

新規温度解析の考え方(1D FDM)

○ エネルギー方程式の変更

$$\rho C_p \left(w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial h} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial h} \right) + \eta \dot{\gamma}^2$$

熱対流項をスクリュ軸方向
のみ考慮する



T : 温度, w : z 方向流速

ρ : 密度, C_p : 比熱, κ : 热伝導率, η : 溶融粘度

h : 肉厚, $\dot{\gamma}$: ひずみ速度

○ z 方向に離散化した場合の区分 i の温度を以下の式で評価する(周方向, 肉厚方向は平均化).

$$T_i = \left(\frac{\rho C_p Q_{ex}}{\rho C_p Q_{ex} + \lambda S_i} \right) T_{i-1} + \frac{\lambda S_i T_w + Q_{si}}{\rho C_p Q_{ex} + \lambda S_i}$$

上流側温度に対して
バレル壁面の熱伝達効果
が考慮される。

熱対流項, 粘性発熱項,
バレル壁面の熱伝達効果
が考慮される。

Q_{ex} : 押出流量(全断面で一定(非圧縮条件))

T_w : 壁面温度、 λ : 热伝達係数

S_i : 区間 i の壁面表面積

Q_{si} : 区間 i の粘性発熱項

新規解析機能の使用方法

(1) Analysis Tab で温度解析方法を選択する.

Calculation Control Information File Name
test_80kg_B1_1d_htc1000 Import

Material Property Information File Name
HDPE_B1 Import Select New

Model Information File Name
test Select

Thickness information set
 Use both information

Calculation Control Parameters

Thermal-Flow Calculation Control Parameters

Non-Newtonian Iteration Number 10 Static Dynamic

Layer Division Number 10

Temperature SOR iteration number 0 2.5D FEM 1D FDM

Optional information

Shear Cutoff Stress cutoff

Intermeshing correction

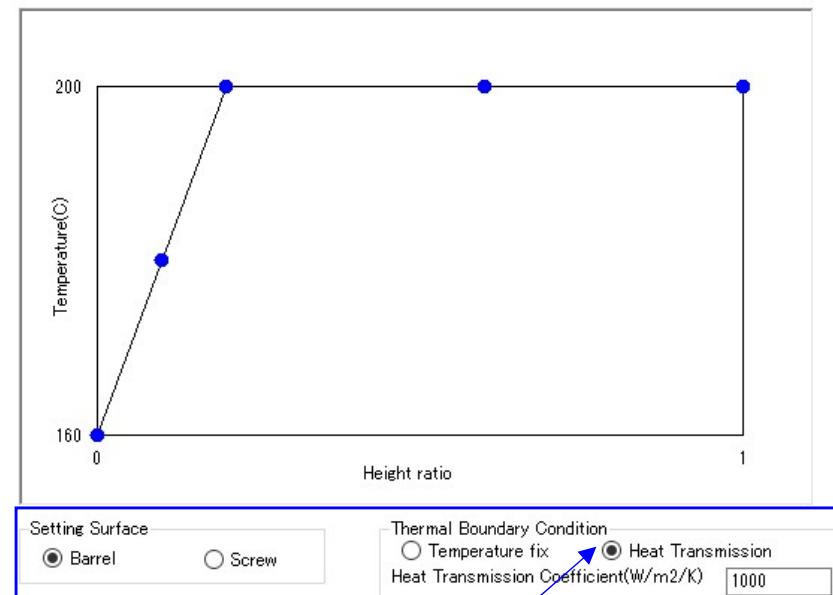
Shear cutoff(1/s) 1E+10 No-flow temperature (°C) 100

No-flow viscosity(Pa · s) 1000 Viscous heating power ratio 1

2.5D FEM にチェックすると 現行温度解析
1D FDM にチェックすると 新規温度解析 が適用されます.

* 新規温度解析の場合, Temperature SOR iteration number
には0が設定されます. ⇒ 計算時間が短縮

(2) Thermal boundary condition set Tab で
バレル壁面の熱伝達係数を設定する.



新規温度解析の場合, Temperature fix は適用されません.
(バレル側熱伝達規定, スクリュ側断熱扱い(熱伝達係数0)に固定)

熱伝達係数の単位を, W/cm²/K ⇒ W/m²/K に変更しました.

温度分布／新規温度解析(1D FDM)

【解析結果／温度分布(°C)】



(a-新1) 20kg/h, Hfix 1000 W/m²/K



(a-新2) 20kg/h, Hfix 500 W/m²/K



(b-新1) 40kg/h , Hfix 1000 W/m²/K



(b-新2) 40kg/h, Hfix 500 W/m²/K



(c-新1) 60kg/h , Hfix 1000 W/m²/K



(c-新2) 60kg/h, Hfix 500 W/m²/K



(d-新1) 80kg/h , Hfix 1000 W/m²/K



(d-新2) 80kg/h, Hfix 500 W/m²/K



新規温度解析では、スクリュ軸方向への熱対流効果の影響度が大きいため、押出量が多いほど出口温度が低下する傾向が得られた。

温度解析結果の比較

現行温度解析(2.5D FEM)

(a-現1) 20kg/h, Tfix



(b-現1) 40kg/h , Tfix



(c-現1) 60kg/h , Tfix



(d-現1) 80kg/h , Tfix



新規温度解析(1D FDM)

(a-新2) 20kg/h, Hfix 1000 W/cm²/K



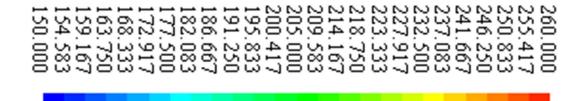
(b-新2) 40kg/h, Hfix 1000 W/cm²/K



(c-新2) 60kg/h, Hfix 1000 W/cm²/K



(d-新2) 80kg/h, Hfix 1000 W/cm²/K



温度解析モデルを変更することで、温度分布の傾向が大きく変化するため、
実際の実験結果を考慮して、適切な解析方法を選択することを推奨致します。

温度解析の新規実装機能(オプション): 溶融温度未満における解析条件の詳細設定

流路内で発生する粘性発熱項 $\eta \dot{\gamma}^2$ は、スクリュ内の樹脂溶融状態に依らず同じ寄与率で計算されているため、樹脂溶融温度(T_m)未満の領域において、過剰な(実験と乖離した)粘性発熱が発生する場合があります。そこで T_m 未満の領域におけるせん断発熱項の寄与を、溶融後とは独立に設定できる機能を追加しました。加えて、バレルとの熱伝達係数についても、 T_m 未満の領域を溶融後と独立に設定できる機能を追加しました。

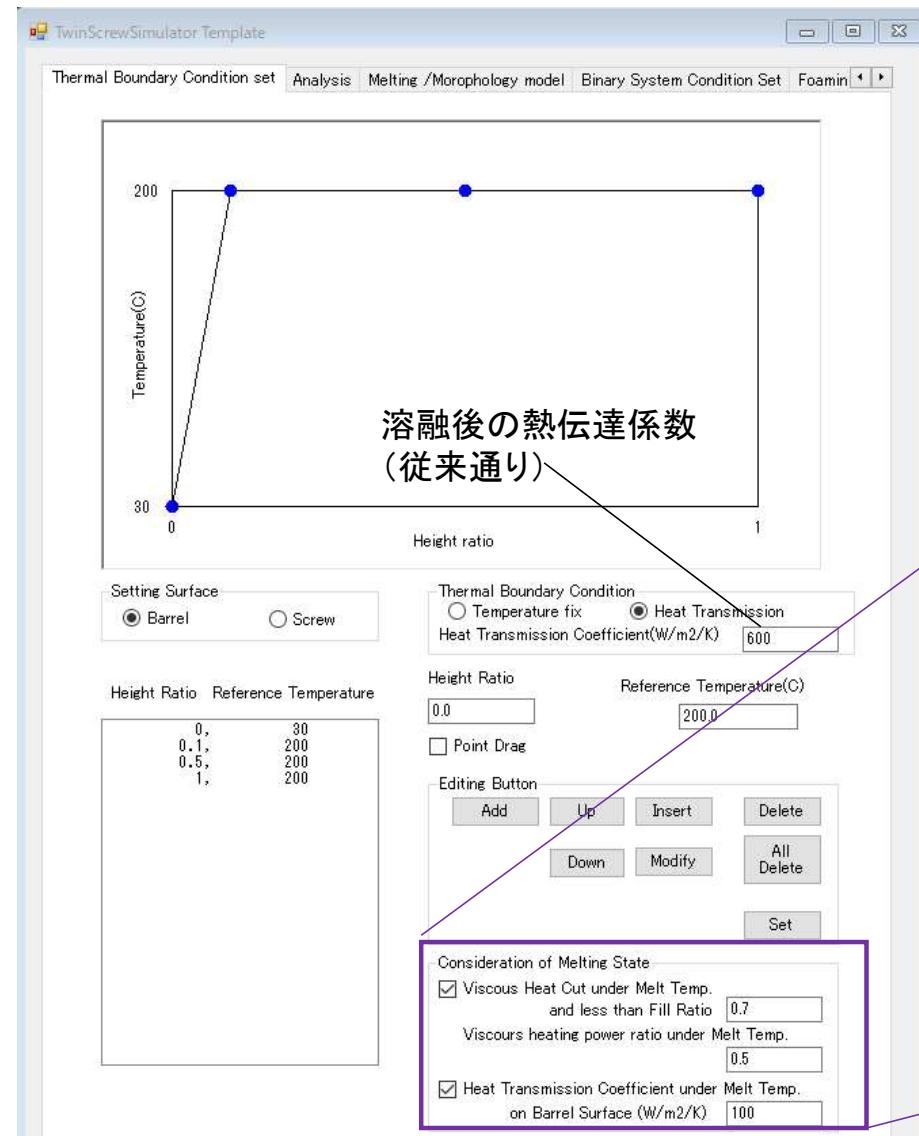
【設定1】解析温度が T_m 未満の場合、充満率に応じてせん断発熱項の寄与を変更する。

Cf. 従来は全領域で共通の寄与率となる。

【設定2】解析温度が T_m 未満の場合と溶融温度以上の場合で、異なる熱伝達係数を設定する。

Cf. 従来は全領域で共通の熱伝達係数を設定する。

溶融温度未満の場合における解析条件の設定方法



Solid phase parameter set

Solid phase parameter

Solid density: 960 [kg/m ³]
Solid heat capacity: 2303 [J/kg/K]
Melt temperature: 130 [°C] (highlighted)
Latent heat: 201189 [J/kg]

溶融温度Tmは材料データ内で定義されている。

チェックすると、解析温度がTm未満の場合に、以下条件で解析する。

- 充満率が(A)以下の場合、粘性発熱項を考慮せず(寄与0)、
- 充満率が(A)より大きい場合、粘性発熱項 ×(B)を考慮する。

Consideration of Melting State

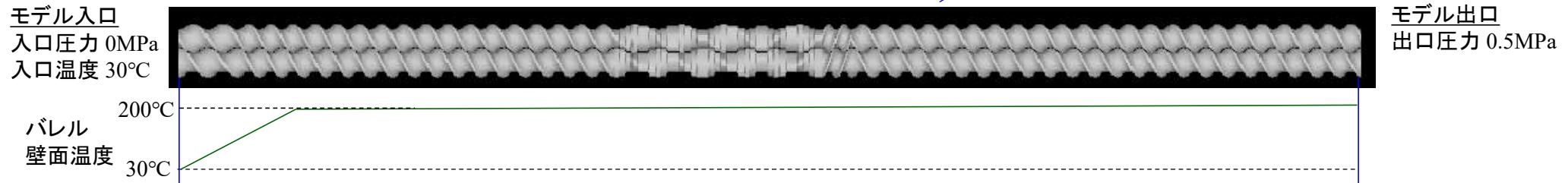
- Viscous Heat Cut under Melt Temp. and less than Fill Ratio: 0.7 - (A), 範囲 0.0~1.0
- Viscous heating power ratio under Melt Temp.: 0.5 - (B), 範囲 0.0~1.0
- Heat Transmission Coefficient under Melt Temp. on Barrel Surface (W/m²/K): 100 - (C)

チェックを入れると、解析温度が Tm 未満 の場合には、(C)で設定したバレル熱伝達係数が解析で使用される。

解析例: バレル径20mm, L/D=40 (1600mm) 二軸スクリューモデル

モデル要素数 40800,
肉厚方向分割数 10

樹脂データ HDPE_B3, 押出量 40kg/h, スクリュ回転数 150rpm, 未充满解析(Un-fill analysis)

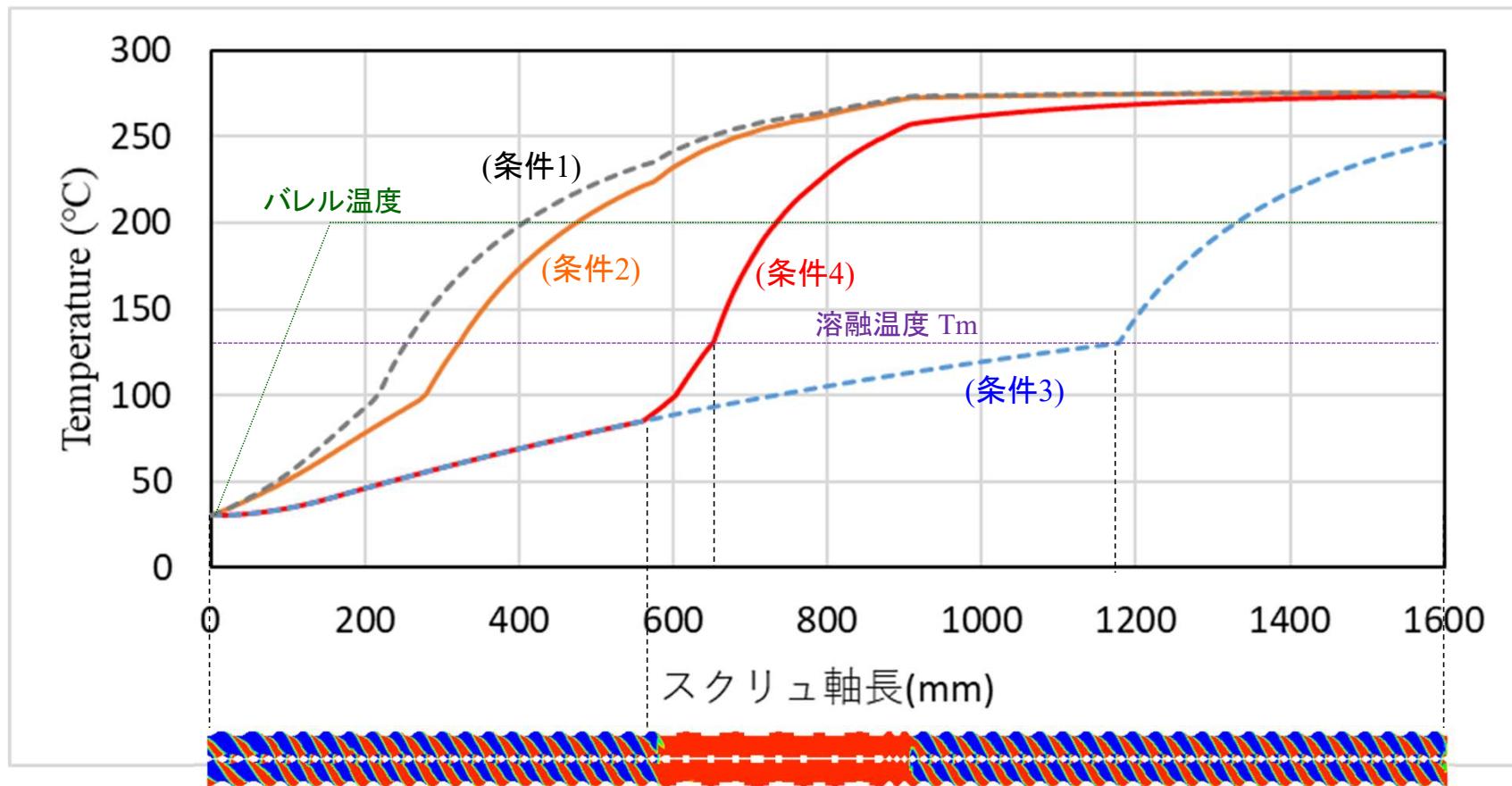


- ・温度解析: 1D FDM (2.5D FEM にも適用可能)
- ・樹脂溶融温度: $T_m = 130^\circ\text{C}$
- ・溶融未満の温度条件設定: 以下の4水準
 - (条件1) バレル熱伝達係数: 600 W/m²/K 一定(従来通り)
 - (条件2) バレル熱伝達係数: 溶融前 100 W/m²/K, ⇒ 溶融後600 W/m²/K
 - (条件3) バレル熱伝達係数: 溶融前 100 W/m²/K, ⇒ 溶融後600 W/m²/K
粘性発熱項: 溶融前の寄与率 0.0 (0%)
 - (条件4) : バレル熱伝達係数: 溶融前 100 W/m²/K, ⇒ 溶融後600 W/m²/K
粘性発熱項: 溶融前で充满率が, 0.7以下の場合, 寄与率 0.0 (0%)
0.7より大きい場合, 寄与率 0.5 (50%)

Consideration of Melting State

<input checked="" type="checkbox"/> Viscous Heat Cut under Melt Temp. and less than Fill Ratio	0.7
Viscous heating power ratio under Melt Temp.	0.5
<input checked="" type="checkbox"/> Heat Transmission Coefficient under Melt Temp. on Barrel Surface (W/cm ² /K)	0.01

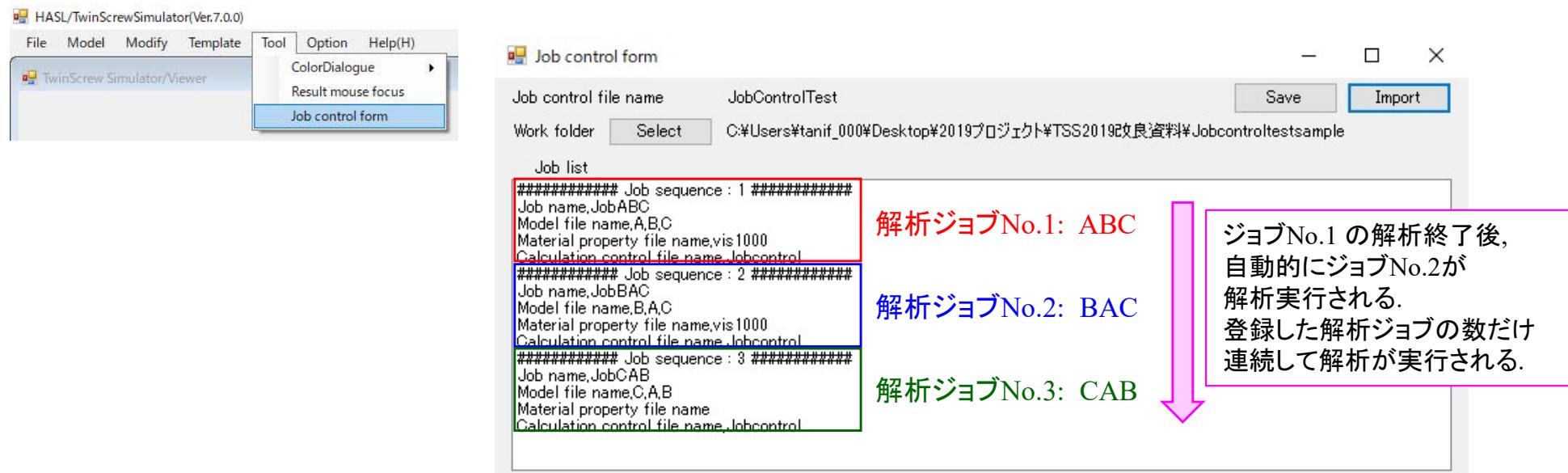
【解析結果／スクリュ軸長 vs. 温度分布(°C)】



(3) Job Control Form(解析ジョブの連続投入機能)の改良

Ver6.0.0で機能実装されたJob control formを利用すると、登録した解析ジョブを逐次解析実行することが可能です。今回は、Job control formで解析した場合に、通常の解析実行時と同様に、Ver6.0.0以降で追加された各種履歴情報(.strain, .suminfなど)の出力結果を得られるようにしました。

Job Control Form 機能: 詳細内容は Ver6.0.0(2019)改良成果資料.ppt を参照ください。



連続解析終了後の作業フォルダ内

JobABC.strain	2021/06/10 13:54
JobABC.suminf	2021/06/10 13:54
JobABC.tsmodel	2021/06/10 13:54
JobABC.twinres	2021/06/10 13:54
JobABC.twinres2d	2021/06/10 13:54
JobBAC.strain	2021/06/10 13:54
JobBAC.suminf	2021/06/10 13:54
JobBAC.tsmodel	2021/06/10 13:54
JobBAC.twinres	2021/06/10 13:54
JobBAC.twinres2d	2021/06/10 13:54
JobCAB.strain	2021/06/10 13:55
JobCAB.suminf	2021/06/10 13:55
JobCAB.tsmodel	2021/06/10 13:54
JobCAB.twinres	2021/06/10 13:55
JobCAB.twinres2d	2021/06/10 13:55

解析ジョブNo.1に
関連するファイル

解析ジョブNo.2に
関連するファイル

解析ジョブNo.3に
関連するファイル

- ・ファイル名.strain: 履歴解析ファイル
(参考: ver.7.0.0(2020) 改良成果資料)

<input checked="" type="checkbox"/> History calculation
<input type="radio"/> Explicit <input checked="" type="radio"/> Implicit
<input checked="" type="checkbox"/> Strain
<input checked="" type="checkbox"/> Stress
<input checked="" type="checkbox"/> Viscous heating

軸方向距離 (mm)	ひずみ速度の時間履歴値 (mm)
6	0.00E+00
8	0.00E+00
10	0.00E+00
12	0.00E+00
14	4.188163
16	7.337587
18	10.75843
20	13.84272

- ・ファイル名.suminf: 各種物理量の軸方向履歴情報(ver.7.0.0より解析後に自動出力)

Ver8.0.0より追加

軸方向分割数	軸方向距離	区分充満率	区分体積	区分滞留時間 (区分積算)	滞留時間 sec	区分最小ひずみ速度	区分平均ひずみ速度	区分最大ひずみ速度	区分最小溶融粘度	区分平均溶融粘度	区分最大溶融粘度	区分平均温度	区分平均圧力
												tempave	presave
n	zlength	fillnave	voln	dtn	restime	gammin	gamave	gammax	vismin	visave	vismax		
	mm		cc	sec	sec	1/sec	1/sec	1/sec	Pa*sec	Pa*sec	Pa*sec	C	MPa
1	0.00E+00	0.160407	1.469059	3.27E-02	3.27E-02	253.1786	337.8486	703.4715	404.1291	559.8322	618.1627	150	0.451998
2	1.5	0.161507	1.463522	3.28E-02	6.54E-02	261.656	357.4198	745.1604	392.5171	547.8947	607.1518	150.4202	0.44338
3	3	0.162427	1.452936	3.27E-02	9.81E-02	268.6295	360.1829	879.8976	363.7504	547.1495	597.8512	150.8525	0.431119
4	4.5	0.163664	1.440999	3.27E-02	0.130818	273.0224	353.8646	871.6453	363.7146	548.2504	591.358	151.2451	0.422832
5	6	0.164504	1.433608	3.27E-02	0.163505	275.9235	354.8194	1049.375	334.3031	546.6307	586.3924	151.6199	0.424036

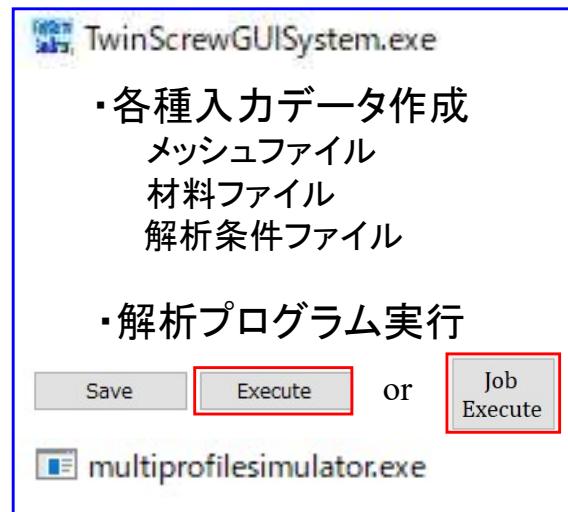
(活用例) エクセル(カンマ区切り)でファイルを開き、横軸に zlength(mm), 縦軸に確認したい物理量を選択してグラフプロットすると、当該物理量のスクリュ軸方向依存性(周方向平均値)が簡便に確認できます。

(4) Windowsコマンドプロンプトを利用した解析ジョブ連続&並列実行方法のご紹介

本項では、(2) Job Control Form の 解析ジョブの連続実行とは別 の方法を用いて、
解析ジョブを連続&並列解析実行させる方法を紹介します。

TSS標準解析方法

- (1) GUI制御プログラム起動
- (2) GUIから解析プログラム実行



コマンドプロンプト利用方法

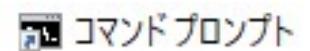
- (1) GUI制御プログラム起動



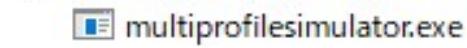
TwinScrewGUISystem.exe

- ・各種入力データ作成
- メッシュファイル
- 材料ファイル
- 解析条件ファイル

- (2) コマンドプロンプトから
解析プログラム実行



コマンドプロンプト

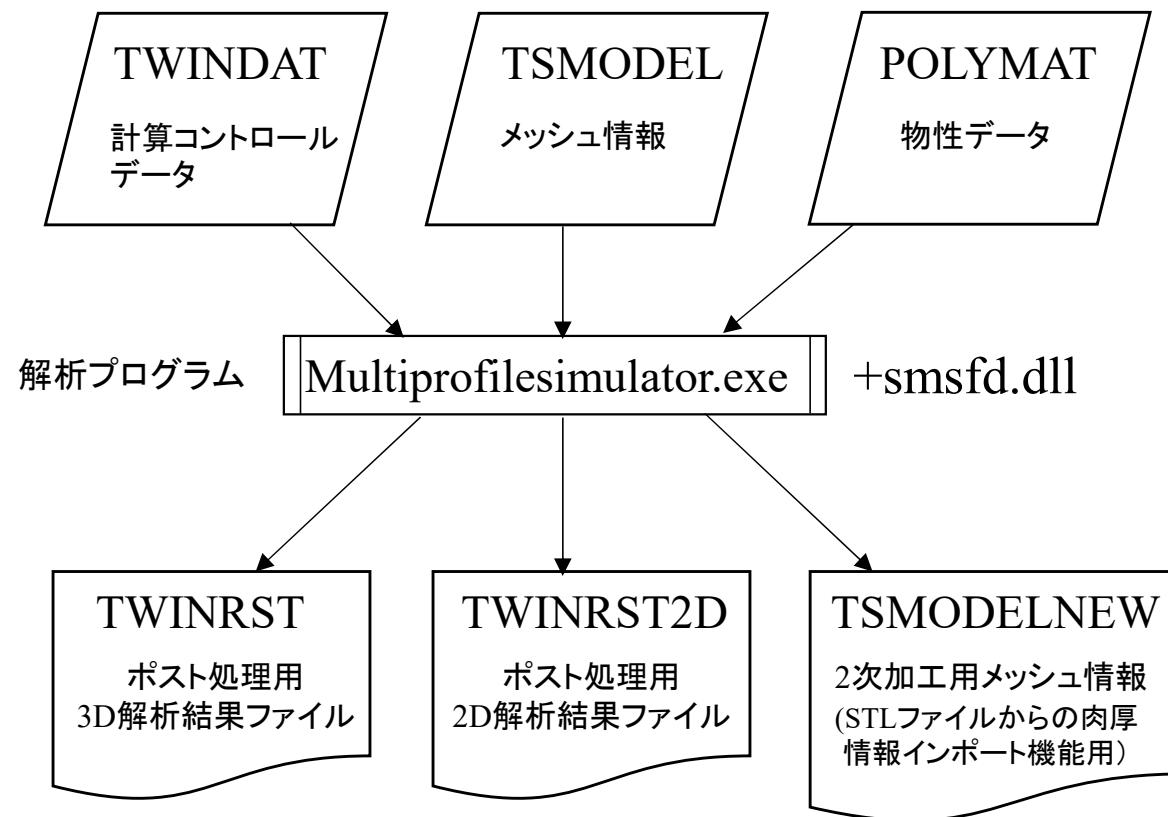


multiprofilesimulator.exe

Windowsのコマンドプロンプトから
直接プログラム実行する。

Twin Screw Simulator の入出力ファイル構成

Twin Screw Simulator の入出力ファイル構成を下図に示します。解析プログラム multiprofilesimulator.exe への入出力ファイル名は、固定名として取り扱われています。具体的には同一作業フォルダー内に3つの入力ファイルと解析プログラム、および DLLファイル(smsfd.dll)が存在すれば、同フォルダー内においてコマンドプロンプトから解析プログラムの実行が可能です。



Twin Screw Simulator のGUI制御プログラムでは、同一フォルダー内で異なる解析条件ファイル式を管理するため、ユーザが設定した‘ファイル名’に拡張子を付けて、入出力ファイルを管理しています。GUI上で解析プログラムの Execute ボタンを押すと、システムフォルダーからmultiprofilesimulator.exeと smsfd.dllを作業フォルダー内にコピーし、作業フォルダー内に準備されているユーザが設定した‘ファイル名’を固定名ファイルにコピーし、解析プログラムを実行します。実行後、解析プログラムの状態を監視し、解析終了時に固定名で出力されるファイルをユーザ設定名の解析結果ファイルにコピーします。

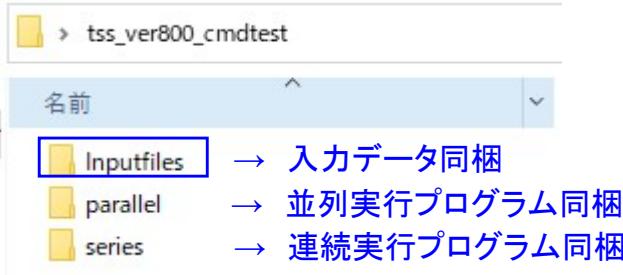
表：入出力ファイルのGUI管理

属性	固定名	ユーザ設定ファイル名	
入	TWINDAT	aaa.tscl	
入	POLYMAT	bbb.pro	
入	TSMODEL	ccc.twinmsh	
出	TWINRST	ddd.twinres	
出	TWINRST2D	ddd.twinres2d	
出	TSMODELNEW	ddd.twinmod	

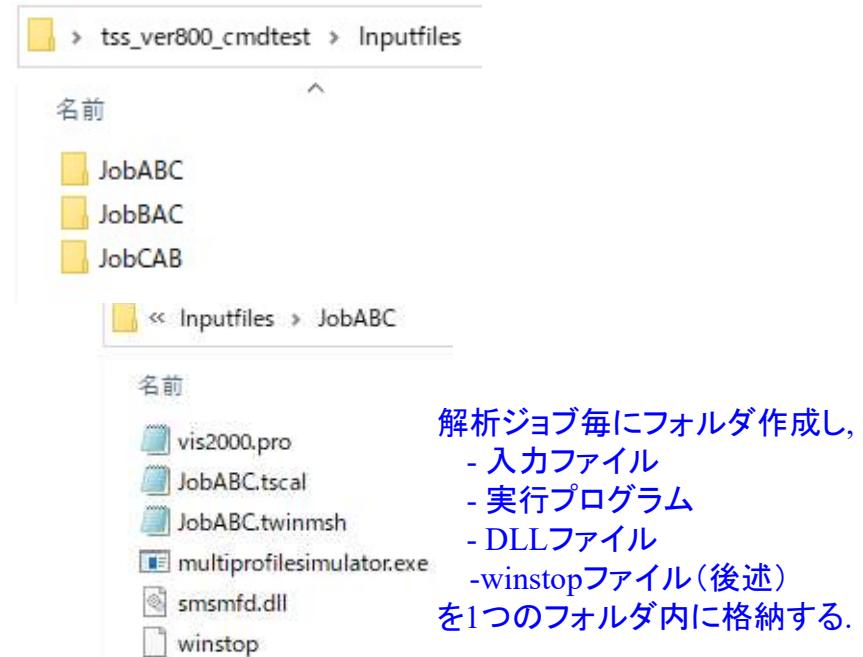
* オプション解析機能を設定して解析した場合、上記以外の入出力管理も行われます。
 (入力例)肉厚変更ファイル⇒THICKINF／ファイル名.thick
 (出力例)ひずみ履歴ファイル⇒STRAIN／ファイル名.strain
 軸方向履歴ファイル⇒SUMINF／ファイル名.suminf

コマンドプロンプトの利用例

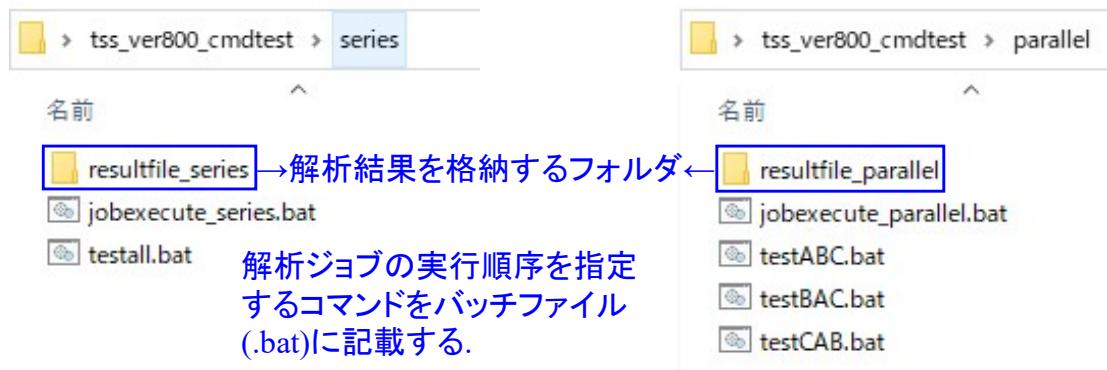
○サンプルフォルダ tss_ver800_cmdtest



○Inputfiles フォルダ



○series(連続実行)／parallel(並列実行)用フォルダ



・バッチファイルを実行するためのコマンドプロンプトを起動します。

```
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.1052]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

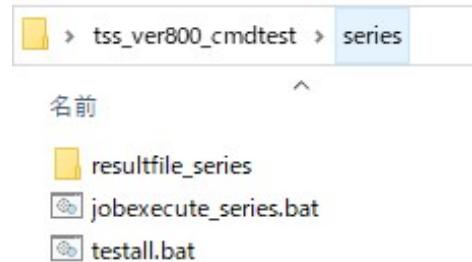
C:\Users\yorit>cd C:\Users\yorit\Desktop\tss_ver800_cmdtest

C:\Users\yorit\Desktop\tss_ver800_cmdtest>
```

cd コマンドでバッチファイルの存在するディレクトリに移動します。

バッチファイル(.bat) の作成例 (1) 連続実行

○series(連続実行)用サンプルフォルダ



- testall.bat ⇒ 解析ジョブ指定用バッチファイル

```
testall.bat (~¥Desktop¥tssver80...e¥tss_ver800_cmdtest¥series) - VI1
cd ..¥Inputfiles¥JobABC
copy JobABC.tscal TWINDAT
copy JobABC.twinmsh TSMODEL
copy vis2000.pro POLYMAT
multiproflesimulator.exe
copy TWINRST ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobABC.twinres
copy TWINRST2D ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobABC.twinres2d
copy SUMINF ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobABC.suminf

cd ..¥JobBAC
copy JobBAC.tscal TWINDAT
copy JobBAC.twinmsh TSMODEL
copy vis2000.pro POLYMAT
multiproflesimulator.exe
copy TWINRST ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobBAC.twinres
copy TWINRST2D ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobBAC.twinres2d
copy SUMINF ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobBAC.suminf

cd ..¥JobCAB
copy JobCAB.tscal TWINDAT
copy JobCAB.twinmsh TSMODEL
copy vis2000.pro POLYMAT
multiproflesimulator.exe
copy TWINRST ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobCAB.twinres
copy TWINRST2D ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobCAB.twinres2d
copy SUMINF ..¥..¥series¥resultfile_series¥JobCAB.suminf|
```

- jobexecute_series.bat ⇒ 起動用バッチファイル



Start コマンドで バッチファイルを実行させる。

解析ジョブNo.1: ABC

各解析ジョブでの記載概要

(1) 対象ジョブのフォルダへ移動

(2) 各入力ファイルの名前を
固定名に変換して内容コピー

(3) multiproflesimulator.exe 実行

(4) 出力された固定名ファイルを
名前変換して内容コピーし
resultfile_seriesフォルダに
保管する。

解析ジョブNo.2: BAC

解析ジョブNo.3: CAB

バッチファイル(.bat) の作成例 (1) 連続実行

○バッチファイルの実行

```
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.1052]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\yorif>cd C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\series

C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\series>jobexecute_series.bat
```

実行するバッチファイル名を入力してEnterキーを押します。

Jobexecute_series.batに記載された start testall.bat の実行により、
新規にコマンドプロンプトが立ち上り、指定した解析ジョブが順番に実行されます。

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - testall.bat

-----
ioutletnodenum= 76 iinletnodenum= 76 iqbc= 1
flowrateoutlet= 8.93750953674316 massfluxflowratesum=
0.000000000000000E+000
iteration = 1 / 5
call tempcal it: 1
call heleshaw
qoutletp= 0.000000E+000 qoutletm= -8.937507
0
ret heleshaw
iblock= 1
flowrateinlet = 8.93750667572021
massfluxflowrate = 0.000000000000000E+000
flowoutlet= 8.93750667572021 cc/s : Mass flux= 24.9999933332381
kg/h
iteration = 2 / 5
call tempcal it: 2
call heleshaw
qoutletp= 0.000000E+000 qoutletm= -8.937507
0
ret heleshaw
iblock= 1
flowrateinlet = 8.93750667572021
massfluxflowrate = 0.000000000000000E+000
flowoutlet= 8.93750667572021 cc/s : Mass flux= 24.9999933332381
kg/h
iteration = 3 / 3
call tempcal it: 3
```



名前

vis2000.pro
JobABC.tscal
JobABC.twinmsh
multiproflesimulator.exe
smsmfd.dll
winstop

*各解析ジョブのフォルダ内にwinstopという名前の空ファイルを置いておくと、解析ジョブ終了後に連続して次の解析が実行されます。
(winstopファイルがないと、1つの解析ジョブが終了する度にEnterキーの入力が必要になります)

・バッチファイルで指定した解析ジョブが終了する度に、
指定フォルダに解析結果ファイルが格納されます。



名前

JobABC.suminf
JobABC.twinres
JobABC.twinres2d
JobBAC.suminf
JobBAC.twinres
JobBAC.twinres2d
JobCAB.suminf
JobCAB.twinres
JobCAB.twinres2d

更新日時

2021/06/
2021/06/
2021/06/
2021/06/
2021/06/
2021/06/
2021/06/
2021/06/
2021/06/

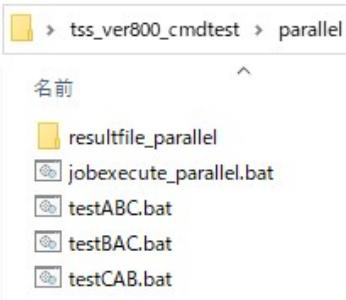
JobABCの出力ファイル

JobABCの出力ファイル

JobABCの出力ファイル

バッチファイル(.bat) の作成例 (2) 並列実行

Oparallel(並列実行)用サンプルフォルダ



- testABC.bat ⇒ JobABC用バッチファイル

```
testABC.bat (~¥Desktop¥tssver800...¥tss_ver800_cmdtest¥parallel) - VI
cd ..\Inputfiles\JobABC
copy JobABC.tsca1 TWINDAT
copy JobABC.twinmsh TSMODEL
copy vis2000.pro POLYMAT
multiproflesimulator.exe
copy TWINRST ..\resultfile_parallel\JobABC.twinres
copy TWINRST2D ..\resultfile_parallel\JobABC.twinres2d
copy SUMINF ..\resultfile_parallel\JobABC.suminf
```

- testBAC.bat ⇒ JobBAC用バッチファイル

- testCAB.bat ⇒ JobCAB用バッチファイル

- jobexecute_parallel.bat ⇒ 起動用バッチファイル

```
jobexecute_parallel.bat (~¥Desktop¥tssver800...¥tss_ver800_cmdtest¥parallel) - VI
start testABC.bat
start testBAC.bat
start testCAB.bat
```

* 解析ジョブ毎にバッチファイルを作成し、それぞれのファイルを Start コマンドで実行させる。

各解析ジョブでの記載概要

- (1) 対象ジョブのフォルダへ移動
- (2) 各入力ファイルの名前を 固定名に変換して内容コピー
- (3) multiproflesimulator.exe 実行
- (4) 出力された固定名ファイルを 名前変換して内容コピーし resultfile_series フォルダに 保管する。

バッチファイル(.bat) の作成例 (2) 並列実行

○バッチファイルの実行

```
cmdプロンプト  
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.1052]  
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.  
C:\Users\yorif\cd C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\parallel  
C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\parallel>jobexecute_parallel.bat
```

実行するバッチファイル名を入力して
Enterキーを押します。

各解析ジョブのコマンドプロンプトが
同時に立上り、独立に解析が
開始されます。

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - testABC.bat  
flowrateinlet = 8.93750667572021  
massfluxflowrate = 0.000000000000000E+000  
flowoutlet= 8.93750667572021 cc/s : Mass flux= 24 kg/h  
iteration = 4 / 5  
call tempcal it: 4  
call heleshaw  
qoutlet= 0.0000000E+00 qoutletm= -8.937507  
ret heleshaw  
iblock= 1  
flowrateinlet = 8.93750667572021  
massfluxflowrate = 0.000000000000000E+000  
flowoutlet= 8.93750667572021 cc/s : Mass flux= 24 kg/h  
iteration = 5 / 5  
call tempcal it: 5  
call heleshaw  
qoutlet= 0.0000000E+00 qoutletm= -8.937507  
ret heleshaw  
iblock= 1  
flowrateinlet = 8.93750667572021  
massfluxflowrate = 0.000000000000000E+000  
flowoutlet= 8.93750667572021 cc/s : Mass flux= 24 kg/h
```

testBAC.bat

testCAB.bat

名前	更新日時
JobABC.suminf	2021/06/
JobABC.twinres	2021/06/
JobABC.twinres2d	2021/06/
JobBAC.suminf	2021/06/
JobBAC.twinres	2021/06/
JobBAC.twinres2d	2021/06/
JobCAB.suminf	2021/06/
JobCAB.twinres	2021/06/
JobCAB.twinres2d	2021/06/

JobABCの
出力ファイル

JobABCの
出力ファイル

JobABCの
出力ファイル

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe  
kg/h  
***** Strain calculation start *****  
***** Strain calculation end *****  
***** Thermal Flow Calucation End *****  
***** Screw Volume : 341.3741 cc  
***** Volumetric flow : 8.93750667572021 cc/sec  
***** Averaged residence time : 38.1956732295416 sec  
***** Torque : 388.2892 (Nm)  
***** Power : 4066.137 (kW)  
***** Averaged outlet pressure : 11.54677 (MPa)  
***** Averaged outlet temperature : 224.8329 (degree)  
##### Program Normal End !!! Press Any Key  
total : 9.715199 sec  
C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\inputfiles\JobBAC\copy TWINRST C:\Users\yorif\Desktop\Yts\resultfile_parallel\JobBAC.twinres  
1 個のファイルをコピーしました。  
C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\inputfiles\JobBAC\copy TWINRST2 C:\Users\yorif\Desktop\Yts\resultfile_parallel\JobBAC.twinres2d  
1 個のファイルをコピーしました。  
C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\inputfiles\JobCAB\copy SUMINF C:\Users\yorif\Desktop\Yts\resultfile_parallel\JobCAB.suminf  
C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\inputfiles\JobCAB\copy TWINRST2 C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\parallel\Yts\resultfile_parallel\JobCAB.twinres2d  
1 個のファイルをコピーしました。  
C:\Users\yorif\Desktop\tss_ver800_cmdtest\inputfiles\JobCAB  
1 個のファイルをコピーしました.
```

以上が、Windowsコマンドプロンプトを利用した解析ジョブ連続&並列実行方法の説明になります。

(1)連続実行と(2)並列実行を組合せたバッチファイルを作成することで、様々な指定方法が可能になります。

○ $3 \times 3 = 9$ 解析ジョブの連続&並列実行のレイアウト案

The diagram illustrates a layout for executing 9 parallel jobs. It consists of two windows:

- Left Window (jobexecute_parallel.bat):** Shows a command-line interface with the following text:

```
start testABC.bat
start testBAC.bat
start testCAB.bat|
```

A blue box highlights the three separate "start" commands, with a red arrow pointing to the right window.
- Right Window (testall.bat):** Shows a command-line interface with the following text:

```
cd ..\Inputfiles\JobABC
copy JobABC.tscal TWINDAT
copy JobABC.twinnish TSMODEL
copy vis2000.pro POLYMAT
multiprofilesimulator.exe
copy TWINRST ..\..\series\resultfile_series\JobABC.twinres
copy TWINRST2D ..\..\series\resultfile_series\JobABC.twinres2d
copy SUMINF ..\..\series\resultfile_series\JobABC.suminf

cd ..\JobBAC
copy JobBAC.tscal TWINDAT
copy JobBAC.twinnish TSMODEL
copy vis2000.pro POLYMAT
multiprofilesimulator.exe
copy TWINRST ..\..\series\resultfile_series\JobBAC.twinres
copy TWINRST2D ..\..\series\resultfile_series\JobBAC.twinres2d
copy SUMINF ..\..\series\resultfile_series\JobBAC.suminf

cd ..\JobCAB
copy JobCAB.tscal TWINDAT
copy JobCAB.twinnish TSMODEL
copy vis2000.pro POLYMAT
multiprofilesimulator.exe
copy TWINRST ..\..\series\resultfile_series\JobCAB.twinres
copy TWINRST2D ..\..\series\resultfile_series\JobCAB.twinres2d
copy SUMINF ..\..\series\resultfile_series\JobCAB.suminf|
```

A blue box highlights the three sets of "copy" and "multiprofilesimulator" commands for each job type (ABC, BAC, CAB).