
SpiralCAD/Advance(Ver.2.0.0)

Ver. up 開発成果資料

2012/10

(株) HASL



改良開発成果項目一覧

プリプロセッシング関連

- 1) 計算要素の肉厚変更、削除機能
- 2) 材料特性フィッティングツールHASL/Materialfit(全ソフト共通成果)

ポストプロセッシング関連

- 3) スパイラルチャネルの漏洩流れと主流流量分布のグラフ作画機能
- 4) 粒子運動アニメーション機能(流線描画機能)の改良
- 5) 3D化解析結果のマウスフォーカス表示

ソルバー関連

- 6) Film blowシミュレーション機能の改良
(Perturbation methodの導入)

プリプロセッシング関連

1) 計算要素の肉厚変更、削除機能



計算要素加工フォームの呼び出し

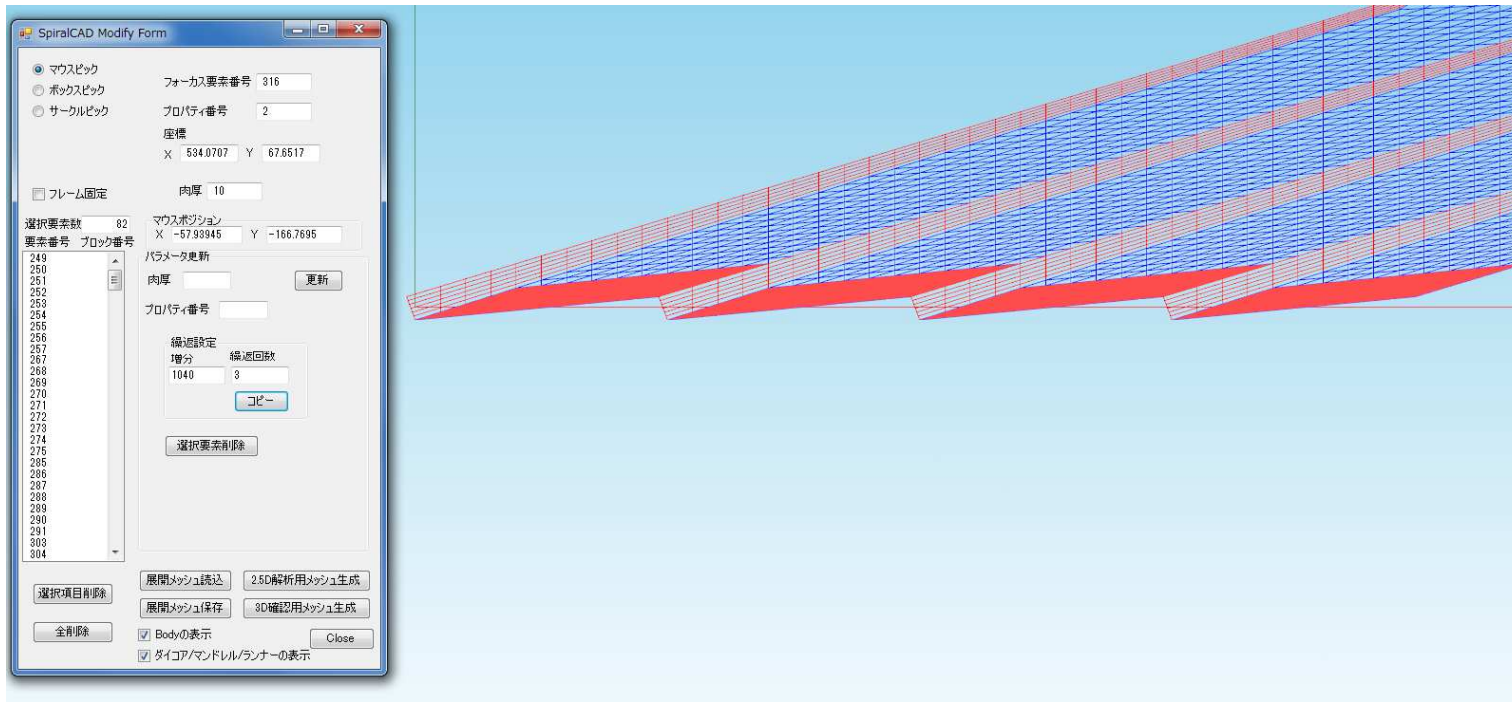
肉厚設定テキストボックス

肉厚更新ボタン

選択要素削除ボタン

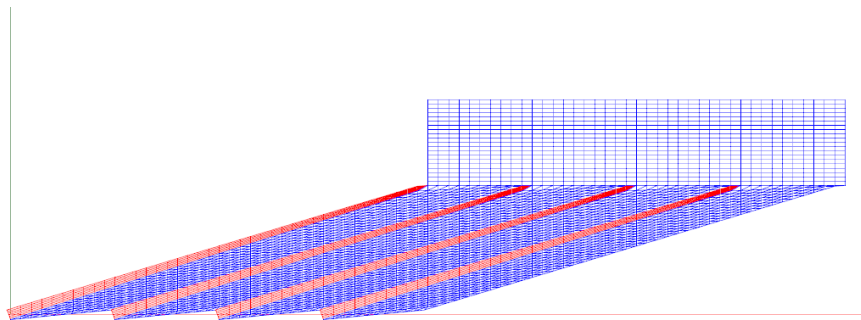
このフォームを利用して、
任意計算要素の肉厚の
変更及び削除が可能

計算要素加工フォーム

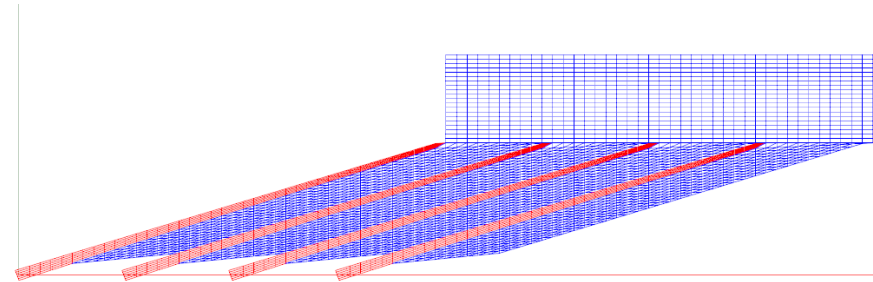


加工計算要素の選択(選択方法は、マウスピック、ボックスピック、サークルピックをサポート)

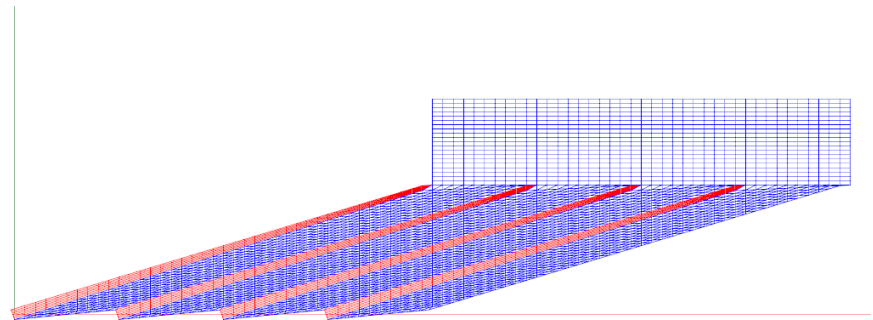
当機能の適用例



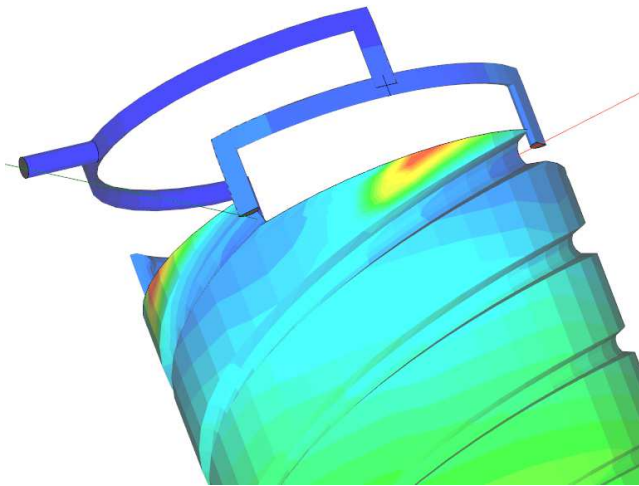
ケース1: 標準解析(従来の解析)



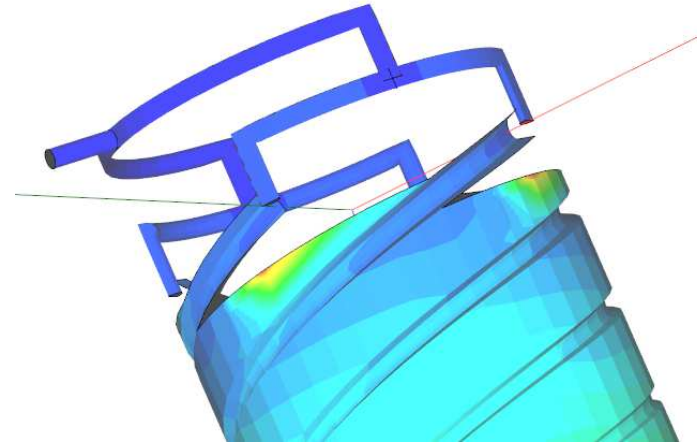
ケース2: 新規解析(上流側スパイラルチャンネル部の要素を削除)



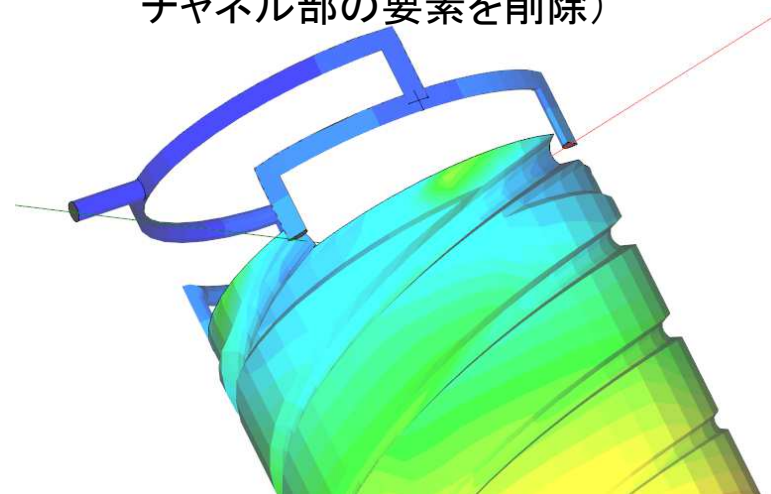
ケース3: 新規解析(上流側スパイラルチャンネル部の要素の肉厚を増加)



ケース1:標準解析(従来の解析)



ケース2:新規解析(上流側スパイラル
チャンネル部の要素を削除)



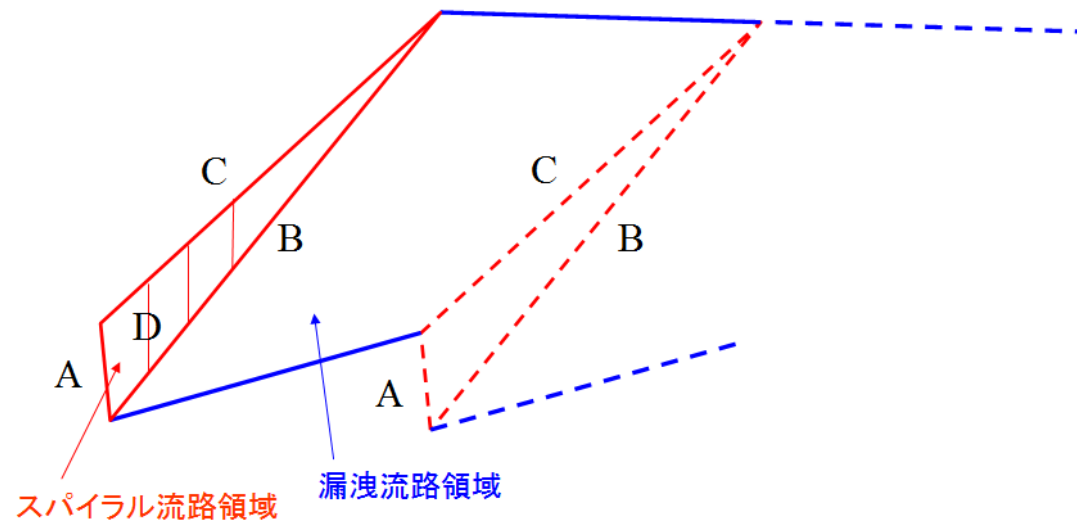
ケース3:新規解析(上流側スパイラ
ルチャンネル部の要素の肉厚を増加)

滞留時間解析結果の比較

ポストプロセッシング関連

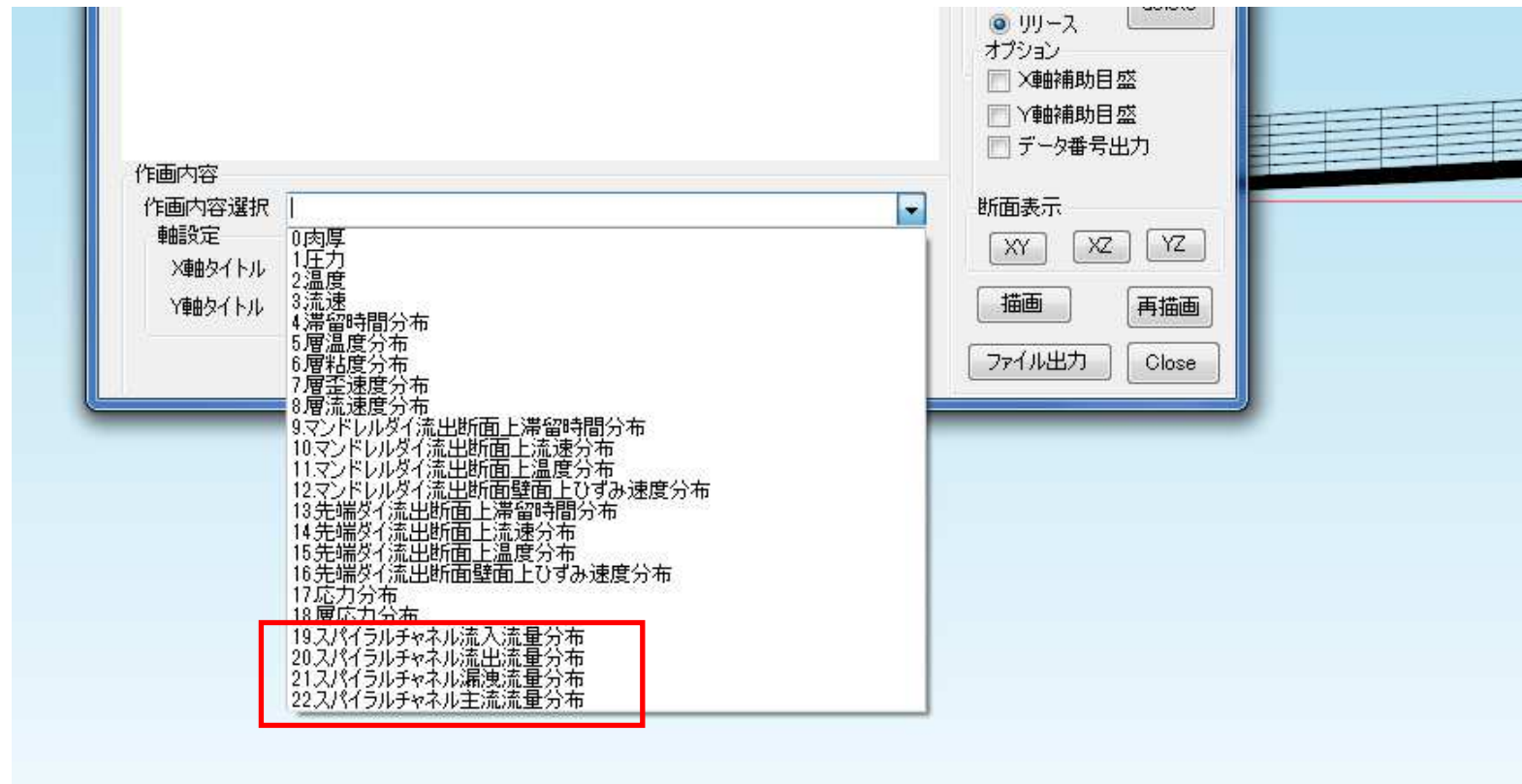
3) スパイラルチャネルの漏洩流れと主流流量分布のグラフ作画機能

スパイラルチャネルの展開図において、各境界B,C,Dを通過する流量の計算機能を実装。

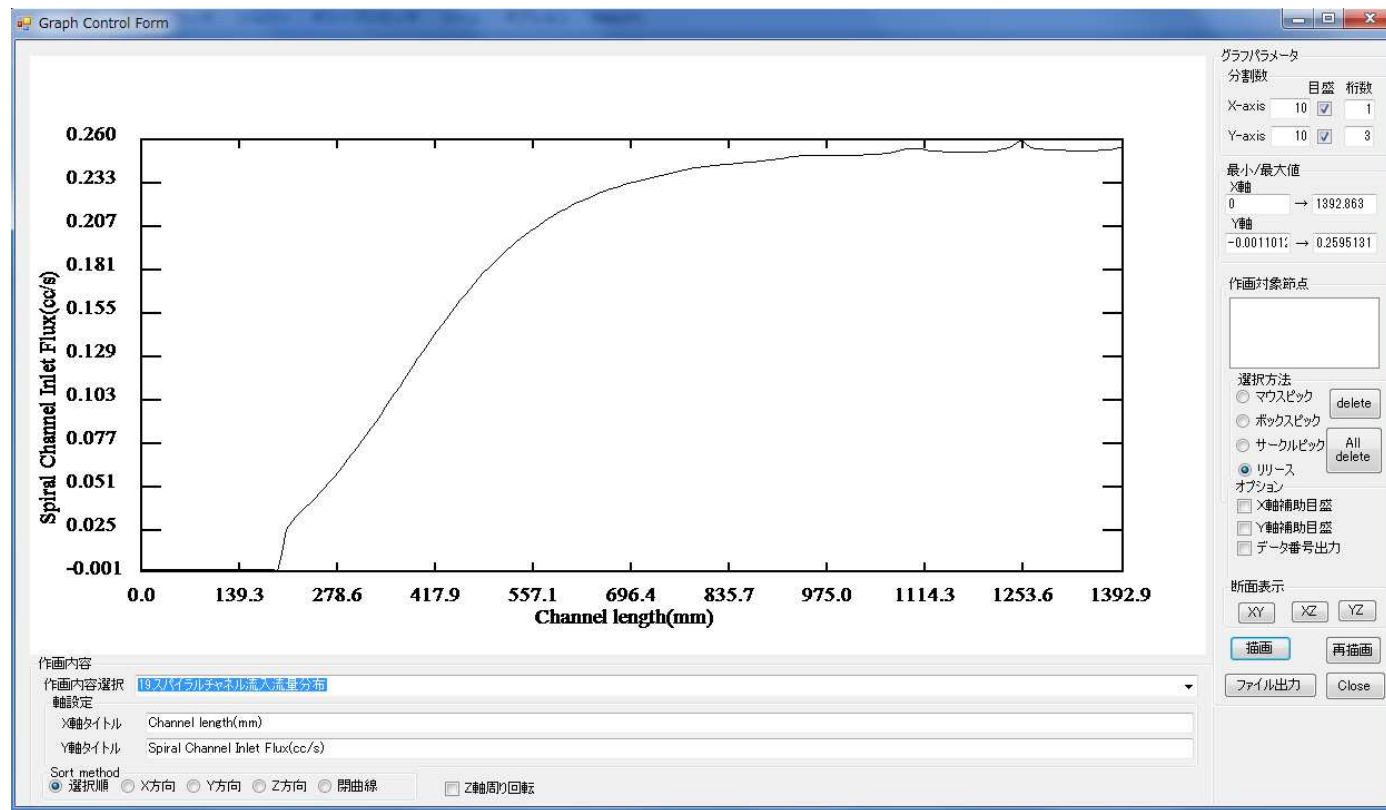


解析モデル展開図

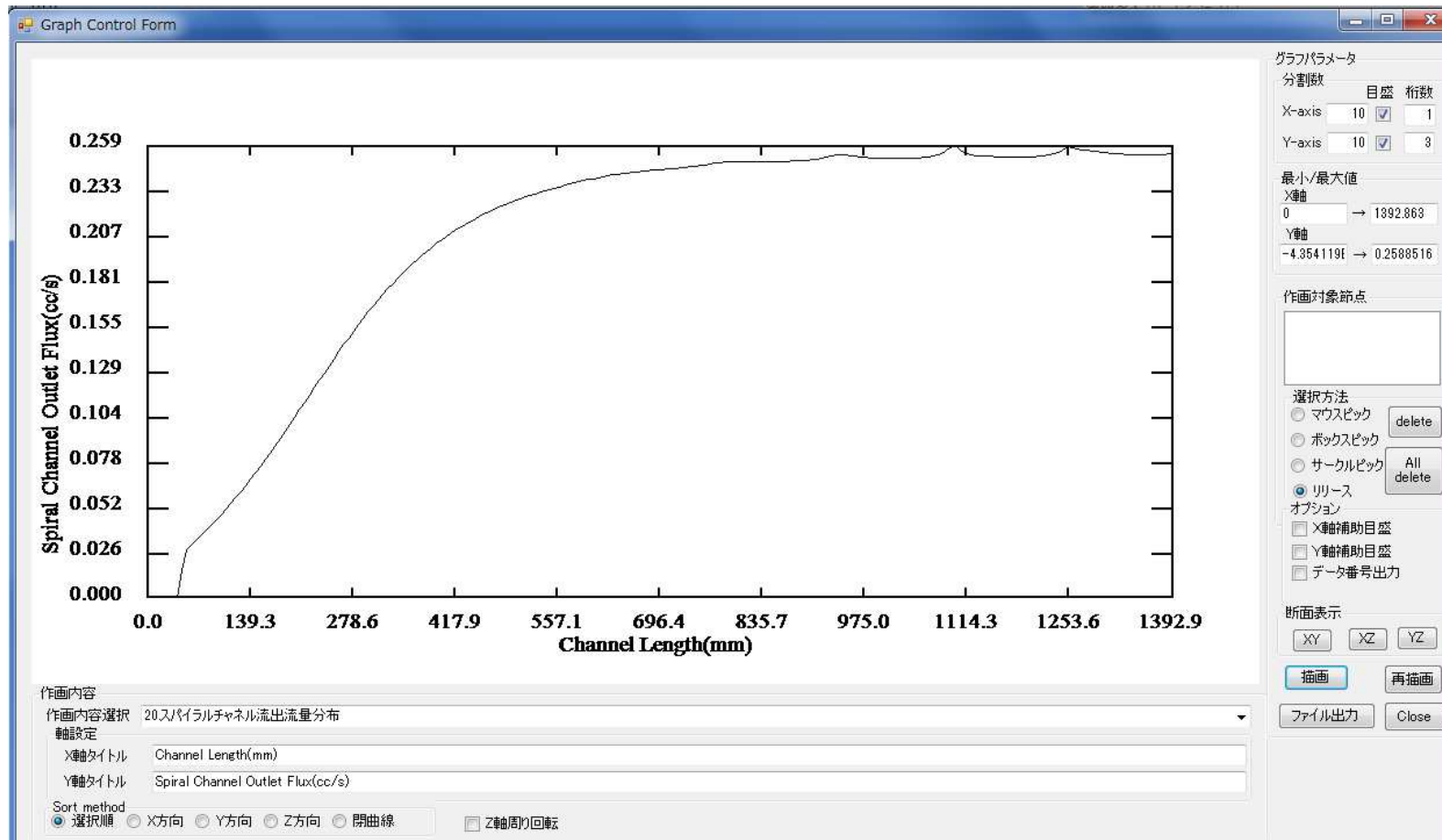
グラフプロット (ID:19~22) を新規追加。



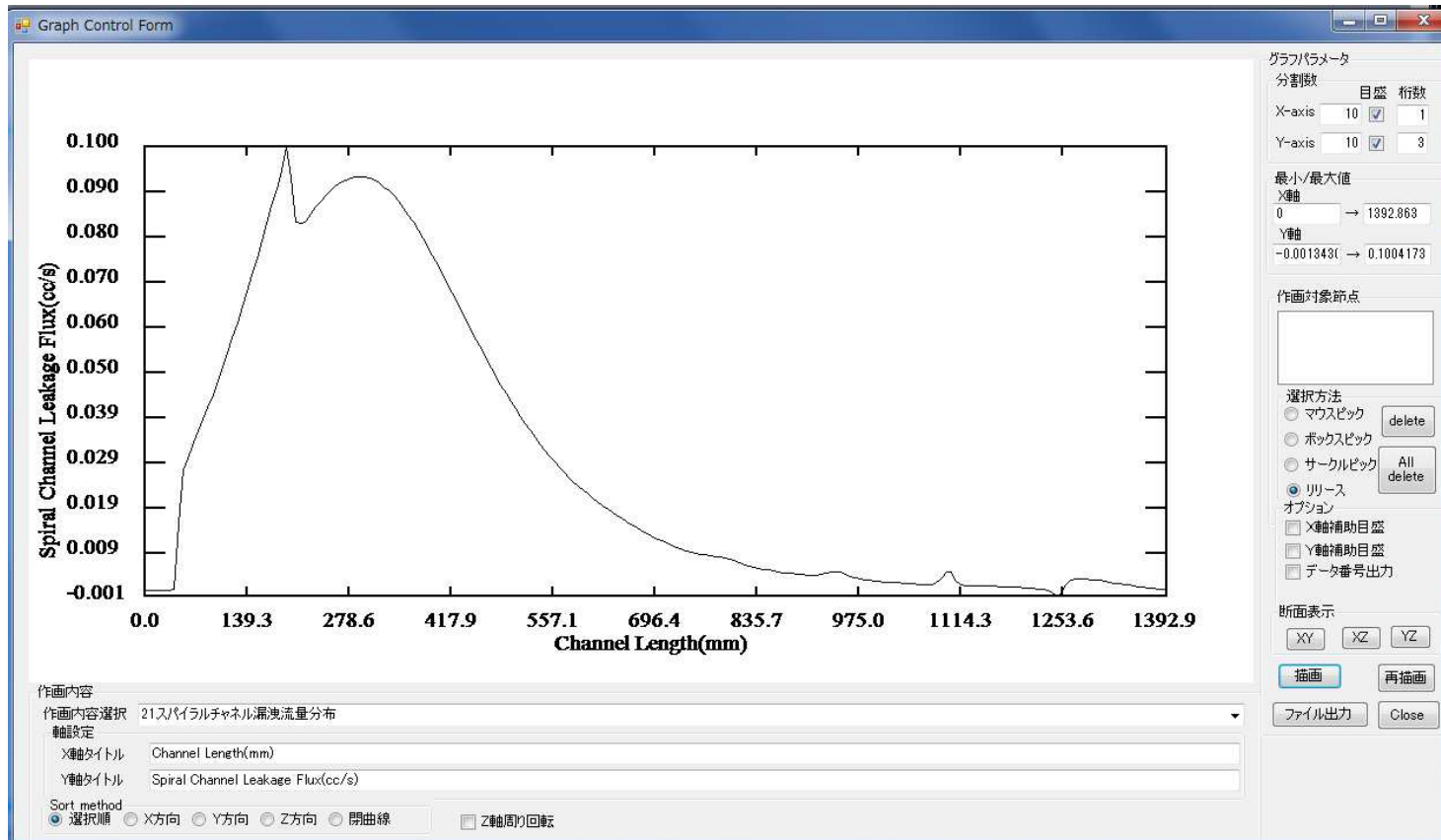
新規出力項目表示例



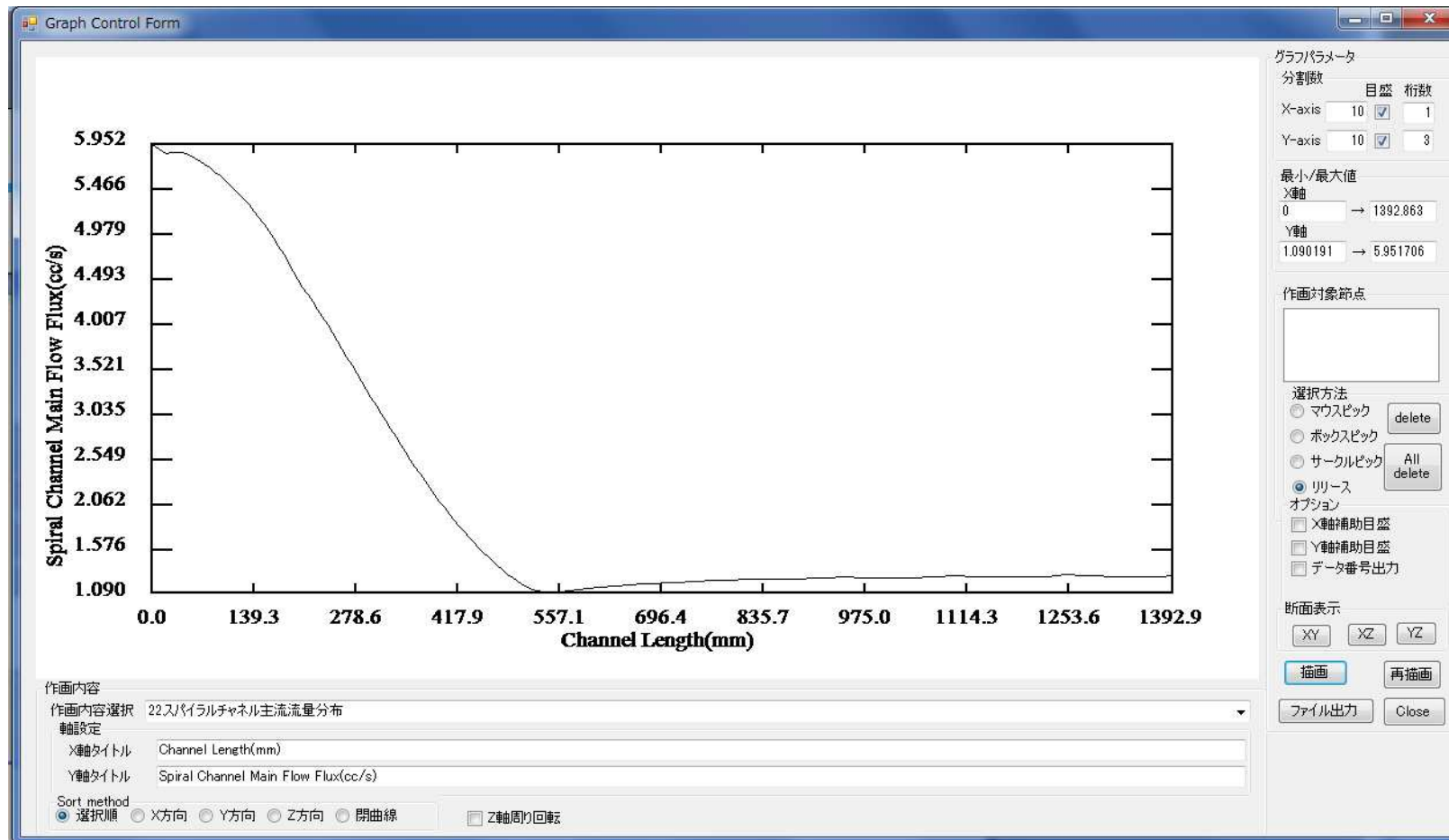
スパイラルチャネル流入流量分布



スパイラルチャンネル流出流量分布



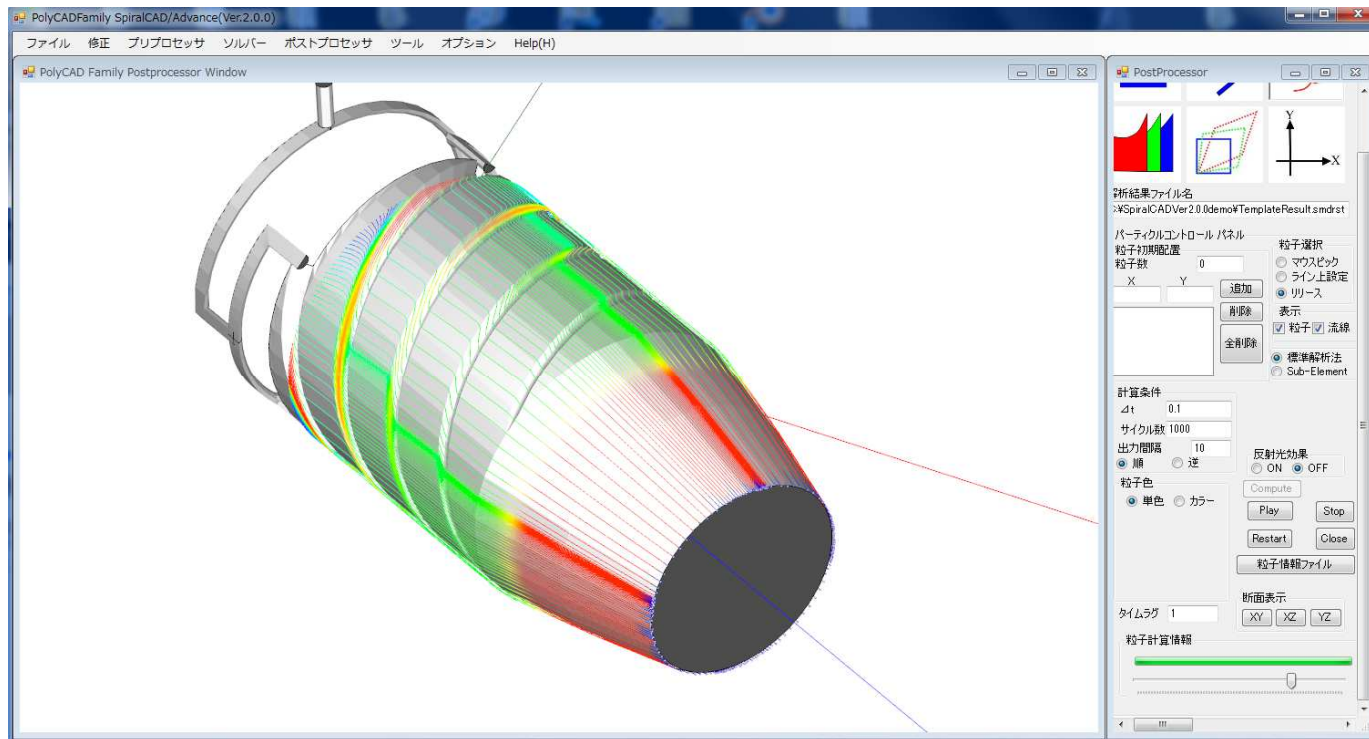
スパイラルチャネル漏洩流量分布



スパイラルチャネル主流流量分布

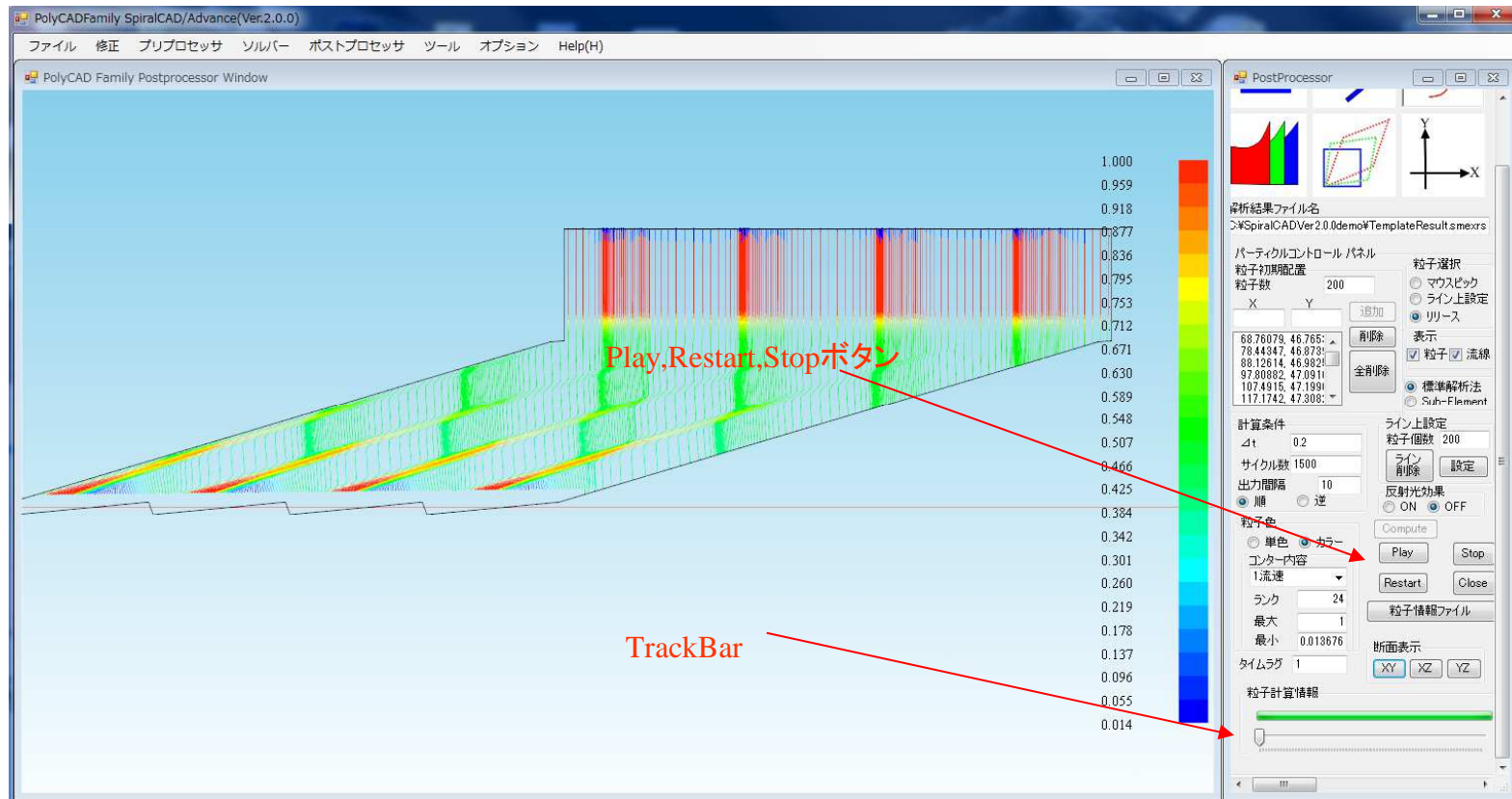
4) 粒子運動アニメーション機能(流線描画機能)の改良

テーパ付きのマンドレル/ボディ形状にも自然に対応できるようにパーティクルシミュレーション結果表示を改良。また、この改良に伴って、従来よりも多くの粒子を高速に処理可能になりました。



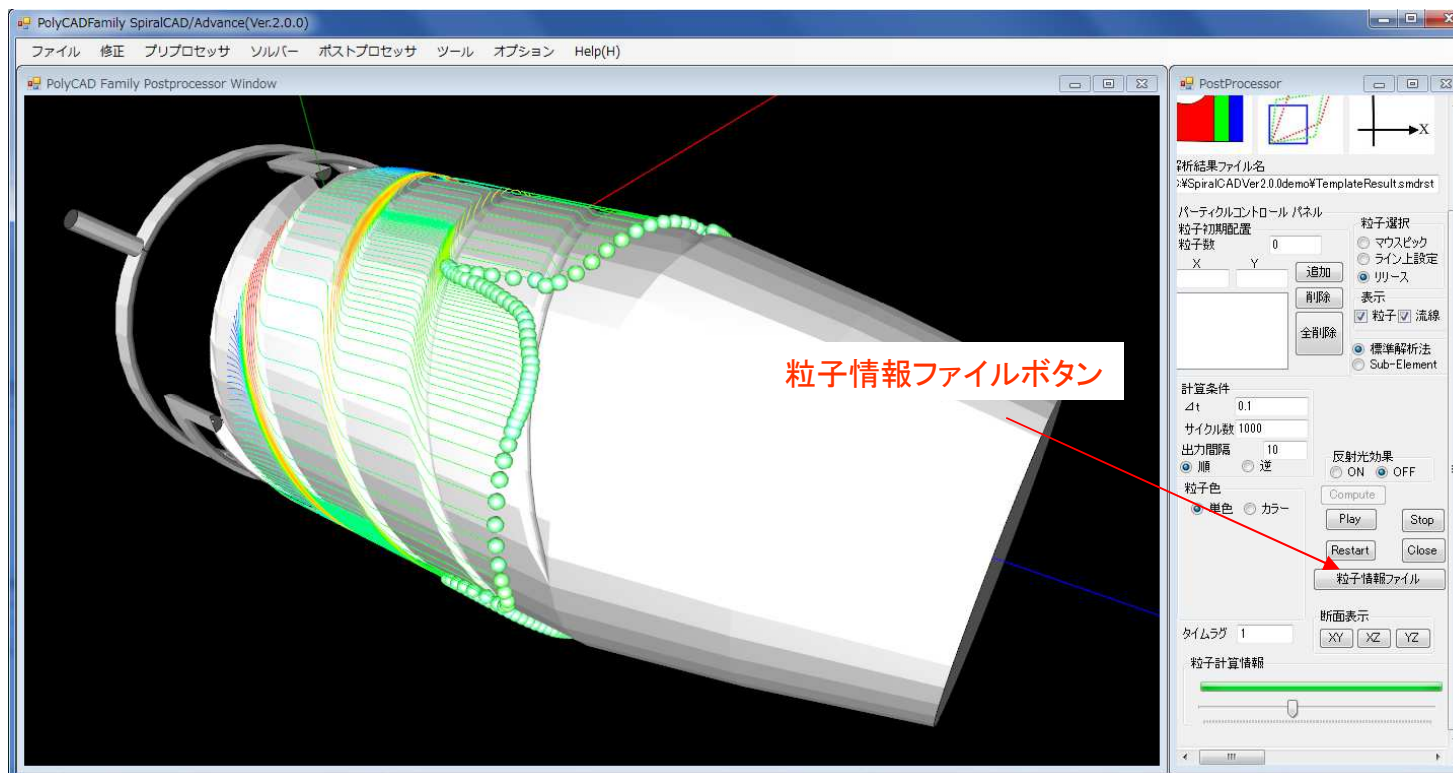
パーティクルシミュレーションによるウェルドラインの表現

TrackBarをスライドさせると各時刻のスナップショットを表示させることが可能。



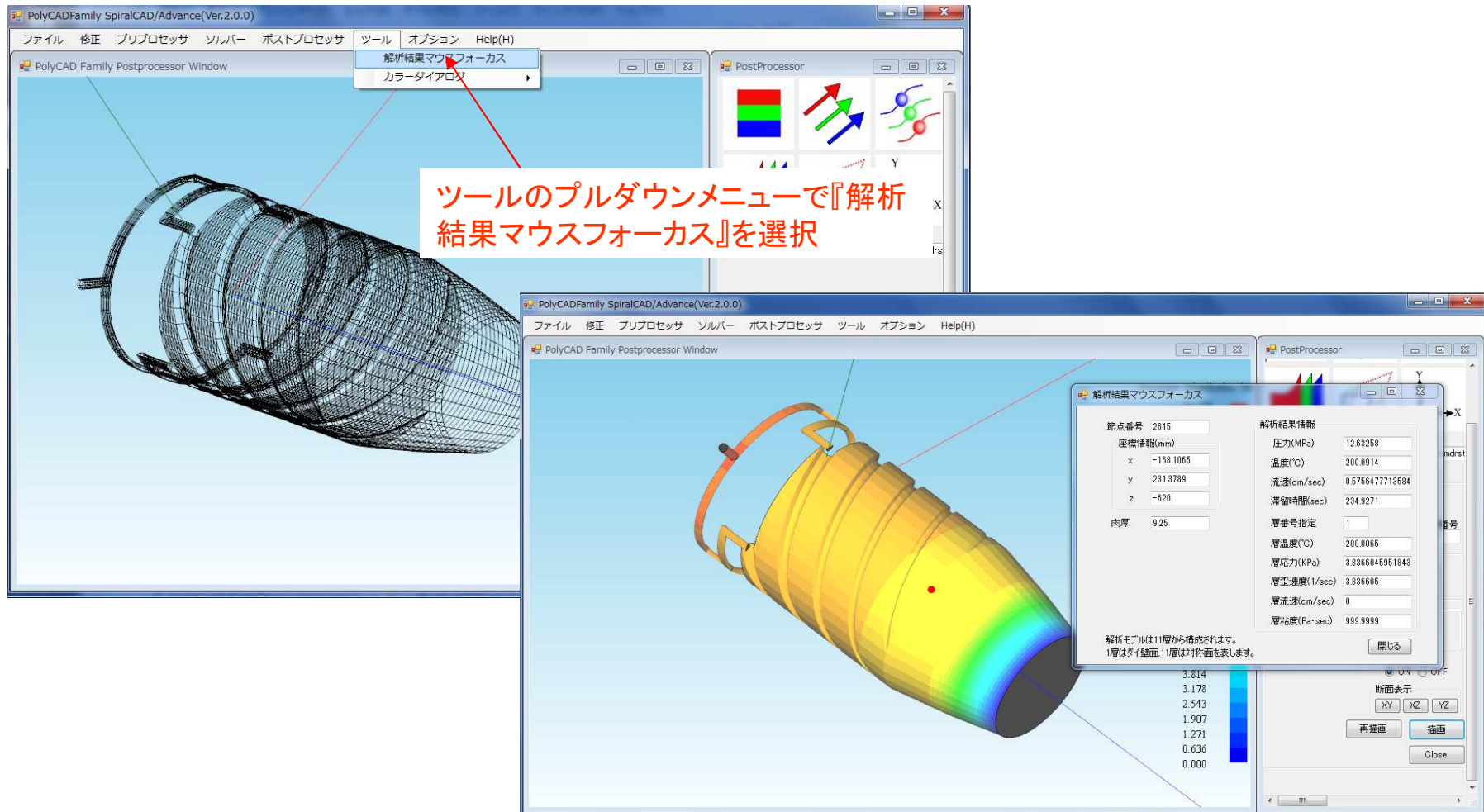
展開モデル上でのパーティクルシミュレーション結果の表示

従来と同様、展開モデルを利用したパーティクルシミュレーションを実施した後、3Dモデルの解析結果を読み込み、粒子情報ファイルボタンを押して、粒子解析結果ファイルをシステムに読み込み、3D化表示します。



3Dモデル上でのパーティクルシミュレーション結果の表示

5) 3D化解析結果のマウスフォーカス表示

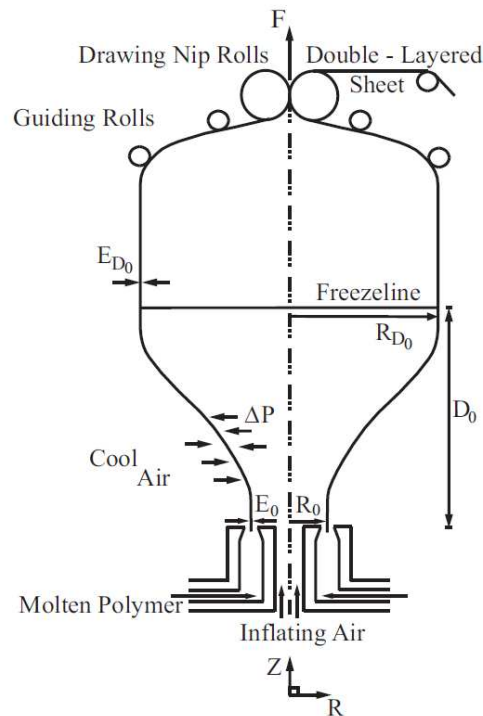


解析結果マウスフォーカスフォームの運用例

ソルバー関連

6) Film inflation blowシミュレーション機能の改良

(Perturbation methodの導入)



前提条件(仮定)

1) フィルム肉厚は十分小さく、肉厚方向の流速勾配は無視できる(二軸伸長変形を仮定)。

2) 重力の影響は無視できる。

フィルムインフレーションブロー成形
プロセス概念図

成形プロセスの支配方程式

$$2C^2 r^2 [f_0 + B(r^2 - 1)] r'' - 6C \hat{\eta} r' - r [f_0 - B(3r^2 + 1)] [1 + C^2 (r')^2] = 0. \quad (1)$$

境界条件

$$r(0) = 1, r'(1) = 0, r(1) = \rho_{bu} \quad (2)$$

無次元パラメータ

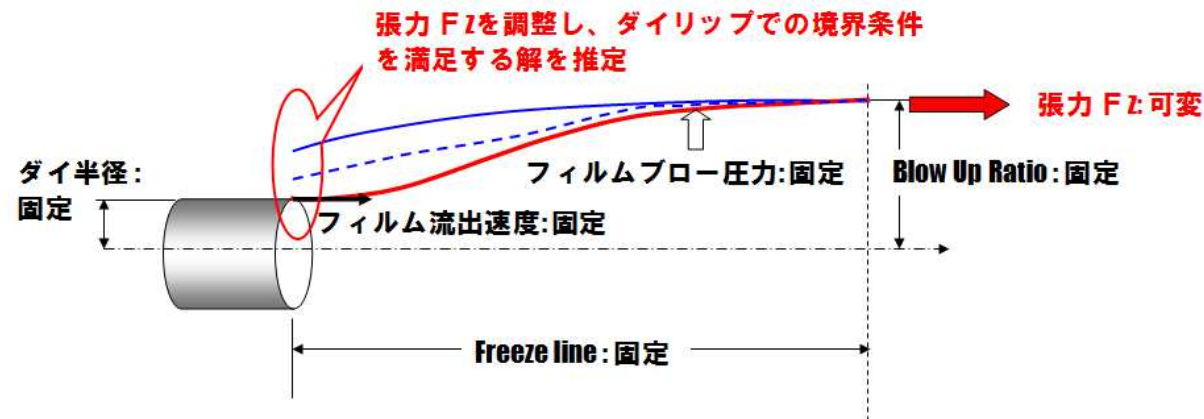
$$z = \frac{Z}{D_0}, r = \frac{R}{R_0}, u = \frac{U}{U_0}, e = \frac{2\pi R_0 U_0 E}{Q}, f_0 = \frac{F_0 R_0}{\eta_0 Q}, \hat{\eta} = \frac{\eta}{\eta_0},$$
$$B = \frac{\pi \Delta P R_0^3}{\eta_0 Q}, C = \frac{R_0}{D_0}, \rho_{bu} = \frac{R_{D_0}}{R_0} \quad (3)$$

D_0 : ダイリップ位置から測定した Freeze lineまでの距離
 R_0 : ダイ半径
 U_0 : ダイ流出速度
 R : フィルム半径
 U : フィルム流速(MD方向成分)
 E : フィルム肉厚
 R_{D_0} : Freeze line位置でのフィルム半径
 F_0 : ダイリップ位置での張力(MD方向)
 η_0 : 粘度
 ΔP : フロー圧力
 ρ_{bu} : ブロー比

支配方程式(1),(2)の解析は極めて難解

従来、Backward shooting methodを導入し、繰り返し計算を通じて、ダイリップ位置での境界条件を満足する解を模索。

Backward shooting method



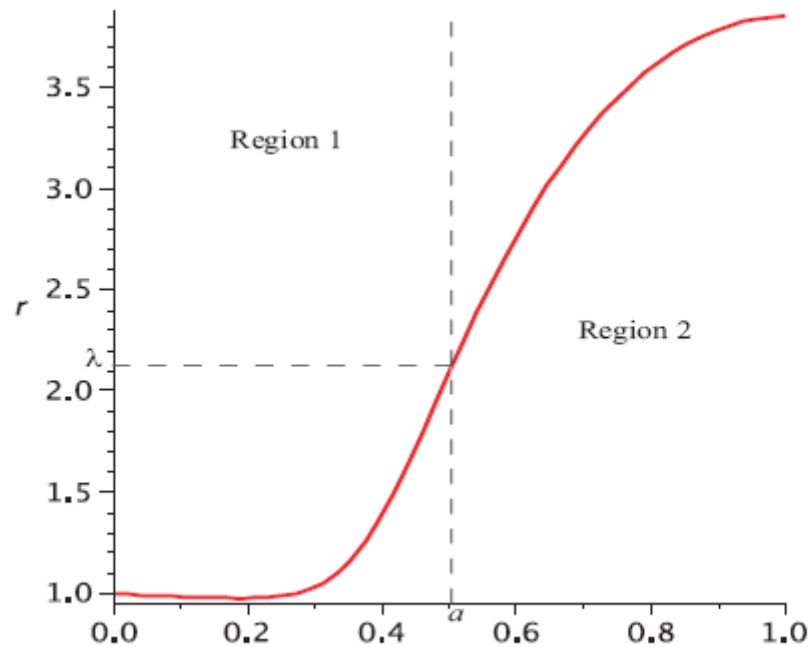
張力基準値: $F_z = \pi \Delta P R_{di}^2 (3.0 + BUR^2)$

従来(Ver1.0.0システム)で採用された解析法:
Backward shooting method

Ver.2.0.0システムには、James Cameron Bennett氏(RMIT university)が開発したPerturbation theoryを導入しました。

参考資料：<http://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:6616/Bennett.pdf>

Mathematical analysis of film blowing . by James Cameron Bennett



近似解の計算領域

Region1の近似解: $r_1(z)$

$$r_1(z) = r_0(z) + (r_0(a) - \lambda) \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{2M}(a-z)}{2C}\right) + \lambda - r_0(a),$$

$$r_0(z) = \left\{ \left(1 - \frac{3B}{f_0 - B}\right) \exp\left[\left(\frac{f_0 - B}{3C}\right)z\right] + \frac{3B}{f_0 - B} \right\}^{\frac{1}{2}},$$

$$M = \frac{27B}{4(f_0 - B)^2},$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

Region2の近似解: $r_2(z)$

$$r_2(z) = \lambda + \frac{1}{18} \rho_{bu}^3 \sigma \gamma [\exp(v(z, C)) - \exp(v(a, C))] - \frac{\rho_{bu}}{6C} \gamma(z - a),$$

$$\sigma = (f_0 + B(\rho_{bu}^2 - 1)),$$

$$\gamma = (f_0 - B(3\rho_{bu}^2 + 1)),$$

$$v(z, C) = \frac{3(z-1)}{C\sigma\rho_{bu}^2}$$

Perturbation theoryでは、インフレーションブロー領域を2領域に分け、各領域に対して半解析的な近似解を導きます。領域の分割境界位置($z=a$)と当該位置での半径($\lambda = r(a)$)は、各領域の近似解の勾配(一階微分)の連続性条件とフリーズライン位置で指定されるブローアップ比を利用し、数値解析的に求めます、こうして求められた近似解を支配方程式(1)に代入し、再度、数値解析を通じて残差を0にすることで厳密解を求めます。この解法は以下に示めす利点を有します。

- 1) 近似解は各種プロセスパラメータを利用した解析的表式で与えられるため、これらのパラメータが解の特性(インフレーションフィルム形状)に及ぼす影響を把握し易い。
- 2) 近似解と厳密解の差が小さい。すなわち、近似解が構成できた場合は、厳密解が容易に求められる。

Perturbation methodの運用例

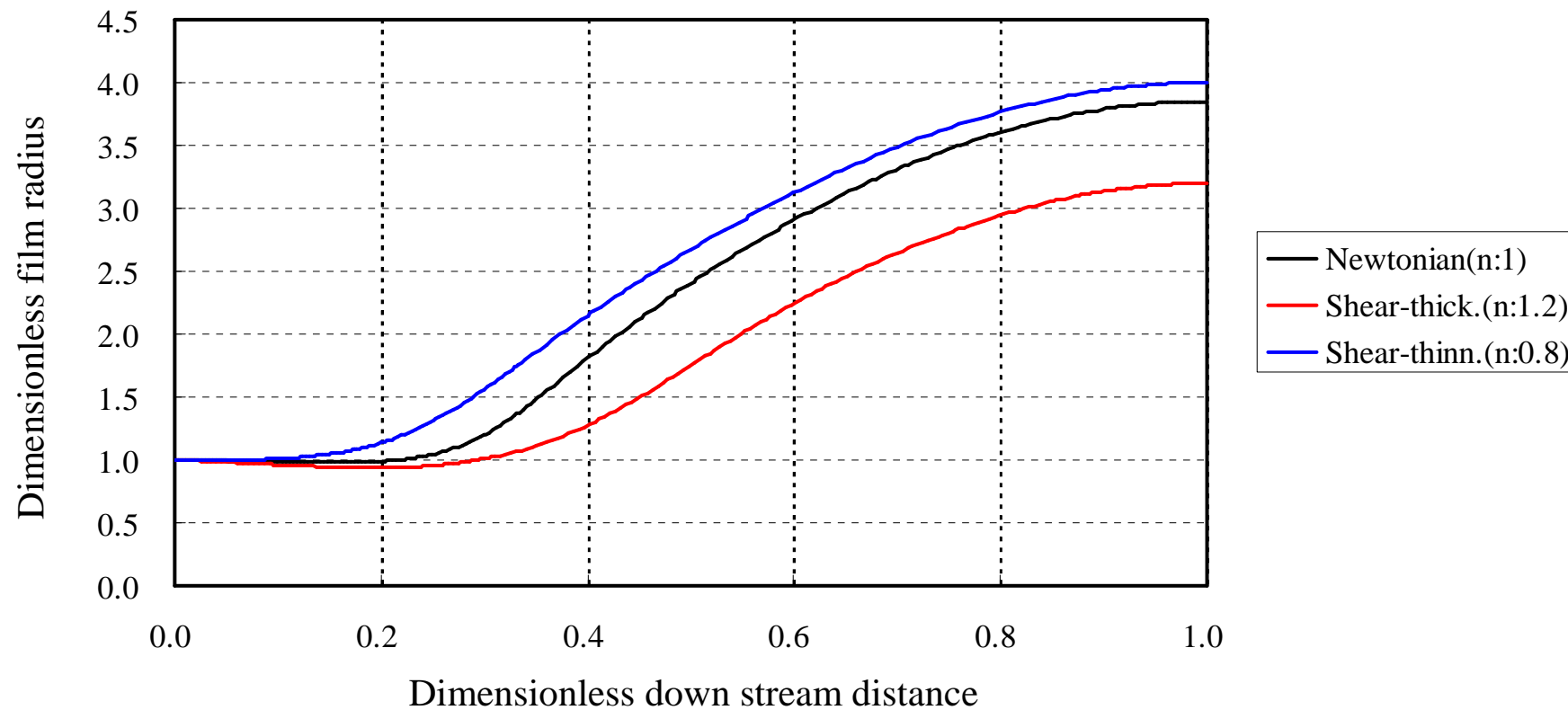
代表的な粘性流体であるNewton流体(温度依存性は考慮)と、粘度が温度とひずみ速度に依存するShear-thinning流体、及びShear-thickening流体を想定し、粘度特性の差がフィルムインフレーション形状に及ぼす影響について検討しました。

ケーススタディで考慮した計算パラメータとブロー比解析結果

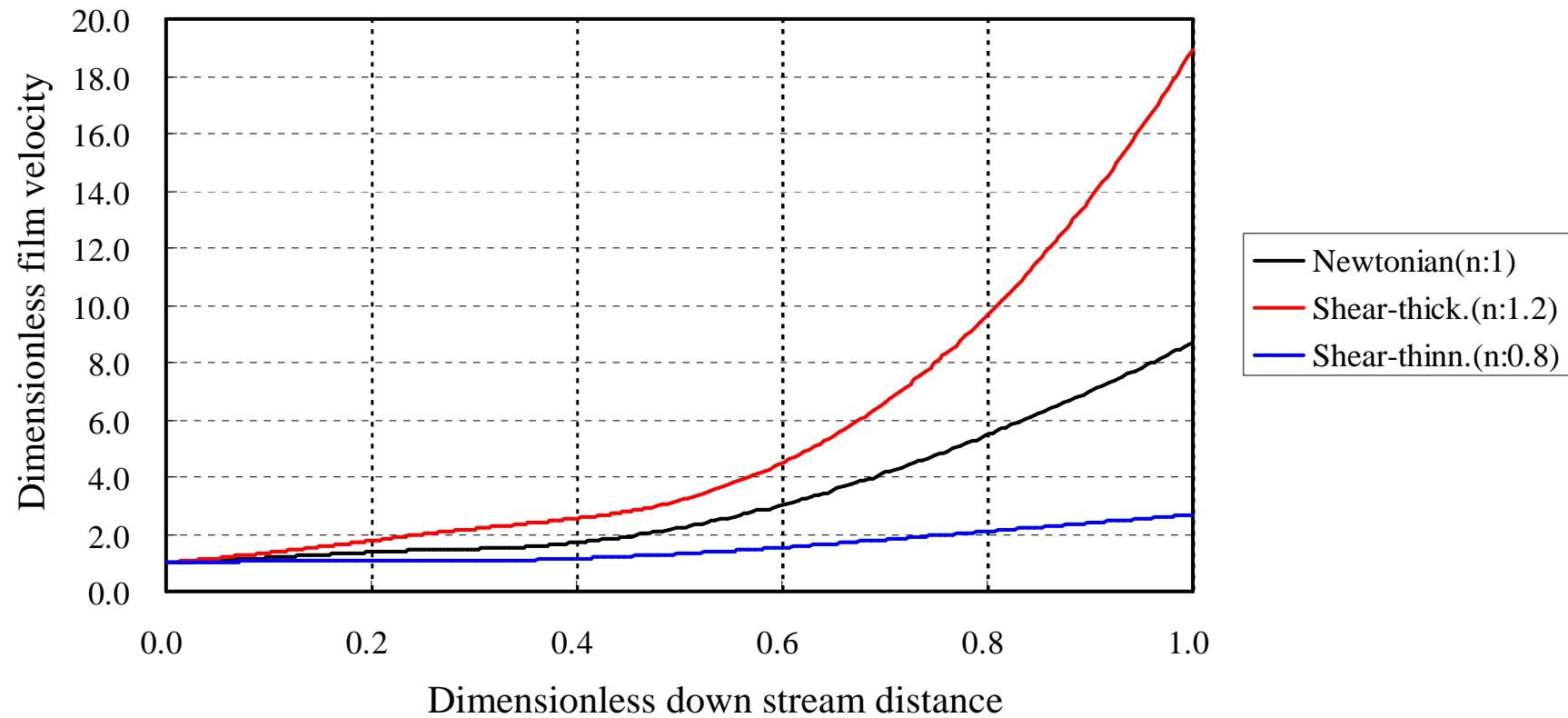
	Newtonian	Shear-thickening	Shear-thinning
Power law index n	1.0	1.2	0.8
B	0.21	$0.21/0.02^{n-1}$	$0.21/0.02^{n-1}$
f_0	0.969	$0.969/0.02^{n-1}$	$0.969/0.02^{n-1}$
C	0.15	0.15	0.15
H	0.1	0.1	0.1
J	0.07	0.07	0.07
ρ_{bu}	3.9	3.2	4.0

近似解を補正する数値解析で
 $r(0)=1$ を満足する解として算出

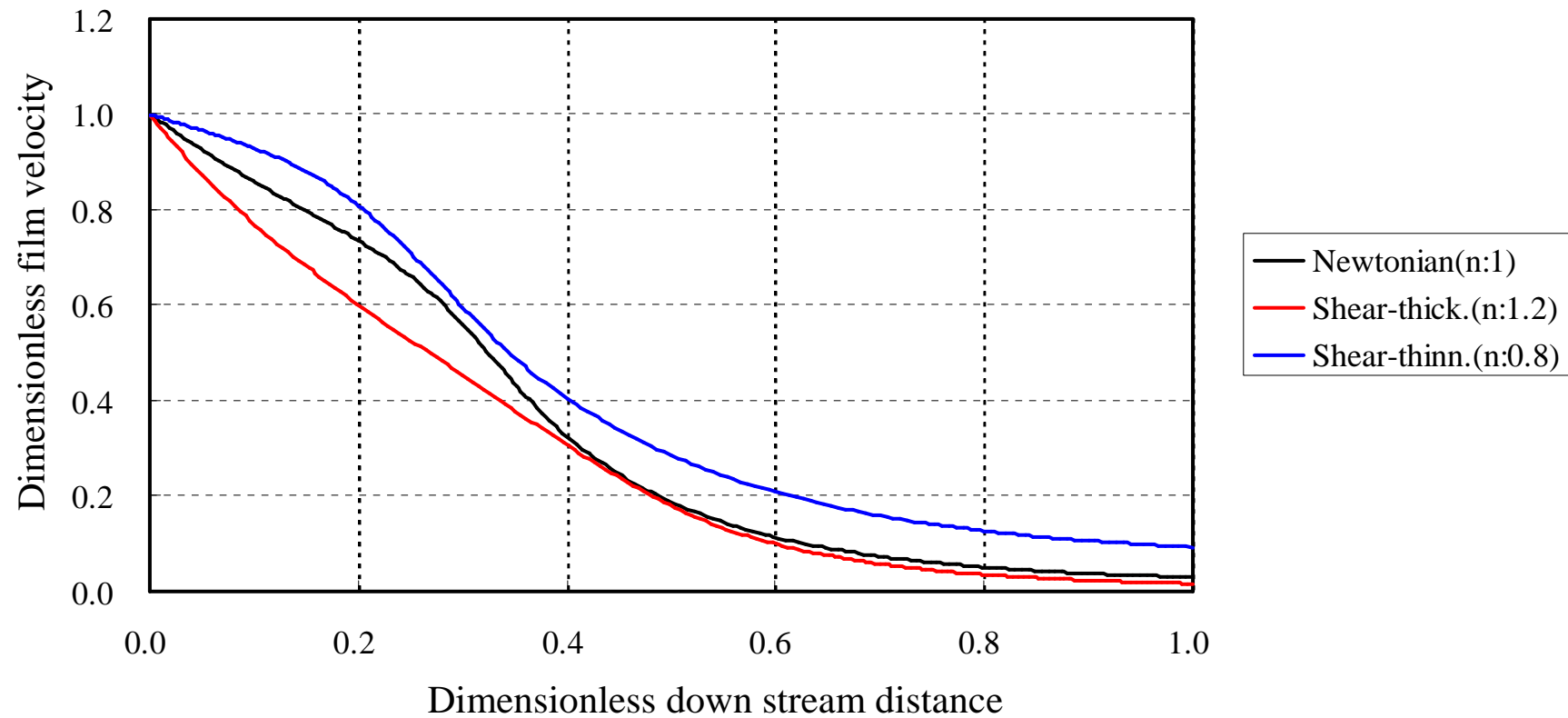
解析結果



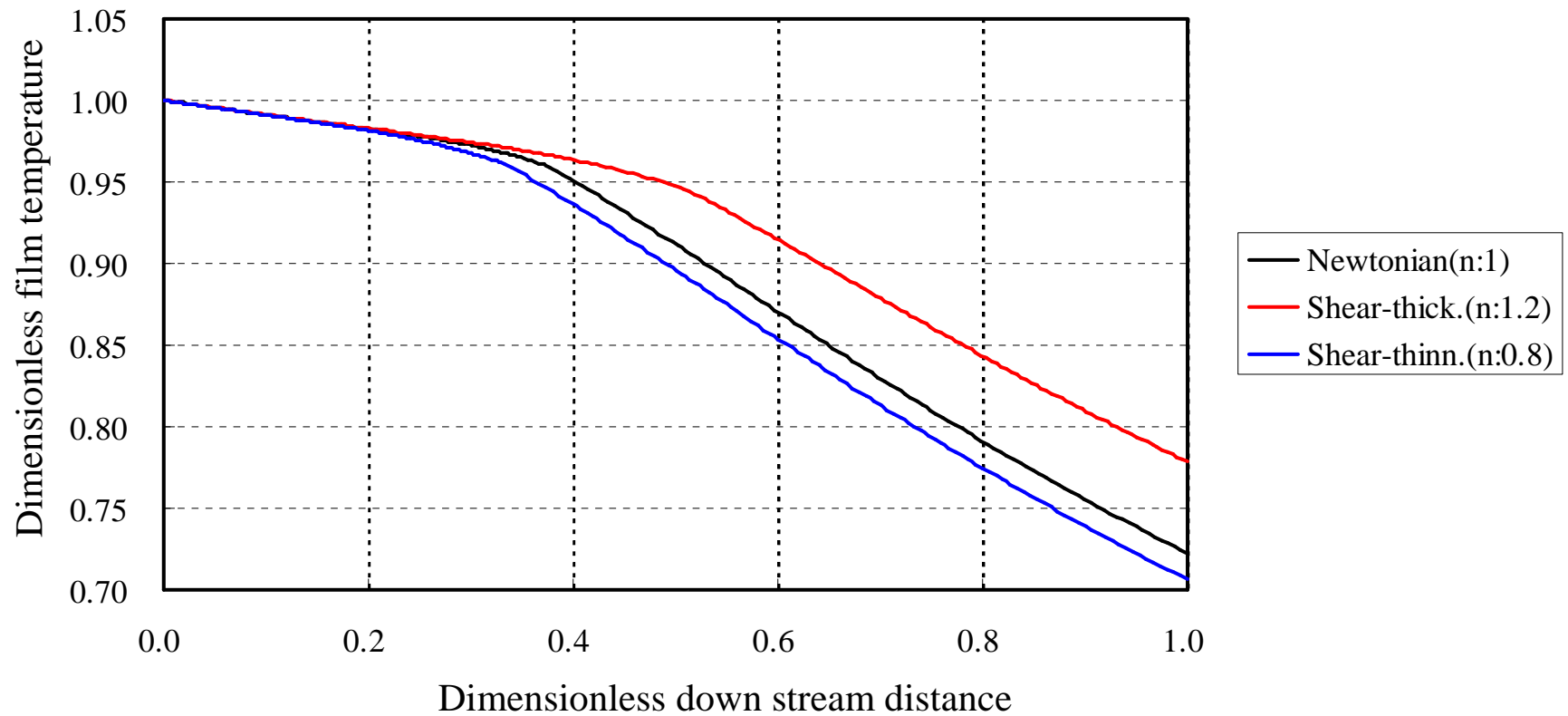
Power law indexの変化に伴うフィルム形状の変化



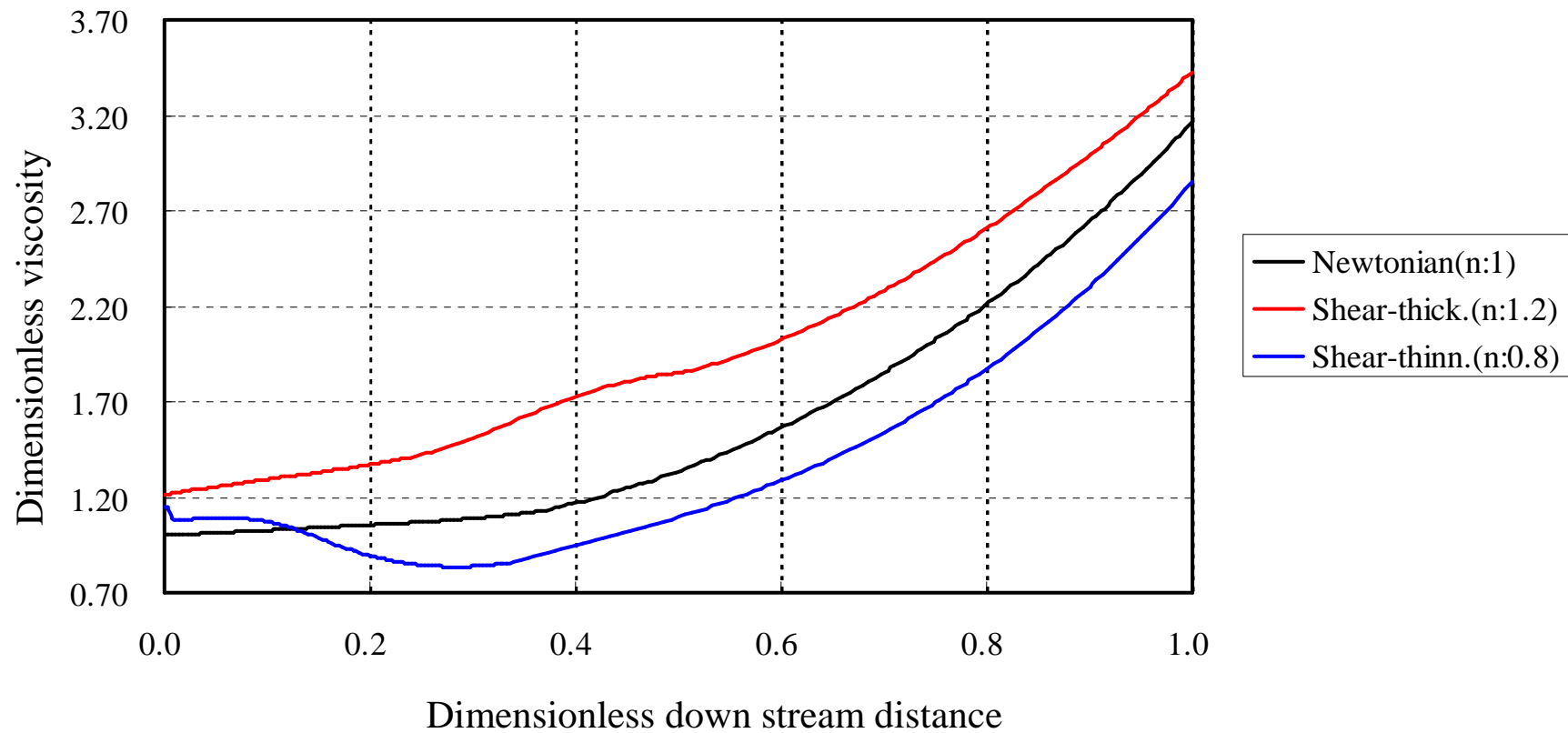
Power law indexの変化に伴うフィルム流速の変化



Power law indexの変化に伴うフィルム肉厚の変化



Power law indexの変化に伴うフィルム温度の変化



Power law indexの変化に伴う粘度の変化

解析結果のまとめ

- 1) 粘度差を反映して、フィルム半径とブロー比は、同一成形条件下において、Shear-thickening<Newtonian<Shear-thinningの順に増加します。
- 2) フィルム流速は、Shear-thinning<Newtonian<Shear-thickeningの順に増加します。
- 3) フィルム肉厚は、Shear-thinning>Newtonian>Shear-thickeningの順に減少します。Shear-thinningとNewtonianの肉厚に変曲点が存在するのに対し、Shear-thickeningの肉厚は、指数関数的に単調減少します。
- 4) フィルム温度は、Shear-thinning<Newtonian<Shear-thickeningの順に高くなります。
- 5) 粘度は、Shear-thickeningとNewtonianが下流側に向けて単調に増加するのに対し、Shear-thinningでは、温度低下に伴う粘度上昇とずり流動化による粘度低下の相殺効果により、粘度の極小点が存在します。

以上、要約すると、同一の成形条件下において、Shear-thickening流体は、Newton流体やShear-thinning流体と比較して、冷めにくく、高速に薄肉の成形品の製造が可能であり、フィルムインフレーション成形に適する材料と考えることができます。