

二軸スクリュ押出機の 2.5D FEM熱流動シミュレーションと実験検証

谷藤 真一郎

株式会社HASL

〒179-0041 東京都練馬区石神井町3-30-23
石神井ウエスト201

TEL 03-5923-6988 FAX 03-5923-6987

E-mail:tanifuji@hasl.co.jp

URL:<http://www.hasl.co.jp>



AGENDA

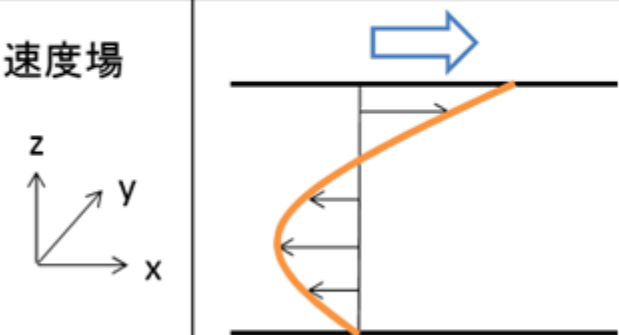
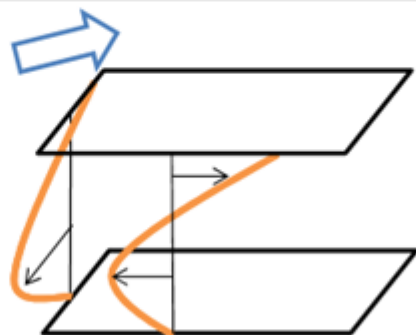
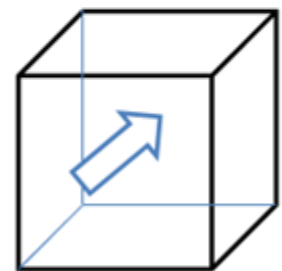
	Page
◇技術開発の背景	2
◇二軸スクリュ押出機内成形現象の定量化法	
・二軸スクリュモデリング技術(Template & UV mapping technology)	5
・Generalized Hele-Shaw flow 2.5D FEM formulation	10
・未充填状態の定量化法 (Pressure downstream update scheme)	15
・溶融可塑化モデル(Concentrated suspension model)	22
◇2.5D FEM解析技術の適用事例	
・繊維破断解析(Fiber attrition model)	33
・二軸スクリュ押出機内充填状態の実験検証解析	39
◇まとめ	43

◇技術開発の背景

Commercially available simulation software for the twin screw extruder

Soft name	Developer/Vendor	Numerical Method	References (URL)
Akro-Co-Twinscrew	University of Akron, USA	FAN	http://www.temarex.com/extrus.htm
TXS	Poly Tech, Polymer Processing Institute, USA	FAN	http://www.polytech-soft.com/txs.htm
Ludovic	Sciences Computers Consultants, France	FAN	http://www.scconsultants.com
Sigma	University of Paderborn, Germany	FAN	http://groups.uni-paderborn.de/ktp/en/software/sigma
TEX-FAN	The Japan Steel, Works, Ltd., Japan	FAN	http://www.jsw.co.jp/
Polyflow	Ansys Inc., USA	FEM	http://www.ansys.com/
Screw flow-multi	R-flow corporation, Ltd., Japan	FVM	http://www.rflow.co.jp/

数値解析技術の特徴

	2D	2.5D	3D
計算手法	FAN法	2.5D FEM法 (Hele-Shaw流れ)	直接数値計算 粒子法など
計算負荷	軽い	中程度	重い
解析対象	押出機全体	押出機全体	一部のエレメント
速度場			
ブランド	Akro-co, Ludvic, TEX-FAN etc.	HASL TSS	Polyflow particle works etc.

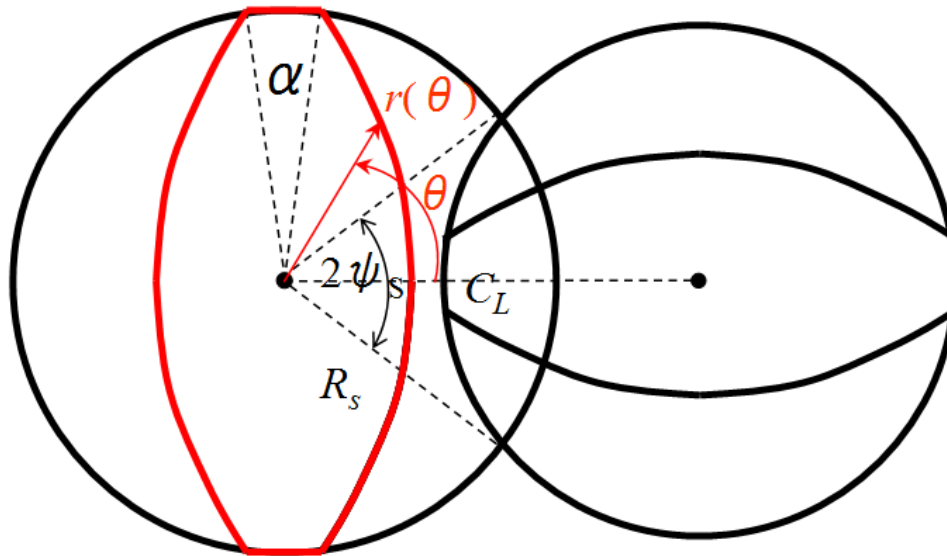
HASL Twin Screw Simulator 技術開発目標

- Robust to use, Easy to use, User-friendly (2D FANメリット踏襲)
- Short computational time :数分～数時間以内(2D FANメリット踏襲)
- Integrated simulation: 全域解析(2D FANメリット踏襲)
- Detail & User customized analysis : (close in on 3D FEM,FVM)

◇二軸スクリュ押出機内成形現象の定量化法

二軸スクリュモデリング技術

Self Wiping Twin Screw & Kneading disk^{*)}



^{*)}参考文献:

M. L. Booy, *Polym. Eng. Sci.*, **18**,973(1978)

$$\psi_s = \cos^{-1}\left(\frac{C_L}{2R_s}\right)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{n_t} - 2\psi_s$$

$$r(\theta) = \sqrt{C_L^2 - R_s^2 \sin^2 \theta} - R_s \cos \theta$$

$$z = \frac{L_p \theta}{2\pi}$$

C_L : 軸間距離

$2\psi_s$: 噛合角

R_s : スクリュ半径

n_t : 条数

α : チップ角

L_p : スクリュピッチ

z : スクリュ長

Template

TwinScrewSimulator Template

Intermeshing Type: Intermeshing co-rotating

Block Number: 5

Barrel radius(mm): 20

Distance between Axis(mm): 32.85

Clearance(mm): 0.5

Total Screw Length(mm): 352

L/D: 8.80000

Screw Configuration

Blk.No.	Type	Rev. or Nor.	Radius Screw	Tips	Disk Angle or Disk Thick.	Pitch or Disk No.	Turns	Length	Division Number Top	Flank	
1.	SW	Nor.	19.5	2	0	30	5	150	2	10	20
2.	KD	Nor.	19.5	2	30	8	5	40	2	10	20
3.	KD	Rev.	19.5	2	30	8	4	32	2	10	20
4.	SW	Rev.	19.5	2	0	20	2	40	2	10	20
5.	SW	Rev.	19.5	2	0	30	3	90	2	10	20

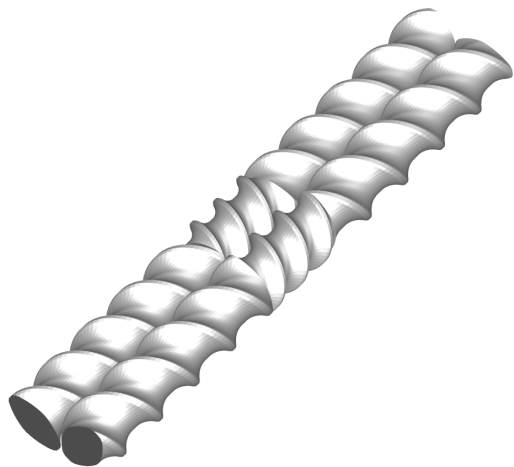
スクリュ形状パラメータの数値入力による容易なモデリング

Input Parameters: Element Type: Self-wiping screw

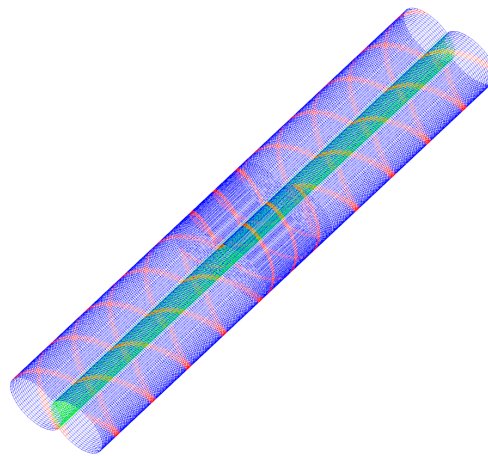
Model Selection: 2.5D Analysis Model For analysis 2D Expanded Model For visualization

Editing Button: Up, Insert, Delete, Meshing, Down, Modify, All Delete, Thickness Plot

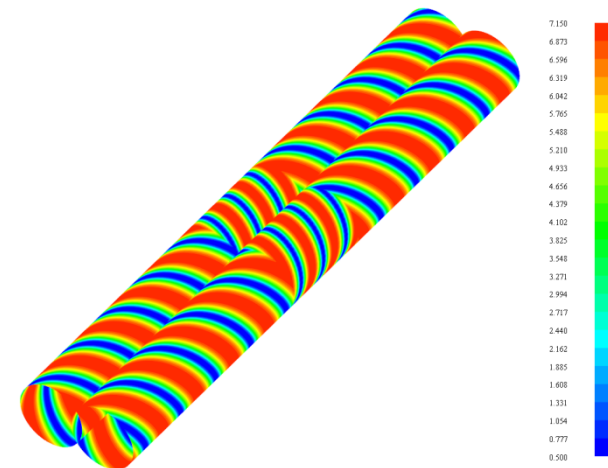
2.5D Hele-Shaw FEM mesh



Co rotating intermeshing self wipe type twin screw

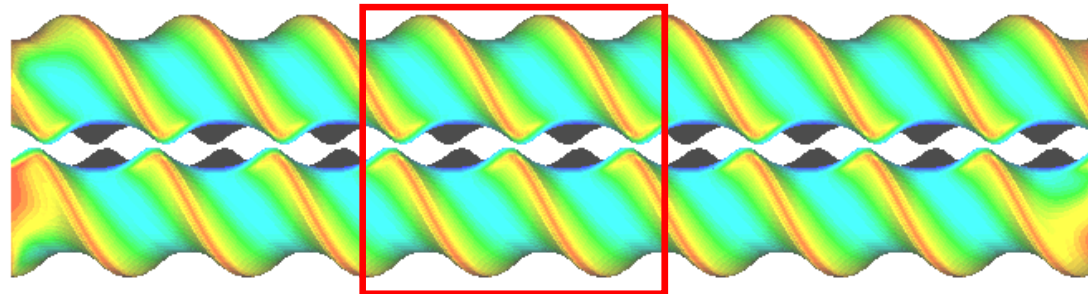


2.5D Hele-Shaw FEM meshes

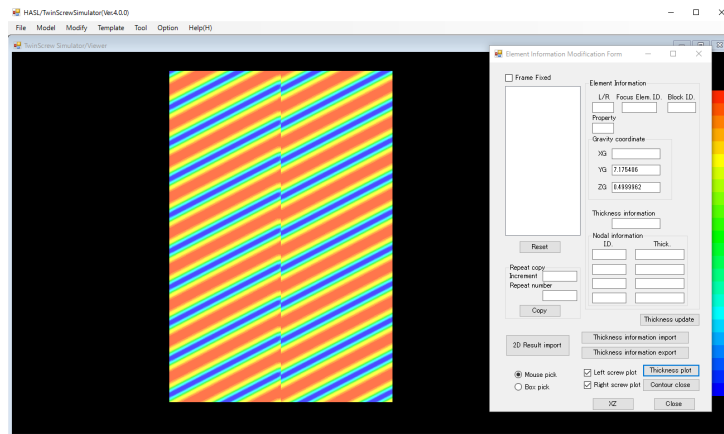


Thickness information mapped on 2.5D Hele-Shaw FEM meshes

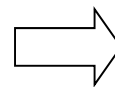
UV mapping technology



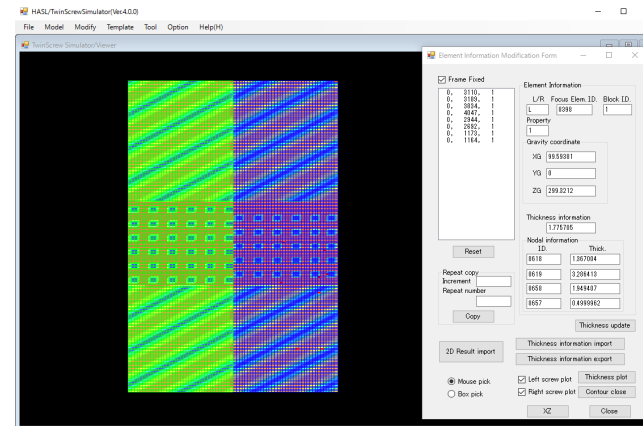
部分的にピンミキシング
エレメントを配置



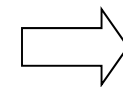
2.5D 解析モデルのUV展開モデル
(Unwound model)のインポート



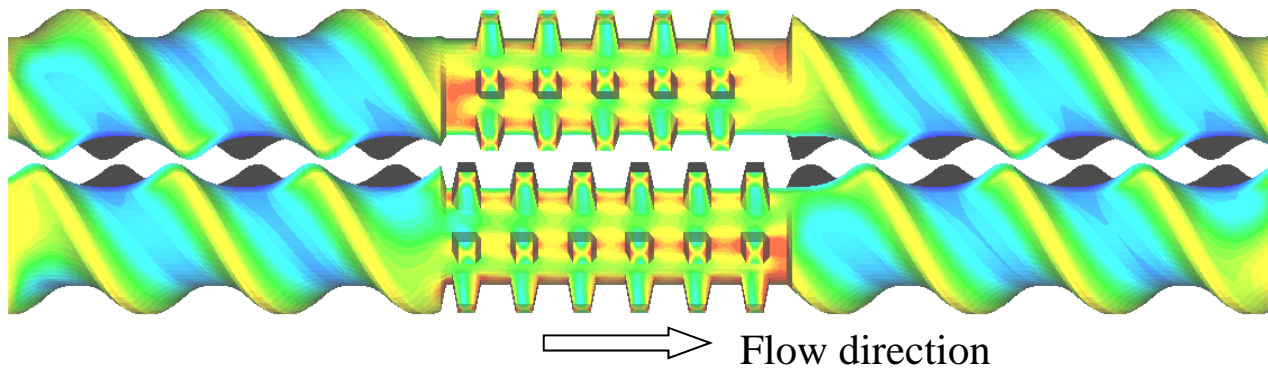
編集



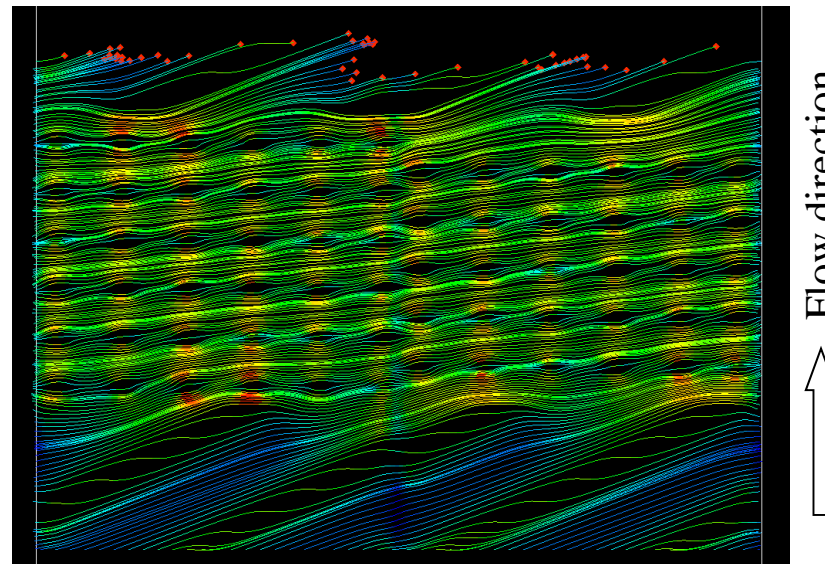
要素単位で肉厚(流路深さ)を
任意編集(当情報を2.5D解析モデルに写像)



解析



Velocity distribution in a twin screw extruder with pin mixing element



Stream lines around pin mixing element
(Unwound display)

Generalized Hele-Shaw flow 2.5D FEM formulation

流体支配方程式(円柱座標系)

$v_r \ll v_\theta, v_z$ を仮定

連続方程式:

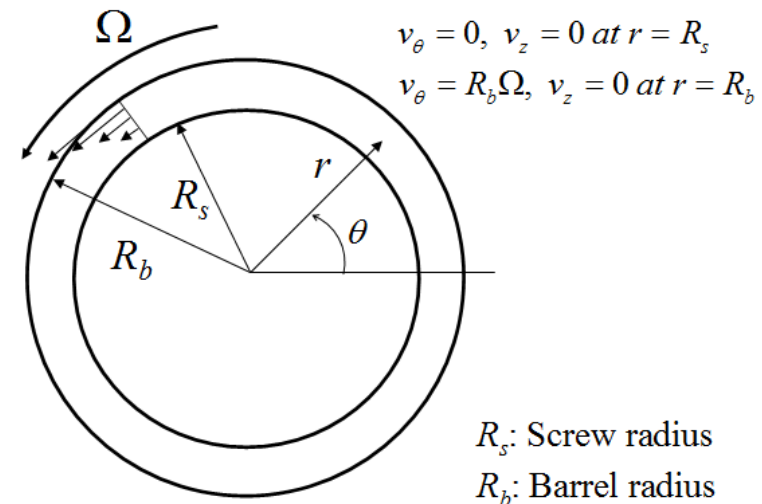
$$\frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

運動方程式 θ 成分:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \eta \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} \right) \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

運動方程式 z 成分:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \eta \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{\partial p}{\partial z}$$



Fluid element between cylinders

圧力変数/座標要素内補間

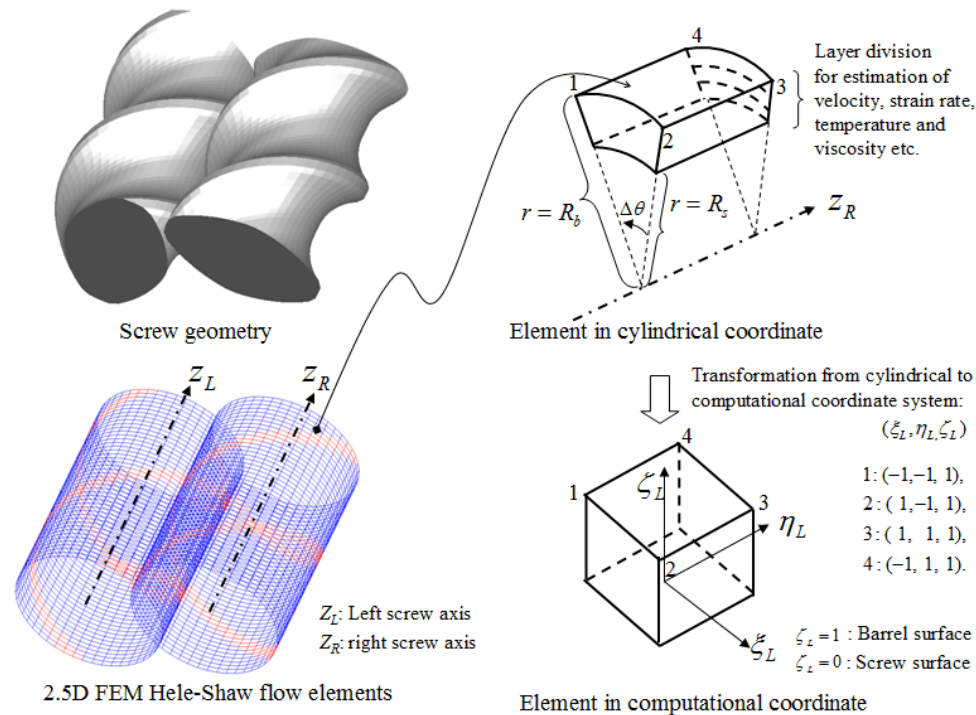
$$p = \sum_{\alpha=1}^4 \phi_{\alpha} P_{\alpha},$$

$$\theta = \sum_{\alpha=1}^4 \phi_{\alpha} \theta_{\alpha}, \quad z = \sum_{\alpha=1}^4 \phi_{\alpha} z_{\alpha}, \quad r = (R_b - R_s) \zeta_L + R_s$$

補間関数

$$\phi_1 = \frac{1}{4}(1 - \xi_L)(1 - \eta_L), \quad \phi_2 = \frac{1}{4}(1 + \xi_L)(1 - \eta_L),$$

$$\phi_3 = \frac{1}{4}(1 + \xi_L)(1 + \eta_L), \quad \phi_4 = \frac{1}{4}(1 - \xi_L)(1 + \eta_L)$$



2.5D FEM Hele-Shaw flow element for the twin screw extruder

$$Q_{\alpha}^e = -\left(S_{\alpha\beta}^{e\theta} + S_{\alpha\beta}^{ez}\right) p_{\beta}^e + D_{\alpha}^e$$

節点を通過
する流量

圧力勾配流れの
流量寄与

牽引流れの
流量寄与

$$Q_{\alpha}^e = \int_{\Gamma_e} \phi_{\alpha} (n_{\theta} q_{\theta} + n_z q_z) d\Gamma,$$

$$S^{\theta} = \frac{1}{4} \left(\alpha_c - \frac{\beta_c^2}{\gamma_c} \right), \quad S^z = \frac{1}{4} \left(\delta_c - \frac{\alpha_c^2}{\beta_c} \right),$$

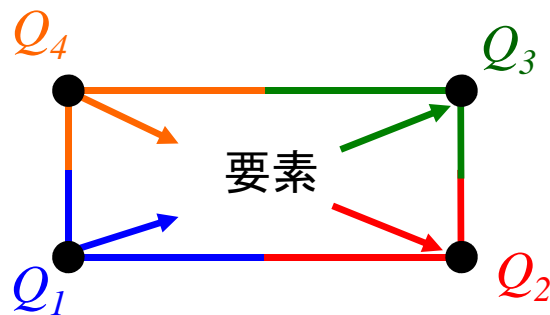
$$S_{\alpha\beta}^{e\theta} = S^{\theta} \int_{S_e} \frac{\partial \phi_{\alpha}}{\partial \theta} \frac{\partial \phi_{\beta}}{\partial \theta} dS, \quad S_{\alpha\beta}^{ez} = S^z \int_{S_e} \frac{\partial \phi_{\alpha}}{\partial z} \frac{\partial \phi_{\beta}}{\partial z} dS, \quad D^{\theta} = \frac{\Omega}{2} \left(R_b^2 - \frac{\beta_c}{\gamma_c} \right)$$

$$D_{\alpha}^e = D^{\theta} \int_{S_e} \frac{\partial \phi_{\alpha}}{\partial \theta} dS$$

$$\alpha_c = \int_{R_s}^{R_b} \frac{r}{\eta} dr, \quad \beta_c = \int_{R_s}^{R_b} \frac{1}{\eta r} dr, \quad \gamma_c = \int_{R_s}^{R_b} \frac{1}{\eta r^3} dr, \quad \delta_c = \int_{R_s}^{R_b} \frac{r^3}{\eta} dr$$

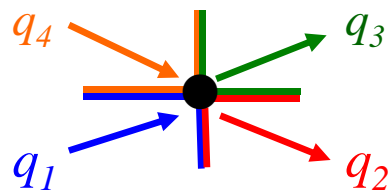
当定式化の特長

- ・連立方程式により求めるべき変数が圧力と温度変数になるため計算負荷が小さい。
- ・圧力と温度が求められれば、肉厚方向の線積分で流速、ひずみ速度、粘度分布などの諸量が容易に算出可能。
- ・流入出収支(連続方程式)を高精度に表現。



どのような圧力計算値を用いても、要素内節点流量の総和は0

$$\sum_{\alpha=1}^4 Q_{\alpha} = 0 \quad \because \sum_{\alpha=1}^4 \phi_{\alpha} = 1$$

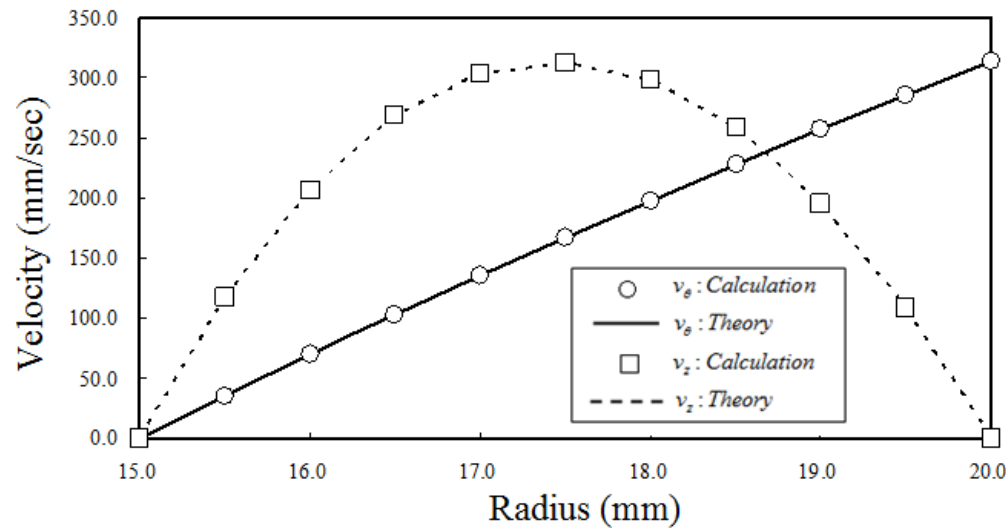
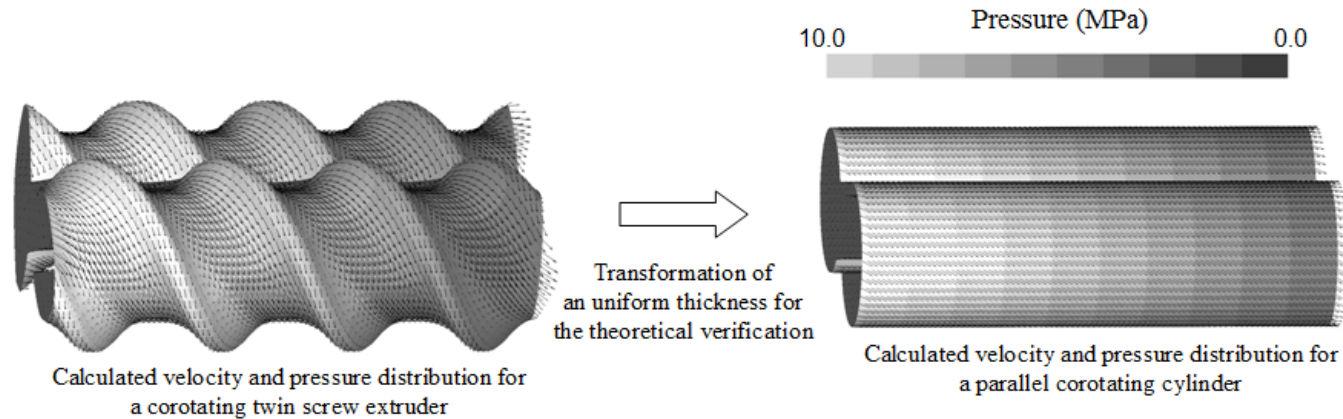


●内部節点

連立方程式より求められる圧力計算値を用いれば、内部節点流量の総和は0

$$\sum_{\alpha=1}^4 q_{\alpha} = 0$$

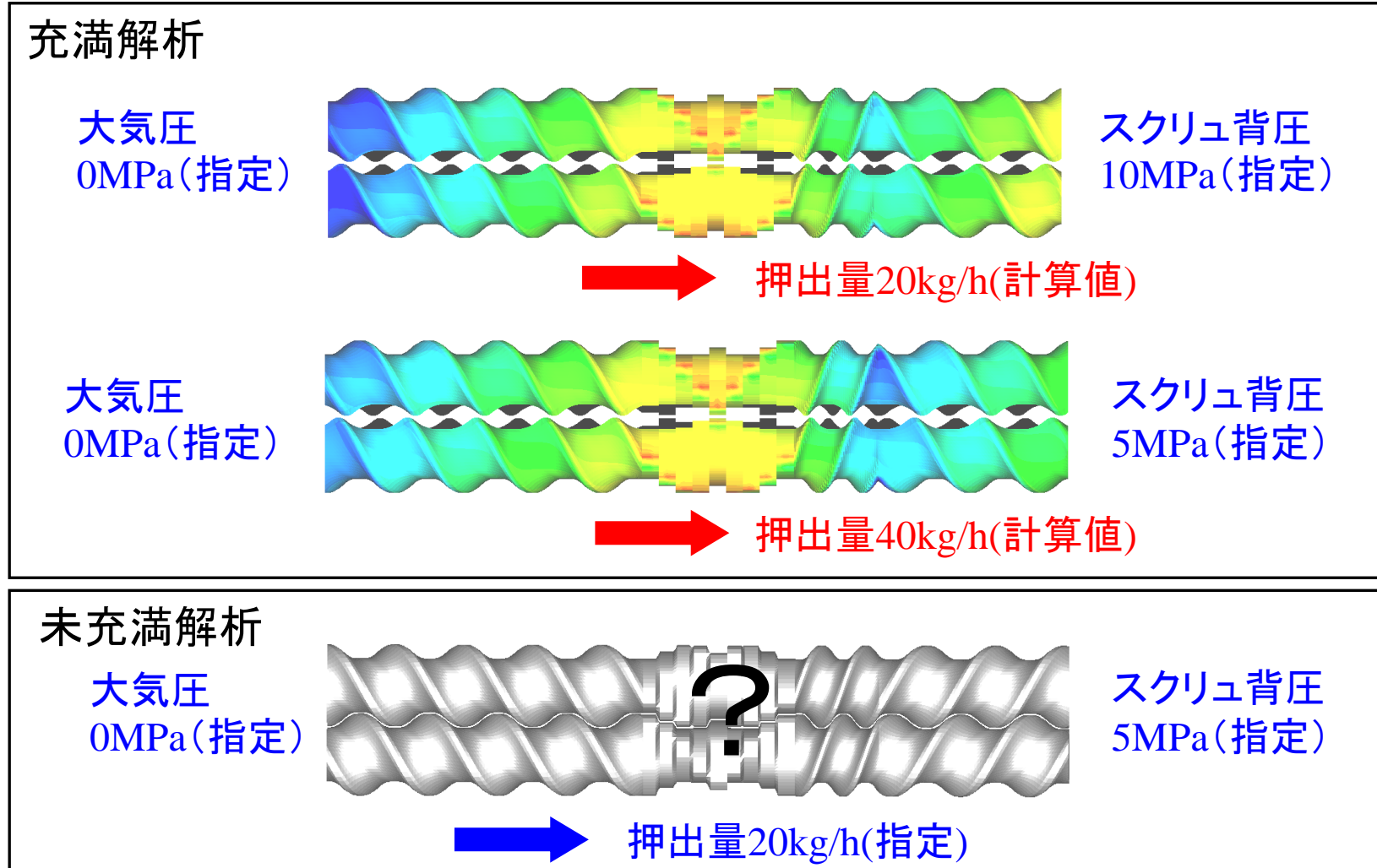
Theoretical verification for a concentric annular flow



$$v_\theta = \Omega r \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_s^2} \right) / \left(\frac{1}{R_b^2} - \frac{1}{R_s^2} \right)$$

$$v_z = \frac{1}{4\eta} \frac{\partial p}{\partial z} (r^2 - R_s^2) - \frac{1}{4\eta} \frac{\partial p}{\partial z} (R_b^2 - R_s^2) \frac{(\log r - \log R_s)}{(\log R_b - \log R_s)}$$

未充満状態の定量化法 (Pressure downstream update scheme)



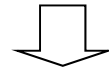
スクリュ内流量バランス式

$$Q = \underbrace{\frac{WV_b H}{4} \sin(2\theta)}_{\text{牽引流量 } Q_d} - \underbrace{\frac{WH^3}{12\eta} \left(\frac{dp}{dx} \right)}_{\text{圧力勾配流量 } Q_p}$$

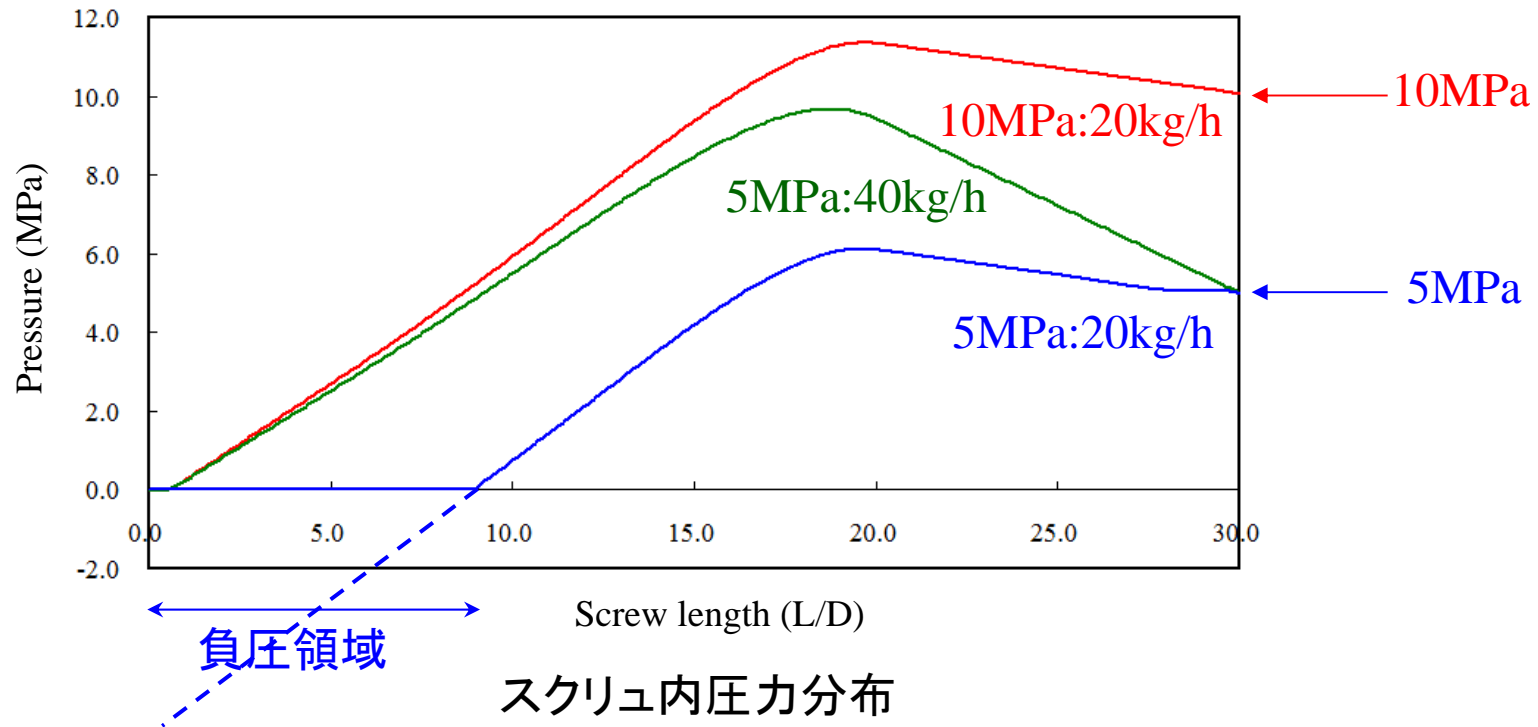
Q :チャンネル内流量	p :圧力
W :チャンネル幅	η :流体粘度
H :チャンネル深さ	x :スクリュ長さ
V_b :バレル相対速度	
θ :螺旋角	

- ・牽引流量 Q_d は、スクリュ形状パラメータと回転数のみによって決定される。
- ・ $dp/dx > 0 \rightarrow Q < Q_d$, $dp/dx < 0 \rightarrow Q > Q_d$
- ・ スクリュ形状、回転数、流量、材料物性に変化が無ければ、当バランス方程式は、 $p \rightarrow p + \Delta p$ (一定値) の変換に対して不変。

- スクリュ形状、回転数、流量、材料物性に変化が無ければ、当バランス方程式は、 $p \rightarrow p + \Delta p$ (一定値) の変換に対して不変。



10MPa:20kg/hの特性は、 $\Delta p = -5\text{MPa}$ とすることで5MPa:20kg/hの特性と一致



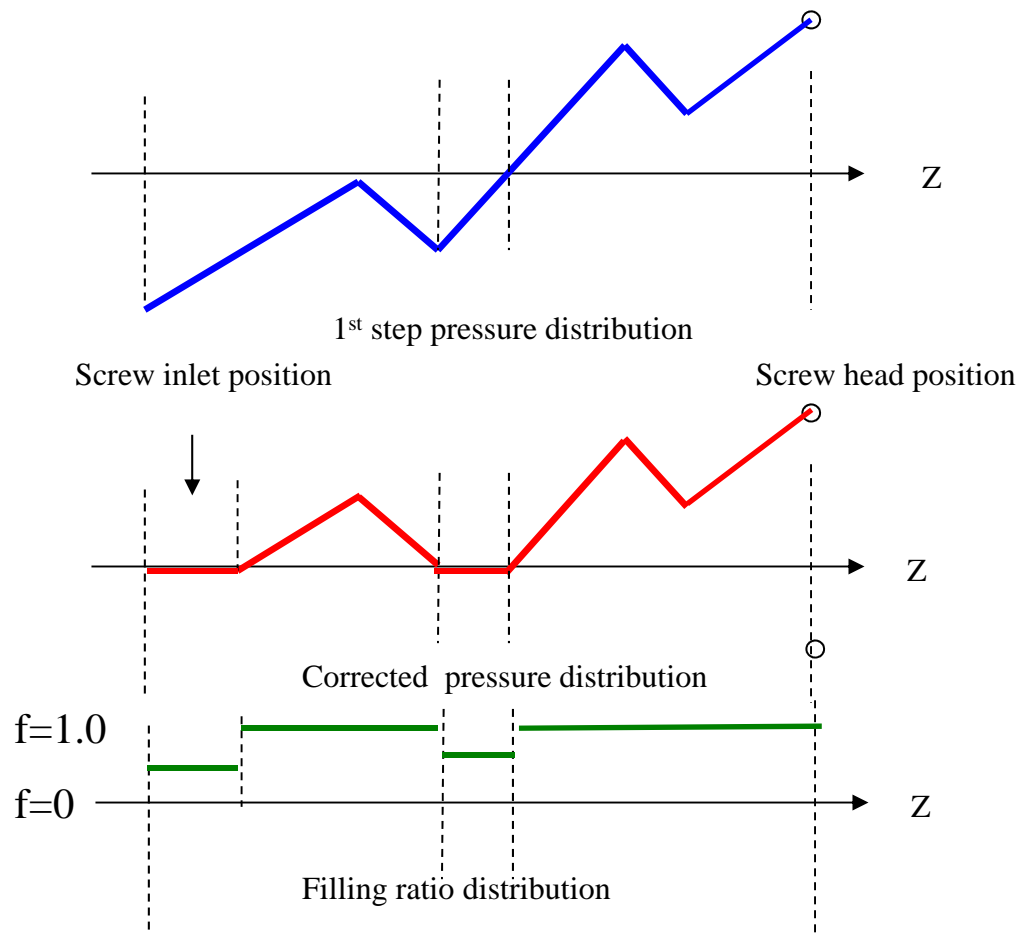
未充満状態判定法

圧力勾配	流量バランス	圧力	状態
$dp/dx < 0$	$Q > Q_d$	必然的に $p > 0$	充満 ¹⁾
$dp/dx > 0$	$Q < Q_d$	$p > 0$	充満 ²⁾
$dp/dx > 0$	$Q < Q_d$	$p < 0$ を $p = 0$ に補正	未充満 ³⁾

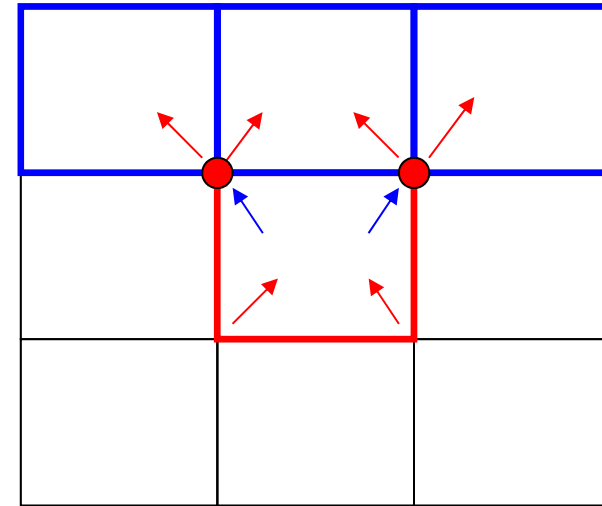
1) $Q > Q_d$ で未充満状態は有り得ない。

2) $Q < Q_d, p > 0$: 充満状態にあり、圧力勾配流量(バックフロー)が、流量を牽引流量から減じている状態。

3) $Q < Q_d, p < 0$: 未充満状態と判定し、 $p = 0, W = fW$ に補正、 $f = Q/Q_d$: 充満率と定義(FAN法の場合)。



FAN



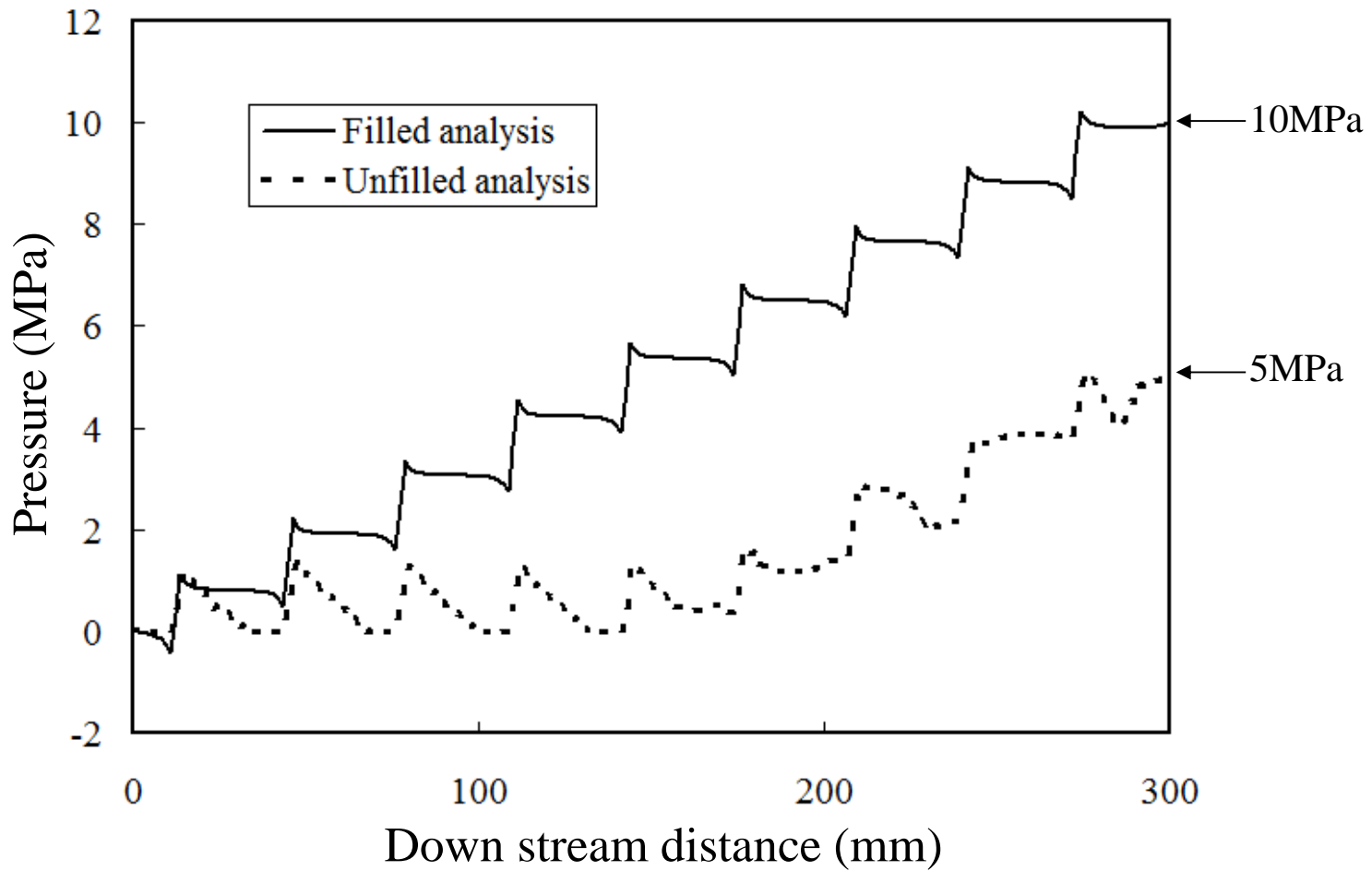
□ : 圧力更新の着目要素
 □ : 風下要素

$$p(z - \Delta z, \theta - \Delta \theta) = p(z, \theta) - \frac{\partial p}{\partial z} \Delta z - \frac{\partial p}{\partial \theta} \Delta \theta$$

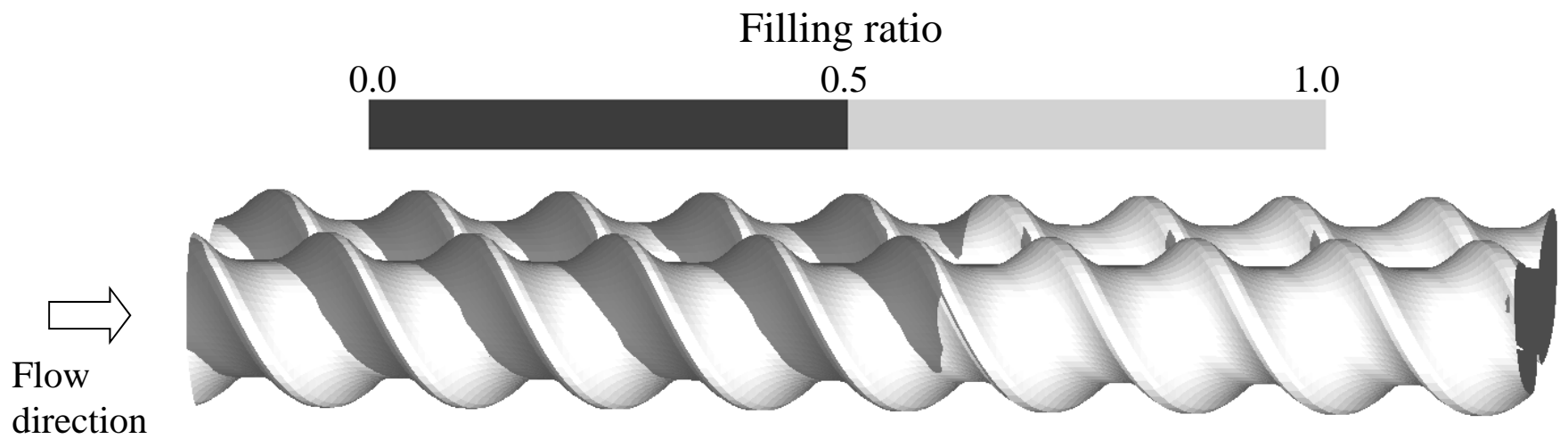
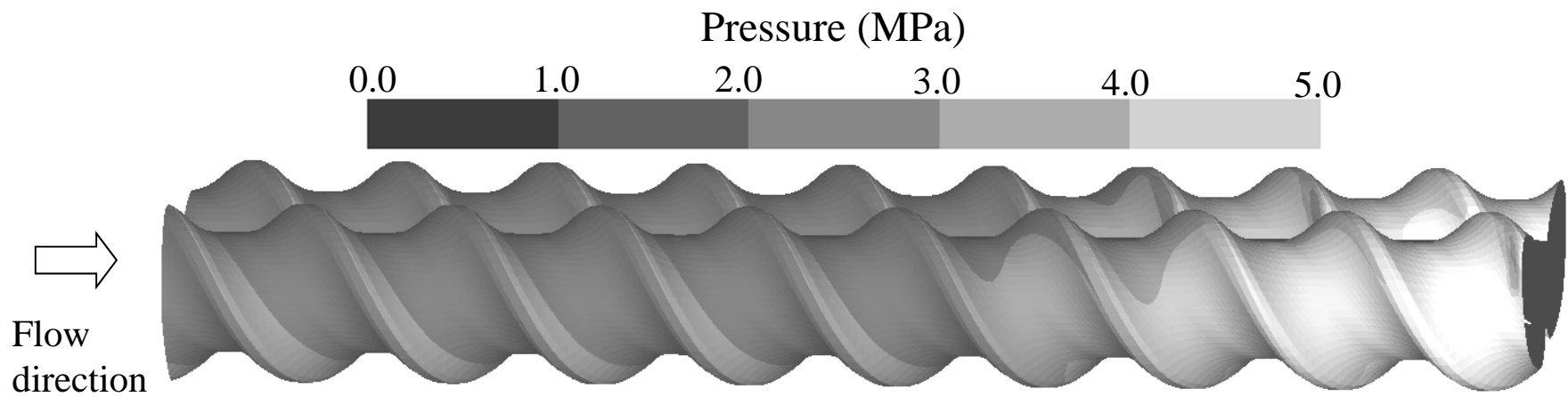
Pressure downstream update scheme

2.5D FEM

未充満領域を想定した圧力計算法

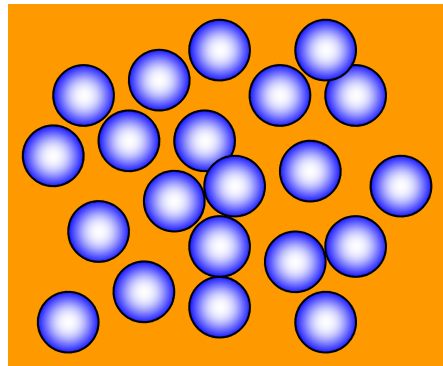


Comparison of predicted pressure distribution between filled and unfilled analysis



Predicted pressure and filling ratio distribution

溶融可塑化モデル(Concentrated suspension model)



● 未溶融ペレット(球体にモデル化)

■ 溶融体

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

$$\eta = \eta_r \eta_l$$

サスペンション粘度

相対粘度

溶融体粘度

Einstein model (希薄系)

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

Krieger-Dougherty model^{*)}(濃厚系)

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

$[\eta]$: 固有粘度(球の場合2.5)

ϕ : 粒子体積濃度

ϕ_m : 最密充填体積濃度

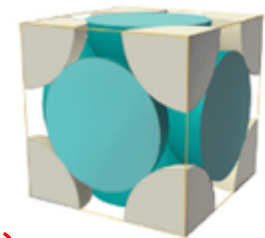
$$\phi_m = \frac{\pi}{\sqrt{18}} \cong 0.74$$

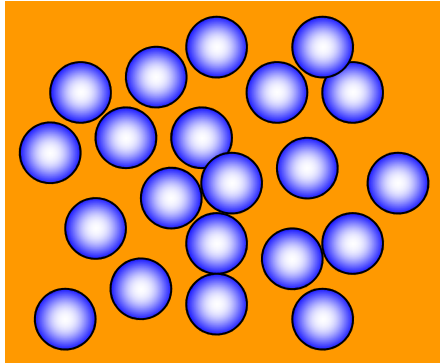
Face centered cubic

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

$\phi_m \cong 0.64$ Random close packing

^{*)}参考文献:I. M. Krieger and T. J. Dougherty, Trans.Soc.Theol.,3,137-152(1959)





単位体積V内に半径Rの球がn個含まれていることを想定すると、

$$\phi(0) = n \frac{4}{3} \pi R(0)^3 / V = \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

ρ_s : 固体密度
 ρ_b : 嵩密度

1) 二軸スクリュ内に入力されるペレットは、下流側に搬送される過程で溶融が促進されて大きさが変化するが、単位体積V内の個数は変化しないと仮定する。

$$\phi(t) = \left(\frac{R(t)}{R(0)} \right)^3 \phi(0) = \left(\frac{R(t)}{R(0)} \right)^3 \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

2) ペレットは、周囲の溶融樹脂(温度 T_l)からの熱流束の影響を受けて溶融が促進される。

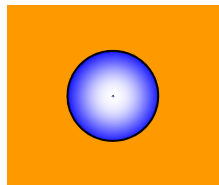
球対称非定常熱伝導方程式

(ペレットの温度状態を決定する支配方程式)

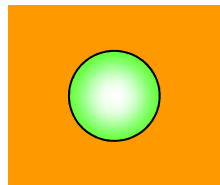
$$\rho_s C_{ps} \frac{DT_s}{Dt} = \frac{\kappa_s}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T_s}{\partial r} \right)$$

ρ_s : 密度 T_s : 温度 T_{av} : 平均温度
 C_{ps} : 比熱 t : 時間
 κ_s : 熱伝導率 r : 半径
 h_{sl} : ペレット/溶融樹脂間熱伝達係数
 T_l : 溶融樹脂温度 T_m : 溶融温度 λ : 潜熱

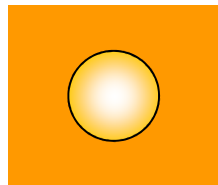
昇温フェーズ ($R=R_0$: 初期半径)



初期時刻 $t=0$



$0 < t < t_m$

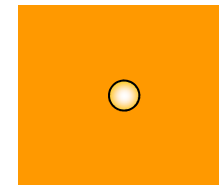
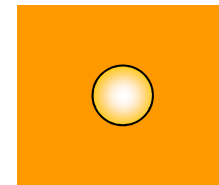
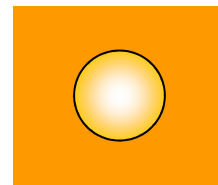


溶融開始時刻 t_m
 $T(R, t_m) = T_m$

温度境界条件:

$$\kappa_s \frac{\partial T_s}{\partial r} \Big|_{r=R} = h_{sl} (T_f - T_s) \Big|_{r=R}, \quad \frac{\partial T_s}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0$$

溶融フェーズ ($DR/Dt < 0$)



$t_m < t$

温度境界条件: $T_s|_{r=R} = T_m, \quad \frac{\partial T_s}{\partial r} = 0$

Melting front 運動学的条件式:

$$\kappa_s \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} = h_{sl} (T_f - T_m) + \rho_s (C_{ps} (T_m - T_{av}) + \lambda) \frac{DR}{Dt}$$

計算例

Computational conditions

Spherical initial radius (m)

Division number

Time increment (sec)

Computational cycle

Graphplot interval

Initial temperature (°C)

Timer time interval(μs)

Liquid temperature(°C)

Heat transmission (W/m2/K)

Melting calculation

Physical properties

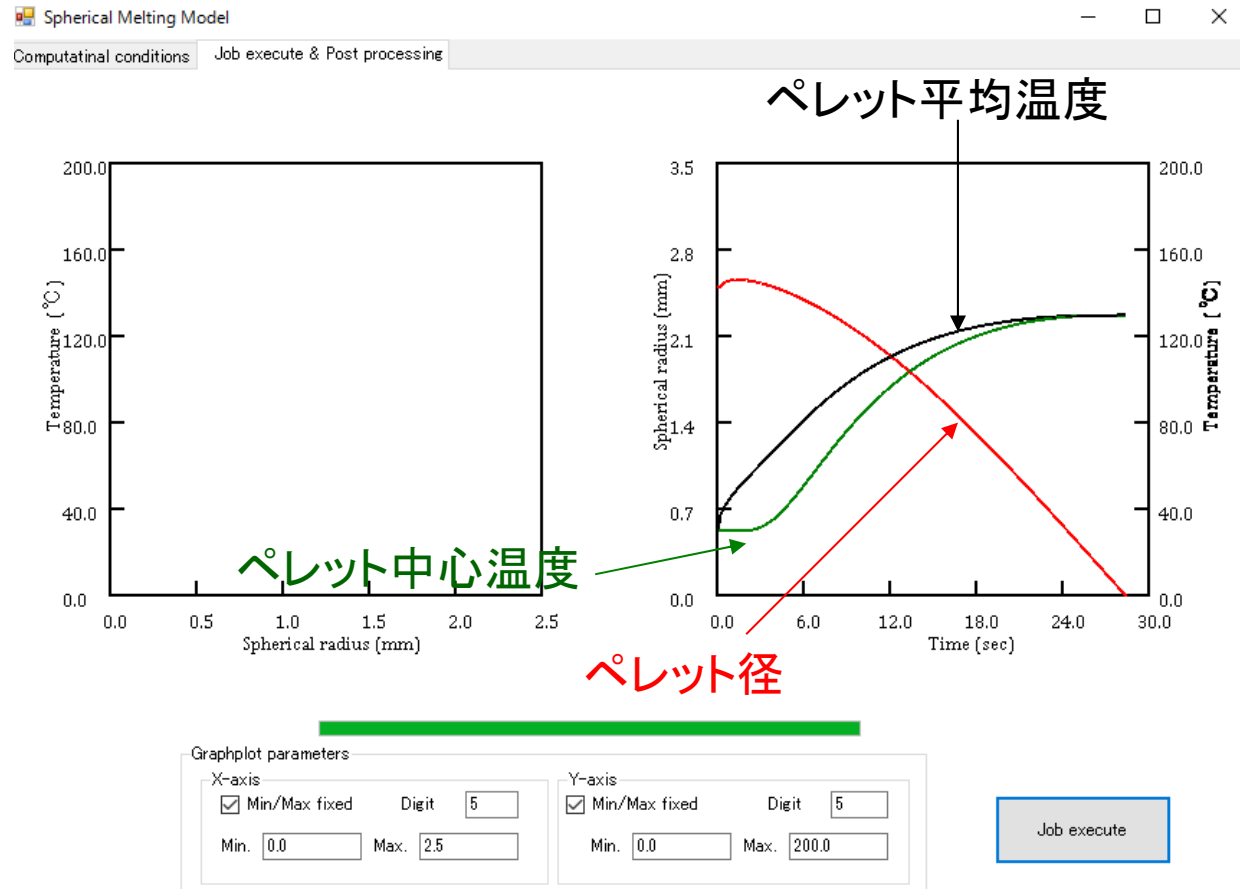
Density (kg/m3)

Heat capacity (J/kg/K)

Thermal conductivity (W/m/K)

Melt temperature (°C)

Latent heat (J/kg)



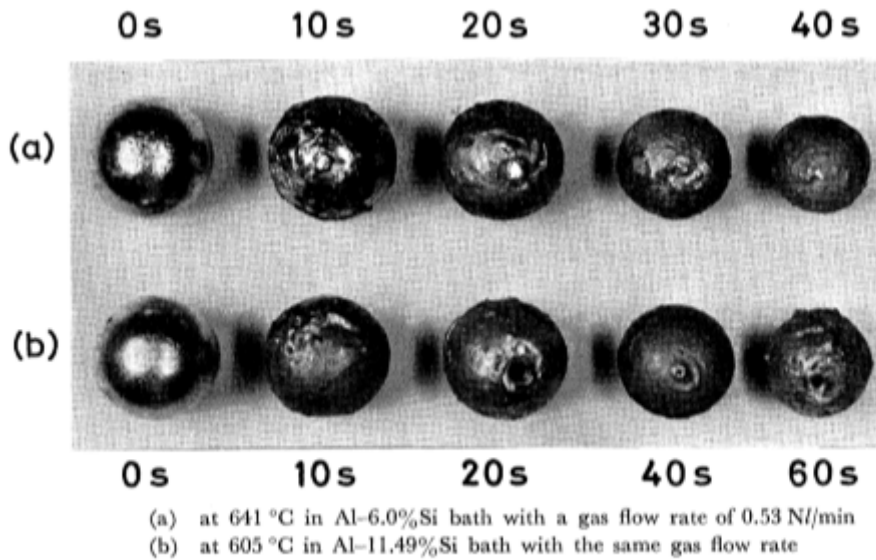


Photo. 1. Features of aluminum spheres before and after the immersion.

出典 : S.Taniguchi, M.Ohmi and S.Ishiura, Trans. ISIJ, 571, 23(1983)

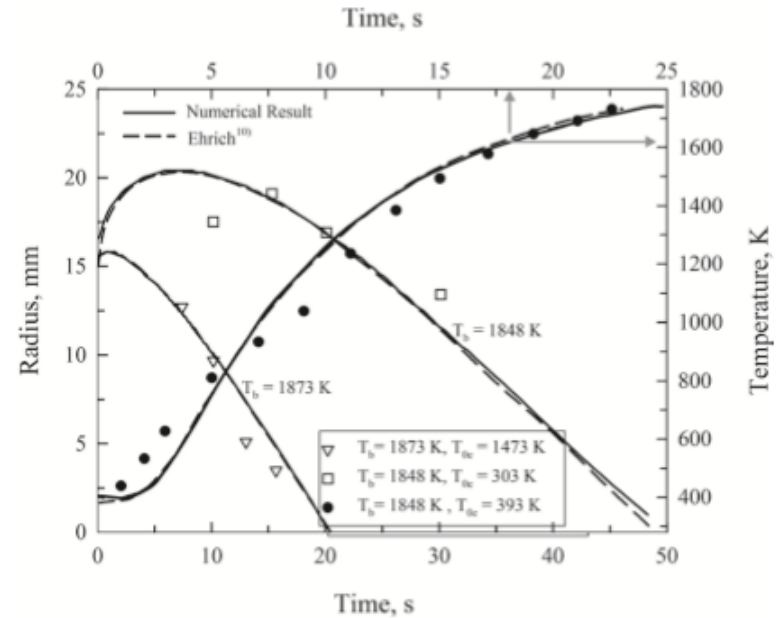


Fig. 2. Evolution of radius and temperature at center of a dense iron sphere with time in an iron bath. Comparison between numerical results (lines) and experimental measurements (points). Other conditions: $h = 32\ 635.2\ \text{W/m}^2\text{K}$, $R_0 = 1.5\ \text{cm}$.

出典 Eduardo PINEDA-MARTÍNEZ,¹⁾ Constantin Alberto HERNÁNDEZ-BOCANEGRA,²⁾ A. N. CONEJO²⁾ and Marco Aurelio RAMÍREZ-ARGAÉZ^{1)*}

ISIJ International, Vol. 55 (2015), No. 9, pp. 1906–1915

非定常熱伝導方程式(円柱座標系)

(溶融体の温度状態を決定する支配方程式)

固体ペレット／溶融体間の熱交換

$$\rho_l C_{pl} \left(\frac{\partial T_l}{\partial t} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T_l}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial T_l}{\partial z} \right) = \frac{\kappa_l}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_l}{\partial r} \right) + \eta \dot{\gamma}^2 + \frac{n}{V} h_{sl} (T_s - T_l) 4\pi R^2$$

熱対流 熱伝導 粘性発熱 熱伝達 $\frac{3\phi(t)}{R(t)} h_{sl} (T_s - T_l)$

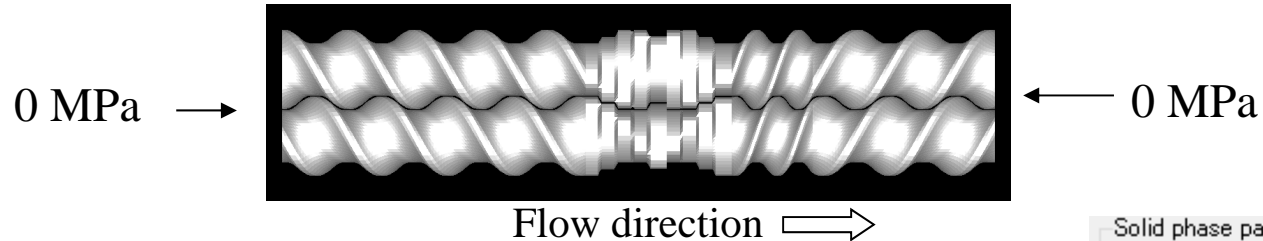
二軸スクリュウの特徴に着目した仮定

$$v_r \ll v_z, v_\theta$$

$$\frac{\partial T_l}{\partial z}, \frac{\partial T_l}{\partial \theta} \ll \frac{\partial T_l}{\partial r}$$

ρ_l : 密度	T_l : 温度
C_{pl} : 比熱	t : 時間
κ_l : 熱伝導率	η : 粘度
	$\dot{\gamma}$: ひずみ速度

二軸スクリュ内ペレット溶融状態の定量化例



Barrel radius: 20mm
 Screw speed : 100 rpm
 Bulk density : 595 kg/m³
 Initial pellet radius : 1.5 mm

Thermal material properties (melt)	
Density	777 [kg/m ³]
Heat capacity	2512 [J/kg/K]
Thermal conductivity	0.181999 [W/m/K]

Solid phase parameter	
Solid density	960 [kg/m ³]
Solid heat capacity	2303 [J/kg/K]
Melt temperature	130 [°C]
Latent heat	201189 [J/kg]

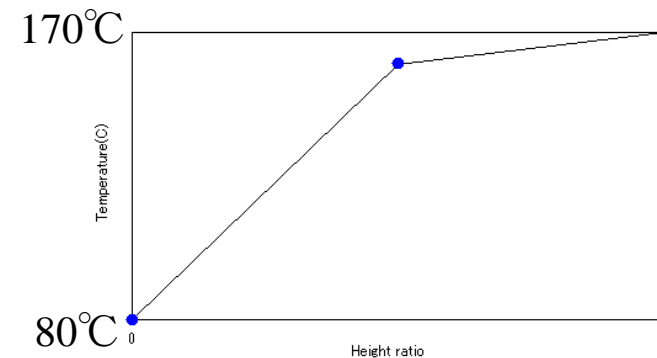
Case studies

Case	H_{sl} (W/m ² /K)	State
1	100	Filled
2	1000	Filled
3	2000	Filled
4	1000	Un-filled(30kg/h)

Viscosity: Power law model

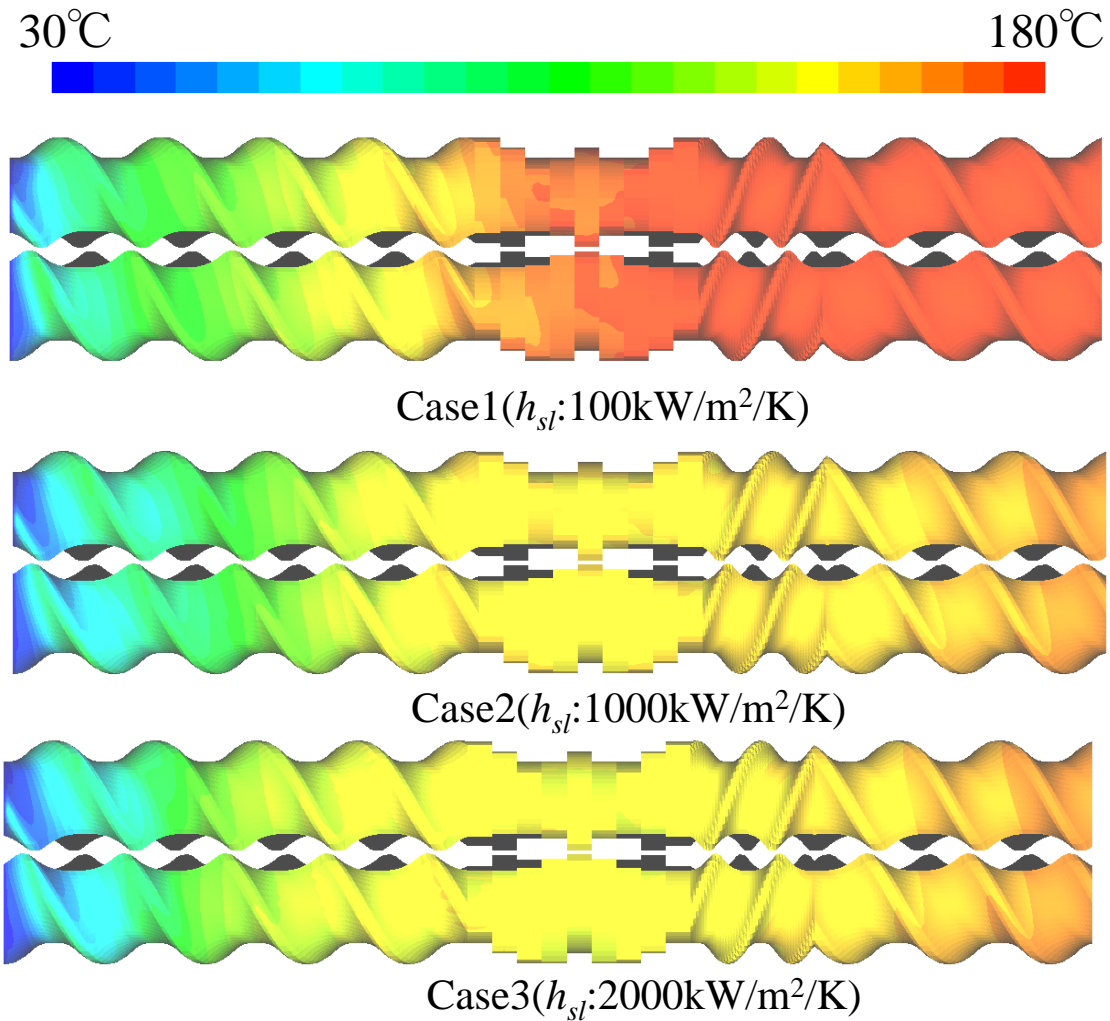
$$\eta = m_0 e^{-b(T-T_r)} \dot{\gamma}^{n-1} \quad m_0=5000, b=0.01, n=0.45$$

Physical properties



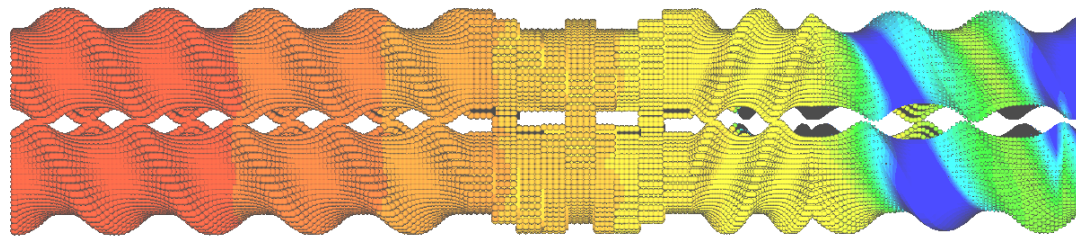
Barrel temperature condition

熔融樹脂溫度分布解析結果

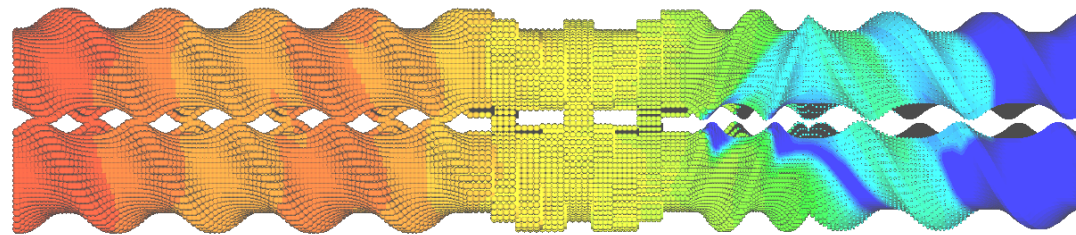


ペレット半径分布解析結果

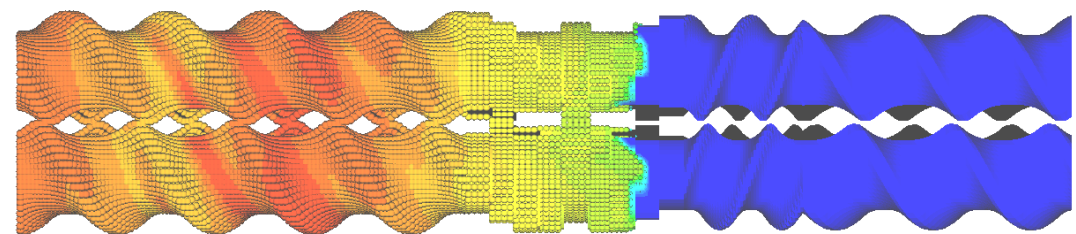
0.0 mm 1.5 mm



Case1(h_{sl} :100kW/m²/K)

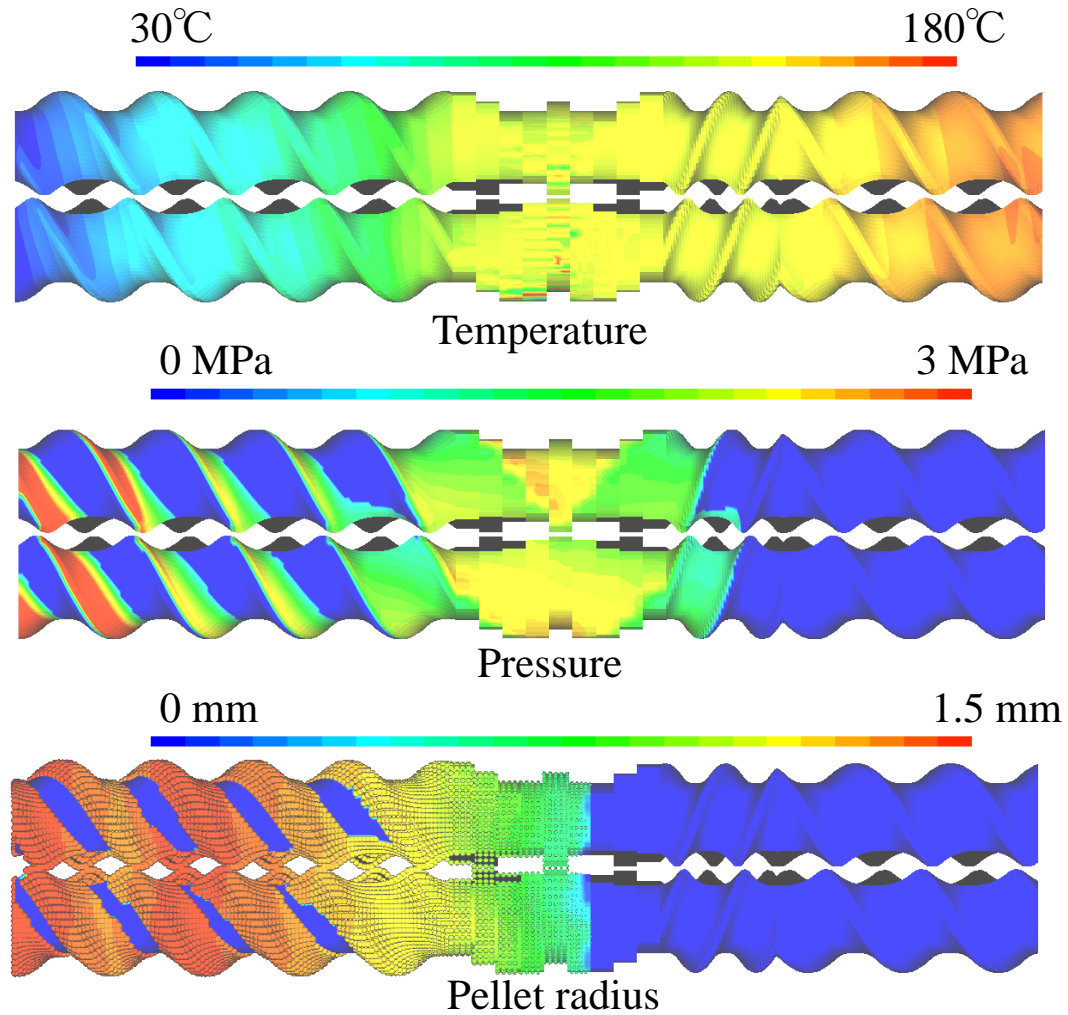


Case2(h_{sl} :1000kW/m²/K)



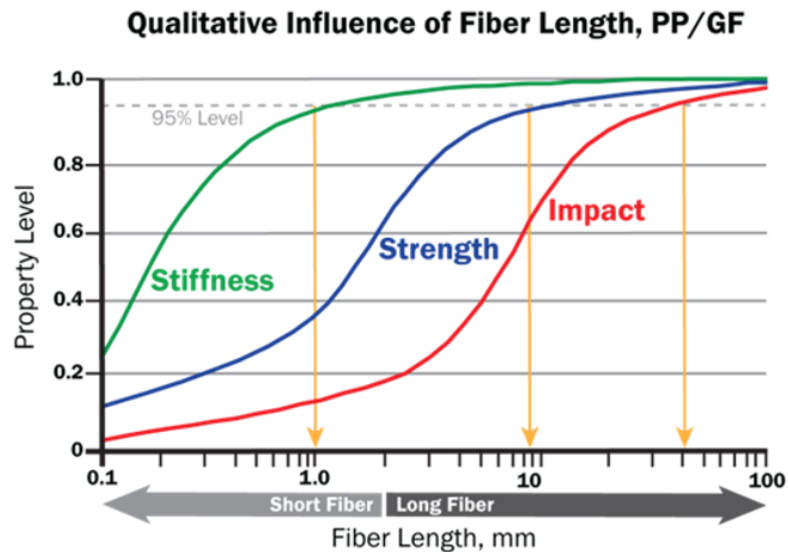
Case3(h_{sl} :2000kW/m²/K)

未充満 & 溶融モデル Case4 ($h_{st}: 1000 \text{ kW/m}^2/\text{K}, 30 \text{ kg/h}$) 解析結果



◇2.5D FEM解析技術の適用事例

繊維破断解析



繊維複合材の強度は、繊維長に依存して大きく変化する。一般的に繊維長の増加に伴って、剛性、強度、耐衝撃性能は何れも向上する。

Composite properties are shown to increase with fiber-length

出典: J.L. Thomason & M.A. Vlug, Composites, A27 (1996)

Fiber attrition model^{*)}

繊維長を離散化モデルで表現: $l_i = i\Delta l (i = 1 \sim i \max, \Delta l: \text{繊維長刻み幅})$

単位体積あたりに含まれる繊維長 l_i の繊維数: $N_i (i = 1 \sim i \max)$

$$\frac{dN_i}{dt} = -P_i N_i + \sum_{k=i+1}^{i \max} R_{ik} N_k$$

繊維長 l_i の
繊維数の変化率

繊維長 l_i の
繊維の破断に伴う減少率

別の繊維長($k > i$)の破断
に伴う繊維長 l_i の繊維の
増加率

^{*)}参考文献: J.H. Phelps (2009). "Processing-Microstructural Models for Short- and Long-Fiber Thermoplastic Composites," PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801.

$$P_i = C_b \dot{\gamma} \left[1 - \exp(1 - \hat{\gamma}) \right] \text{ for } \hat{\gamma} \geq 1,$$

$$P_i = 0 \text{ for } \hat{\gamma} < 1,$$

$$\hat{\gamma} = \frac{4\zeta\eta_m \dot{\gamma}_i^4}{\pi^3 E_f d_f^4}$$

C_b : 無次元破断頻度係数

ζ : 無次元抗力係数

η_m : 流体粘度

E_f : 繊維ヤング率

d_f : 繊維断面直径

$$R_{ij} = C \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$x = l_i, \mu = \frac{l_j}{2}, \sigma = Sl_j$$

S : 繊維長分布の調整パラメータ

C : 規格化パラメータ

計算例

繊維情報

初期繊維長 μm
 繊維断面直径 μm
 繊維ヤング率 GPa
 初期繊維本数

環境情報

流体粘度 Pa·s
 ひずみ速度 S⁻¹

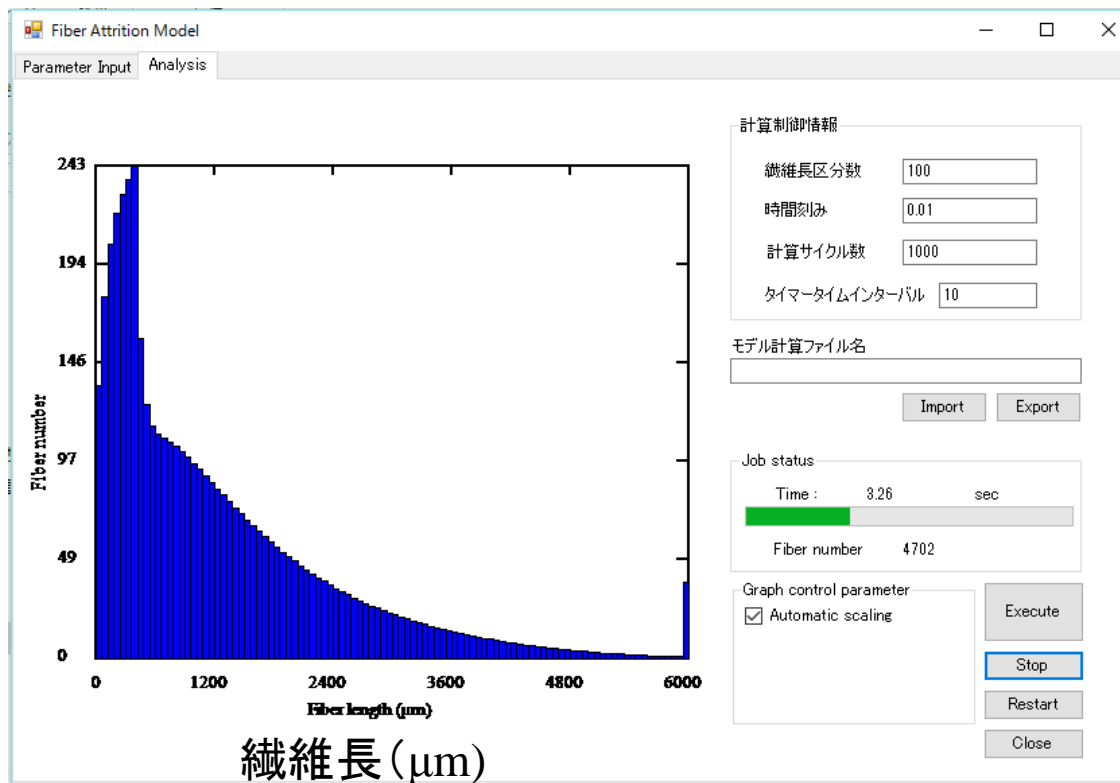
Dimension less parameters

Cb
 S
 ξ

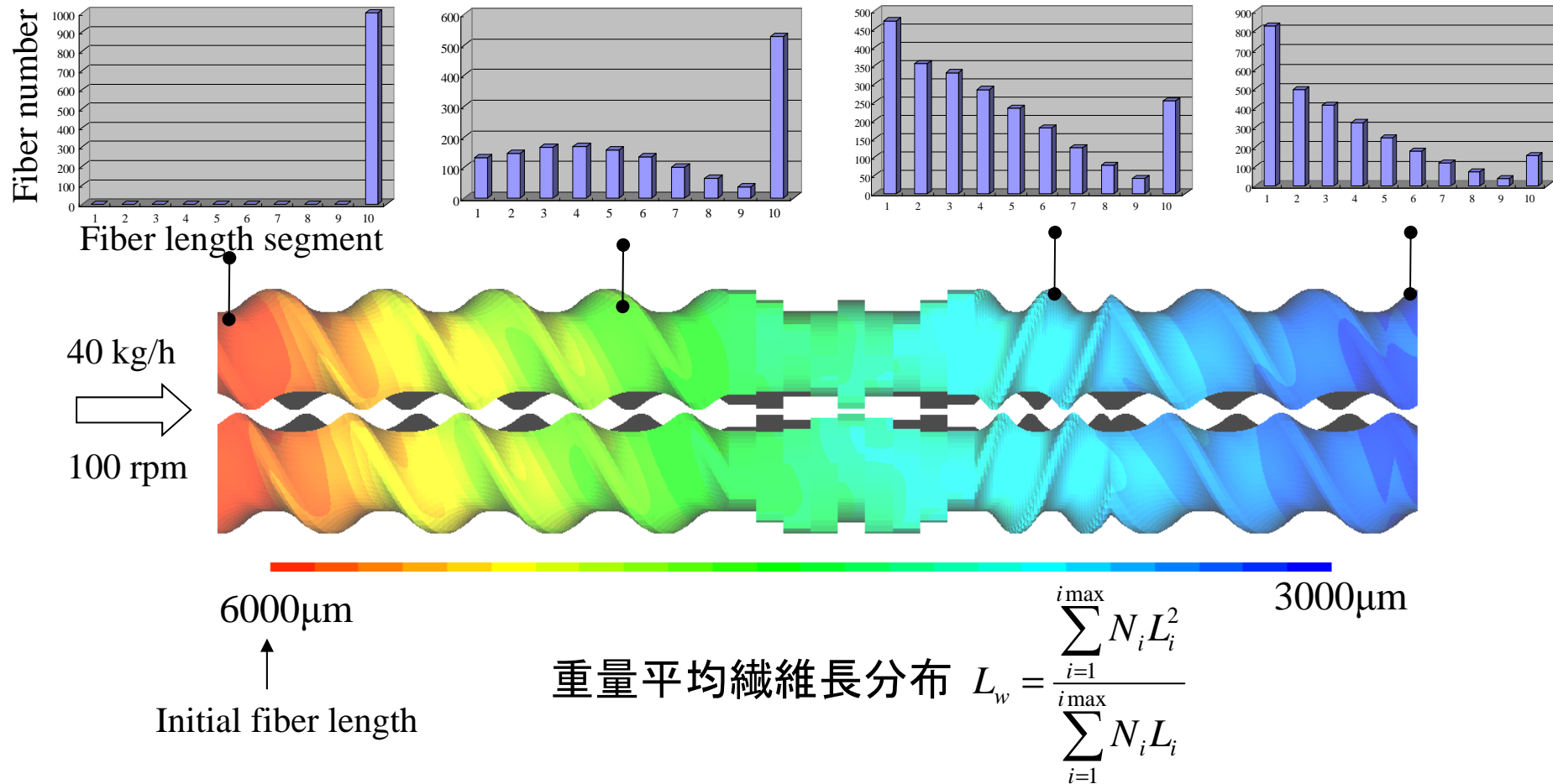
計算制御情報

繊維長区分数
 時間刻み
 計算サイクル数
 タイマータイムインターバル

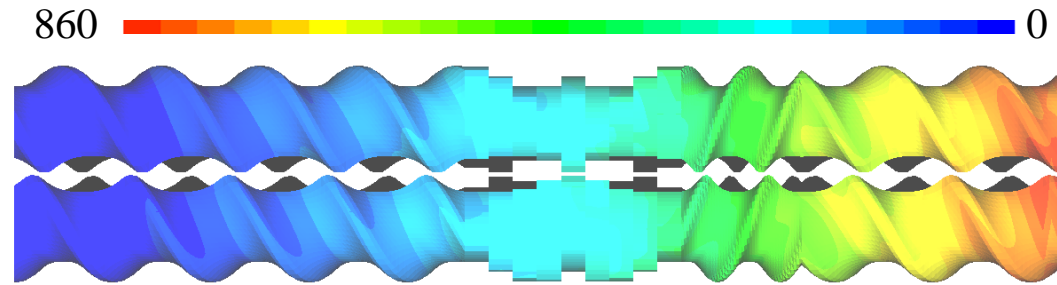
繊維数



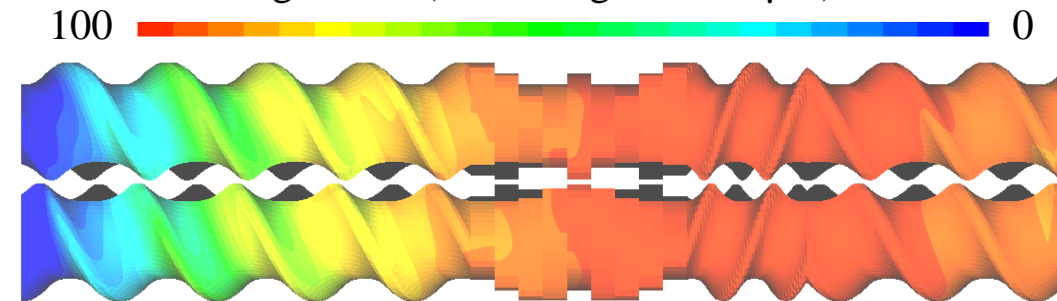
二軸スクリュ内繊維長分布の定量化例



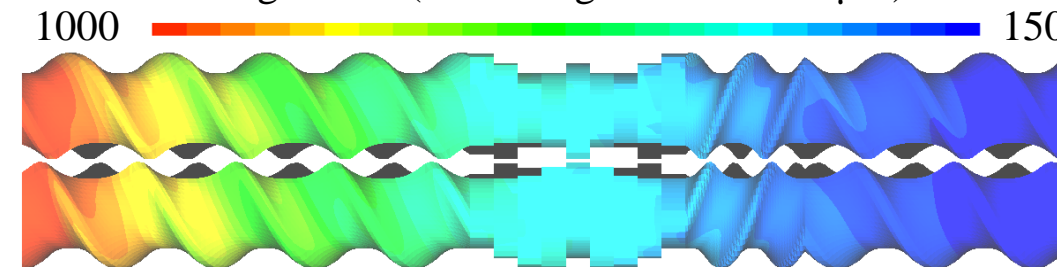
纖維長分布解析結果



Segment 1 (Fiber length:0~600 μm)



Segment 8 (Fiber length:4200~4800 μm)

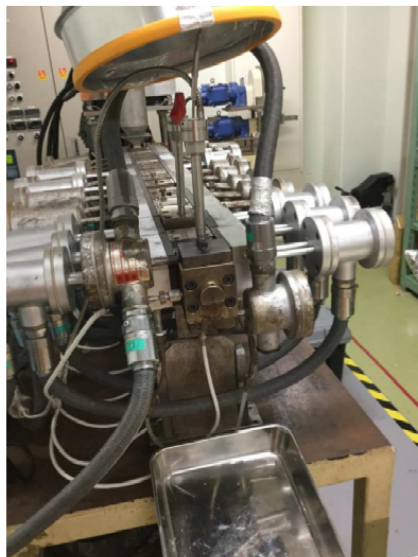


Segment 10 (Fiber length:5400~6000 μm)

二軸スクリュウ押出機内充満状態の実験検証解析

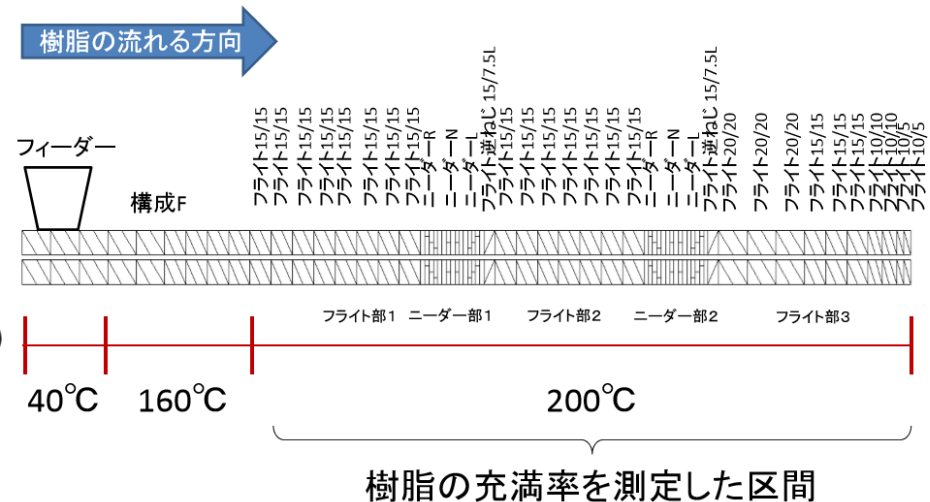
完全噛合型同方向回転平行 (金沢大) ○杉山武雅, (ハッスル) 谷藤眞一郎,
 二軸押出機中の樹脂充満率の測定 (カネカ) 村田隼一, 辻村勇夫, (金沢大) 瀧健太郎
 プラスチック成形加工学会第27回年次大会発表資料(A-201,2016)

実験装置



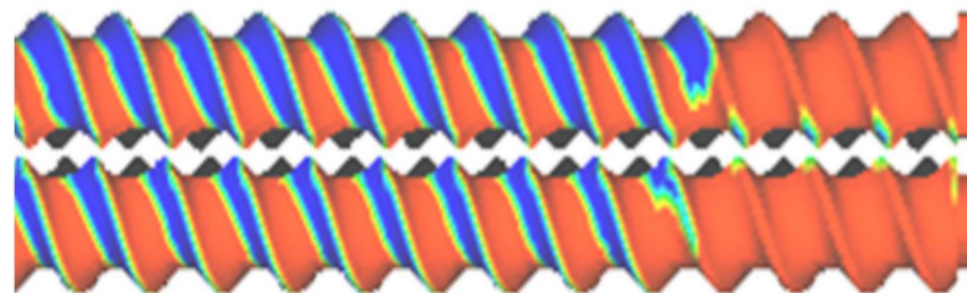
テクノベル社製
 完全噛合型同方向回転
 平行二軸押出機

仕様
 L/D = 90, D = 15 mm
 (L/D=40~90を実験に使用)
 最大回転数 600 rpm
 重量フィーダー付



30 rpm
0.5 kg/h

HASL TSSIによる充填率の計算結果(赤が充填率1, 青が充填率0)



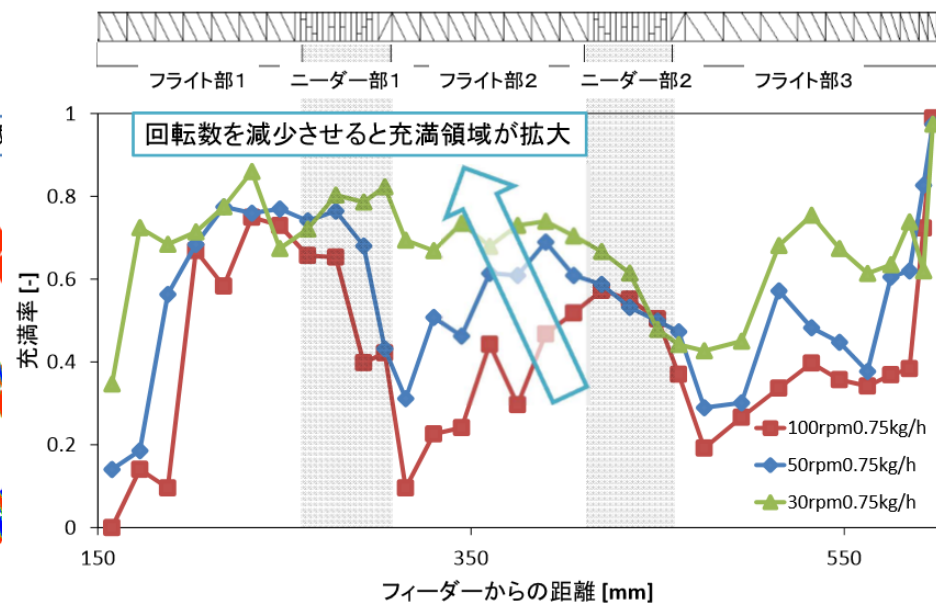
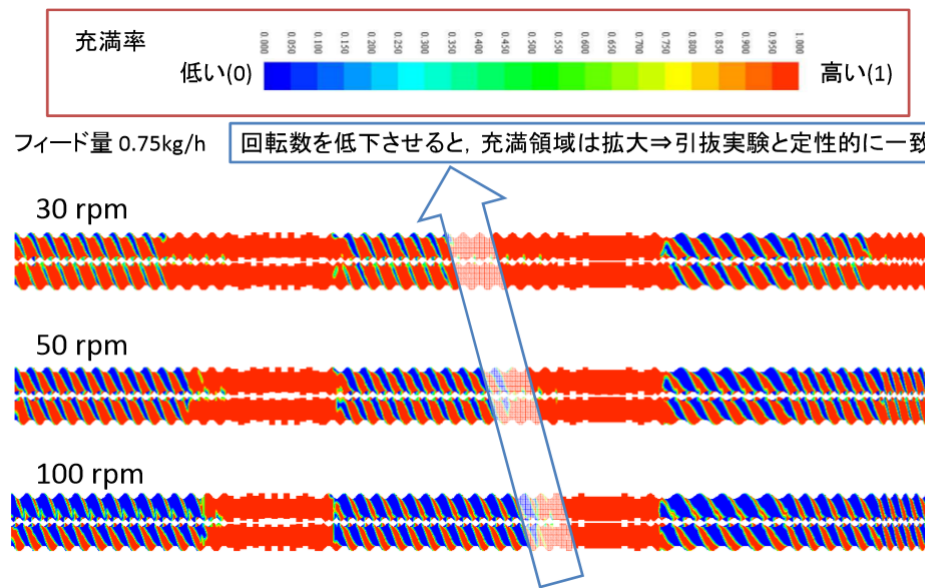
Flow direction



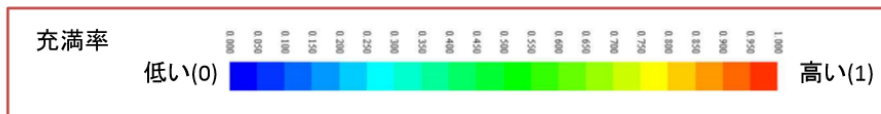
スクリー引き抜き実験結果(白い領域は樹脂が存在している)

フライトスクリーの押し側の充填状態が良好に表現されている。

回転数の影響



フィード量の影響

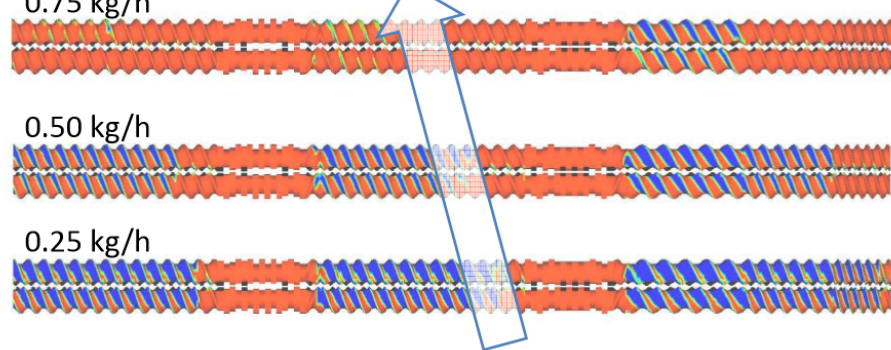


回転数 30 rpm

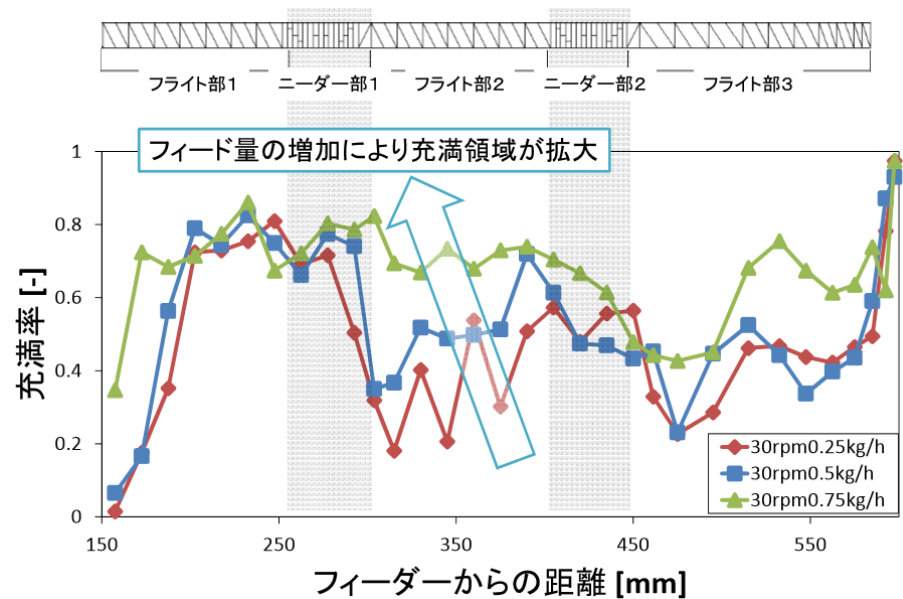
0.75 kg/h

0.50 kg/h

0.25 kg/h



フィード量の増加と共に、充填領域が拡大⇒実験と一致



◇まとめ

成果

- ・2.5D FEM解析技術は、既往FAN法の強みである未充満状態や溶融状態の評価が可能であることに加えて、1次元次数の高いレベルで、各種解析結果の評価が可能である。
- ・当解析技術の運用は、既往FANソフトと同様、容易であり、計算負荷は、3D FEM/FVMと比較して圧倒的に小さい。
- ・当解析技術では、解析に際して負荷の大きいメッシュ生成作業を軽減するとともに、計算要素情報の任意編集を許容し、定型から外れた特殊エレメントの分析も守備範囲とする。
- ・連続体のトレース技術(非線形輸送方程式の解法)を併用することで、複合材の製造プロセスや繊維破断などの付加価値成形の分析に対応可能である。

今後の課題

- ・大学や企業(可視化装置)との連携を計り、解析結果の妥当性の検討や新規定量化モデルの構築などを目的とした共同研究(実験検証解析)を推進する。