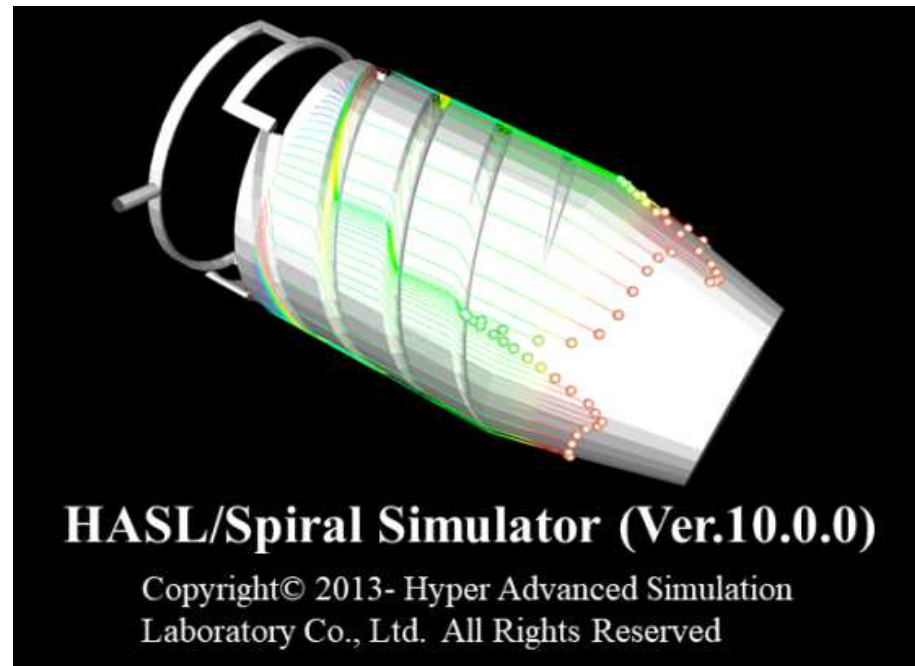

Spiral Simulator (Ver.10.0.0)

改良成果資料



2024/5/31

株式会社HASL

○改良成果一覧/ Spiral Simulator

単層解析

- (1) コントロールボリューム法を利用した滞留時間解析機能 p. 2
- (2) ダイ流出口の流束分布(単位幅方向の流量)グラフ作画機能 p. 5

多層解析

- (1) 発達多層解析機能(Developing solver) 改良 p. 7
- (2) 完全発達多層解析機能(Fully developed solver) 改良 p.12
- (3) 流出口層流束分布のグラフ作画機能 p.17

(1) コントロールボリューム(FVM)法を利用した滞留時間解析機能

従来, 滞留時間の計算ではVOF法を採用していました. VOF法では, 体積分率 F に対する輸送方程式

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla F = 0 \quad (1)$$

を非定常的に解析し, 着目する要素の体積分率 F が閾値0.5以上になった時刻を, その要素に到達するために要した滞留時間としていました. 当解法では, 非定常解析の計算時間刻みを適切に設定する必要があります. 計算時間刻みを適正值よりも長く設定すると計算精度が低下し, 予想外の結果が得られます. また, 解析モデルの要素分割を密にすると計算時間刻みを短くする必要があります. 非定常解析の計算サイクル数の増加に伴って, 結果を得るまでに要する時間も増大するという問題点がありました. 新しく実装した滞留時間の解析機能では, 滞留時間 t_{res} の物質導関数が1になるという基本的な性質を表現する定常輸送方程式

$$\frac{Dt_{res}}{Dt} = \mathbf{v} \cdot \nabla t_{res} = 1 \quad (2)$$

のコントロールボリューム(FVM)法を利用した定常解析を通じて, 滞留時間が評価されます. 従来のVOF法を利用した非定常解析と比較して, 計算時間刻みの調整や体積分率 F が不要であり, 定常方程式を一度解析すれば滞留時間が評価可能なため, 計算時間も大幅に短縮されます.

滞留時間の解析法は、熱流動解析コントロールパラメータパネル内のラジオボタンを切り替えて選択します。FVM法ラジオボタンをONとすると新規実装したコントロールボリューム法が選択されます。VOF法(旧Ver)ラジオボタンをONとすると従来のVOF法が選択されます。

熱流動解析コントロールパラメータ

熱流動計算パラメータ

非ニュートン反復計算回数

温度反復計算回数

層分割数

温度計算選択

対称 非対称

Film blow計算

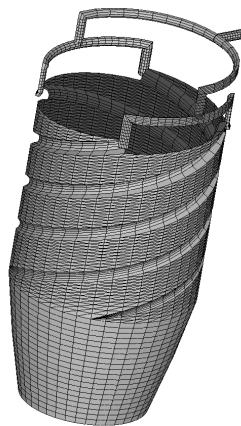
実行 非実行

滞留時間分布計算

FVM VOF (旧Ver)

滞留時間解析法選択
ラジオボタン

テスト解析例 : ¥Ver10test¥testspiral_FVM_ver10.smdcal



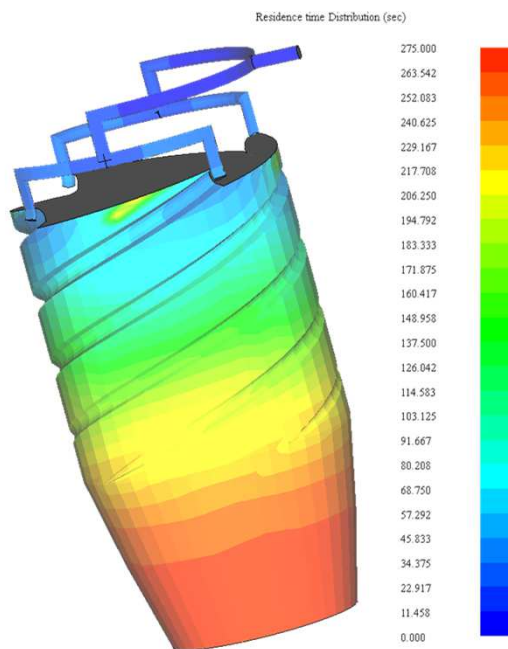
流入口 $Q=100.0 \text{ cm}^3/\text{sec}$

流路体積 $20,273 \text{ cm}^3$

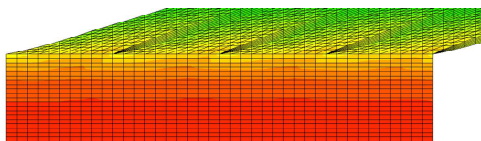
樹脂データ: HDPE_B1.pro
(Materialfit DB)

下図に各解析法を利用した滞留時間解析結果の比較を示します。両者間で定量的に有意な差が生じました。新規コントロールボリューム(FVM)法では、ダイ領域の滞留時間にポート数由来の周期性が確認できました。従来のVOF法を利用する際、解析結果の厳密性を追求すると計算時間刻みや要素分割密度が解析結果に及ぼす影響を吟味する必要があります。一方、コントロールボリューム法では計算用の調整パラメータが不要なため、解析結果の品質は要素分割密度のみに依存します。運用が容易で一度の定常解析で滞留時間分布が評価可能であることを理由として、今後の運用ではコントロールボリューム法の利用を推奨します。

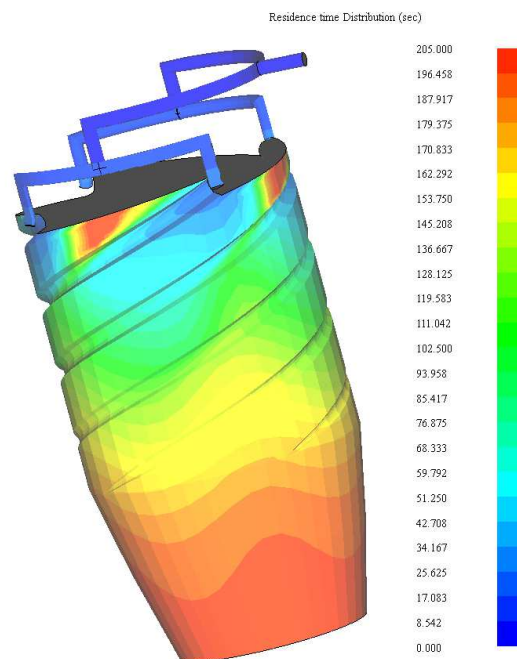
既往 (VOF法)



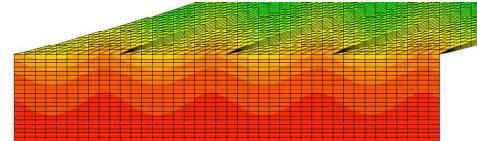
展開図/ダイ領域



新規 (コントロールボリューム法)



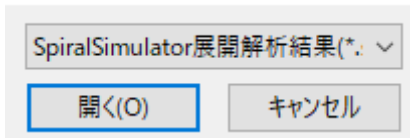
展開図/ダイ領域



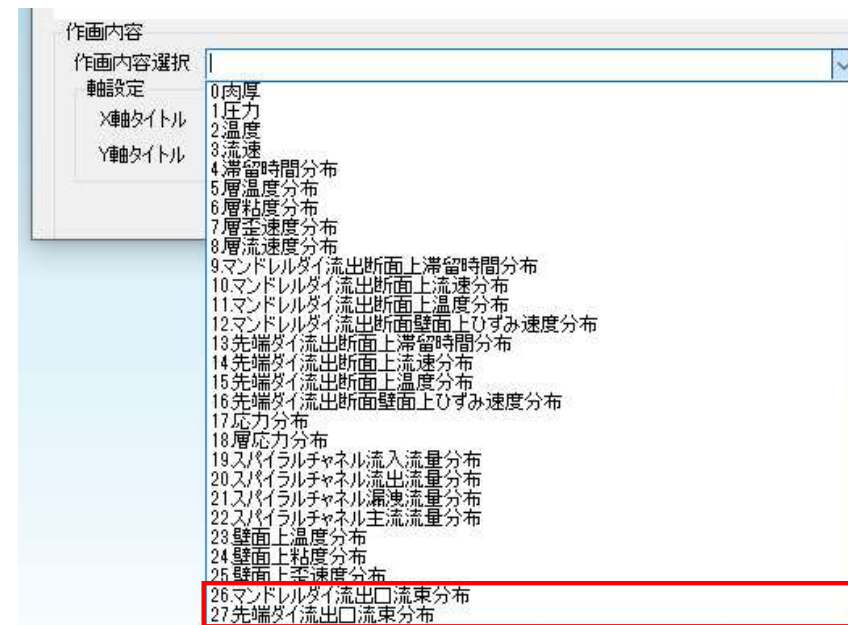
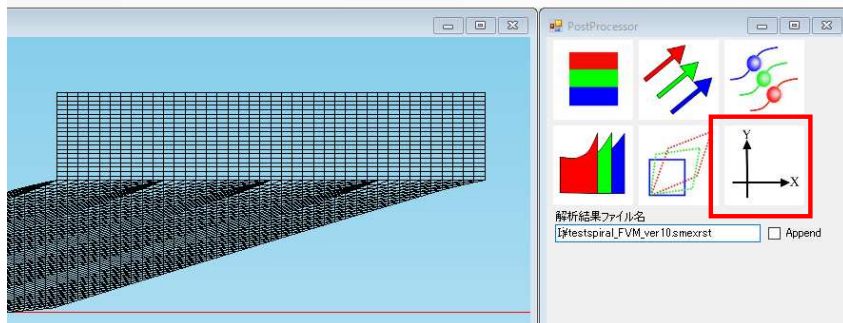
(2) ダイ流出口の流束分布(単位幅方向の流量)グラフ作画機能

グラフ図の作画項目に 26. マンドレルダイ流出口流束分布, 27. 先端ダイ流出口流束分布が追加されました。当情報は, 流出口の単位幅当たりの流量(cm^2/s) を表します。先端ダイ流出口流速分布において, ダイ流出後の下流側フィルム領域での口径変化および固化に伴う密度変化を無視すると, 当情報をフィルムの引取り速度(cm/s)で除した値がフィルムの層厚(cm)に相当します。

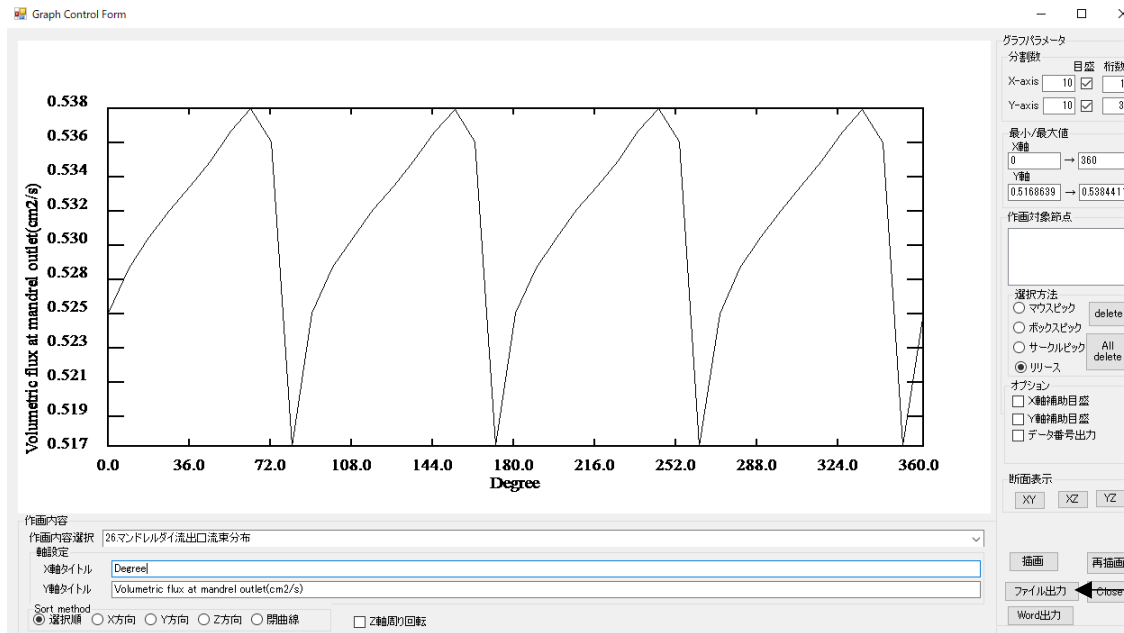
解析結果ファイルインポートで展開解析結果(.smexrst)を選択。



グラフプロットアイコンをクリック。

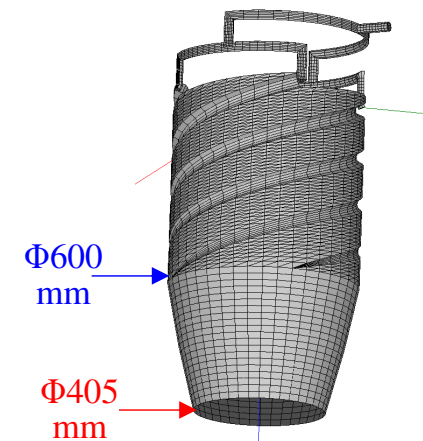
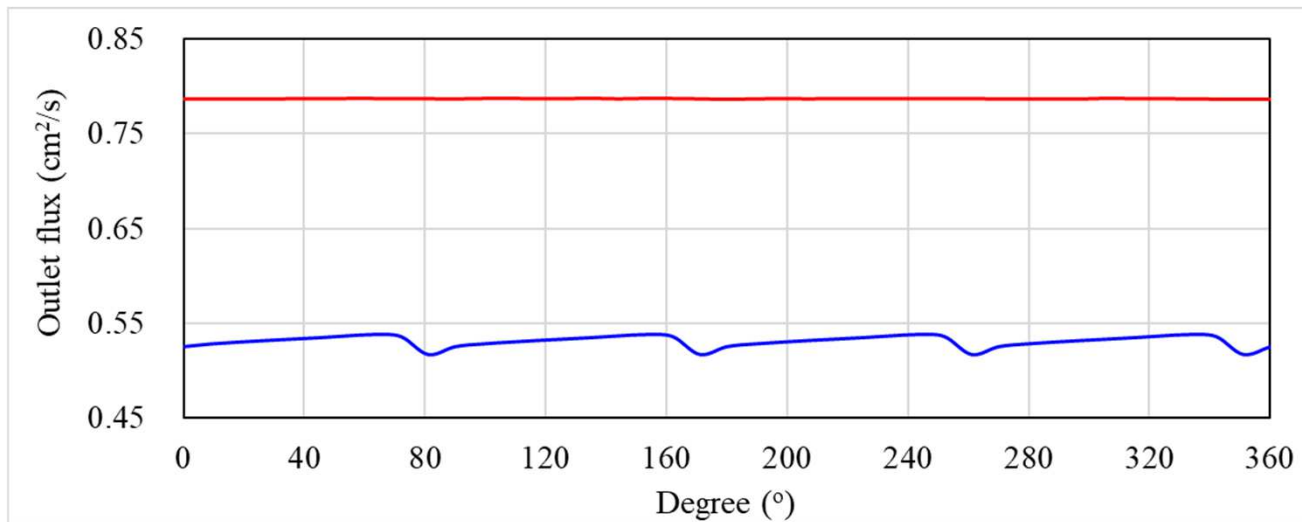


作画内容を選択。



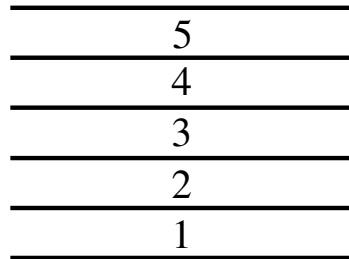
ファイル出力ボタンをクリックすると
テキストファイル形式で保存できます。

グラフ例(エクセルを利用) 26. マンドレルダイ流出口流束分布, 27. 先端ダイ流出口流束分布



(1) 発達多層解析機能(Developing solver) 改良

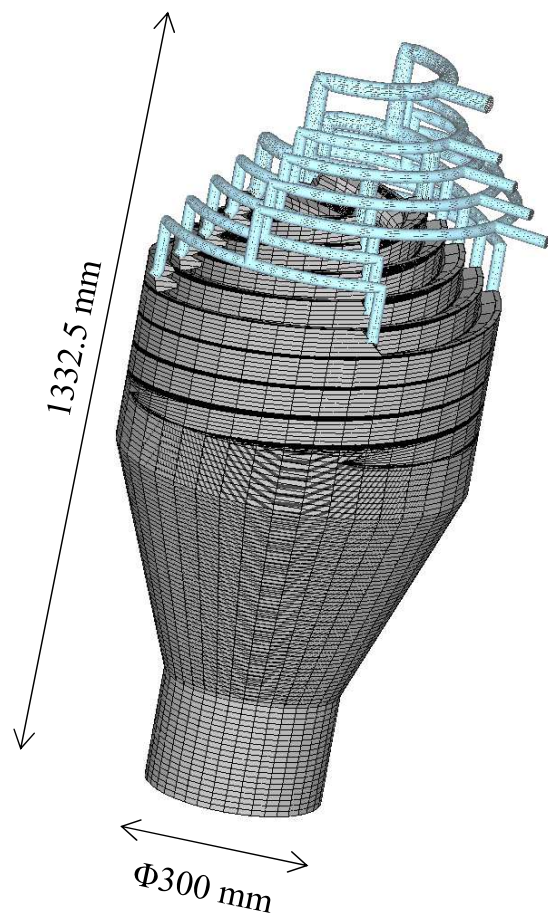
多層流体の合流域を含む発達多層流動解析は、層数の増加に伴って収束解を得ることが難しくなります。5層発達多層流動を想定した場合、従来の発達多層解析法では、下図 (a) に示す様に層番号に対して昇順(1→2→3→4→5の順序)に多層流動状態と界面の形成状態を評価していました。この計算手順は自然ですが、計算過程の数値誤差が層番号の大きな層に蓄積される傾向がありました。そこでVer.10.0.0に実装した発達多層解析法では、下図 (b)に示す様に、表層側から中間層に向けて交互に解析を進める計算順序を採用しました。次ページ以降では、当計算法を5層多層モデルに適用した解析例を示します。



(a) 既往計算手順
1→2→3→4→5

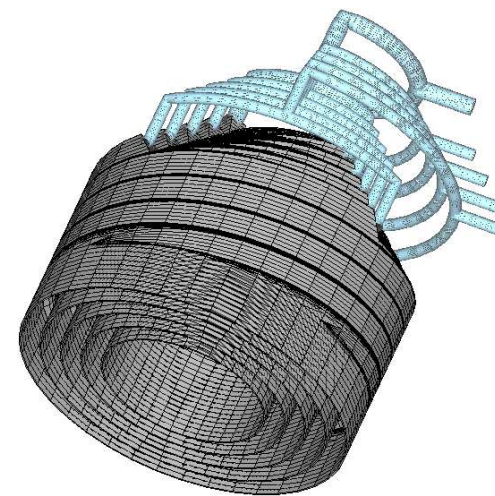
(b) 新規計算手順
1→5→2→4→3

解析モデル(3D Transform)



上流側: 径の異なる5つの単層モデルを個別に作成し, ダイ流出口を基準に位置合わせした(5layer_upper.msh)

* 多層モデルの作成手順詳細は, SpiralSimulator(利用手引き書Ver.8.0.0).ppt, p.149-, を参照ください.

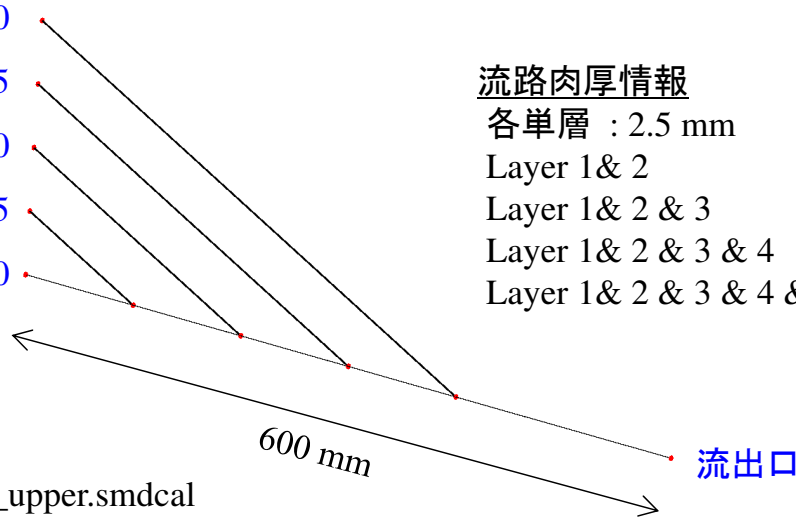


下流側結合部: 2.5Dメッシュ追加フォームから下図のライン(5line_upper.geon) を作成してメッシュ生成.

- Layer5: Φ600
- Layer4: Φ525
- Layer3: Φ450
- Layer2: Φ375
- Layer1: Φ300

流路肉厚情報

- 各単層 : 2.5 mm
- Layer 1& 2 : 4.0 mm
- Layer 1& 2 & 3 : 6.0 mm
- Layer 1& 2 & 3 & 4 : 8.0 mm
- Layer 1& 2 & 3 & 4 & 5 : 10.0 mm



テスト解析サンプル : ¥ Ver10test¥multi¥developing_5layer_upper.smdcal

解析条件: 運用方法はVer.9.0.0と同じです.

計算コントロールデータファイル名

 パス名

 メッシュデータファイル

 物性データファイル

層選択
 単層
 多層

熱流動解析コントロールパラメータ

熱流動計算パラメータ
 非ニュートン反復計算回数
 温度反復計算回数
 層分割数
 温度計算選択
 対称 非対称

Film blow計算
 実行 非実行

滞留時間分布計算
 FVM VOF (旧Ver.)

滞留時間分布計算パラメータ
 計算時間刻み
 自動計算 固定
 計算サイクル数
 最大計算サイクル数
 VOF判定基準値
 ファイル出力
 分割数指定

成形条件
 流量規定 圧力規定
 流入口流量(cc/sec)
 流出口圧力(MPa)
 流入温度(°C)

多層解析計算パラメータ
 圧力差寄与係数
 界面計算緩和係数
 粘性発熱係数
 粘度計算緩和係数

多層条件設定

多層流動解析条件設定フォーム

物性データファイル
 HDPE_B1
 HDPE_B2
 HDPE_B1
 HDPE_B2
 HDPE_B3
 分子量の異なる3種類のHDPE樹脂データを使用しました。(Materialfit Database)

層数 5

押出量(kg/h)
 12
 10
 10
 8
 6
 押出量(kg/h)

層数 5

1,	0.5
100,	0.6
200,	0.7
300,	0.8
400,	0.9
500,	1

Iteration
 Evolution parameter

解析手法選択
 Developing multi layer flow
 Fully developed multi layer flow
 Interface with upwind information

発達多層解析(Developing)

解析中のコマンドプロンプト画面

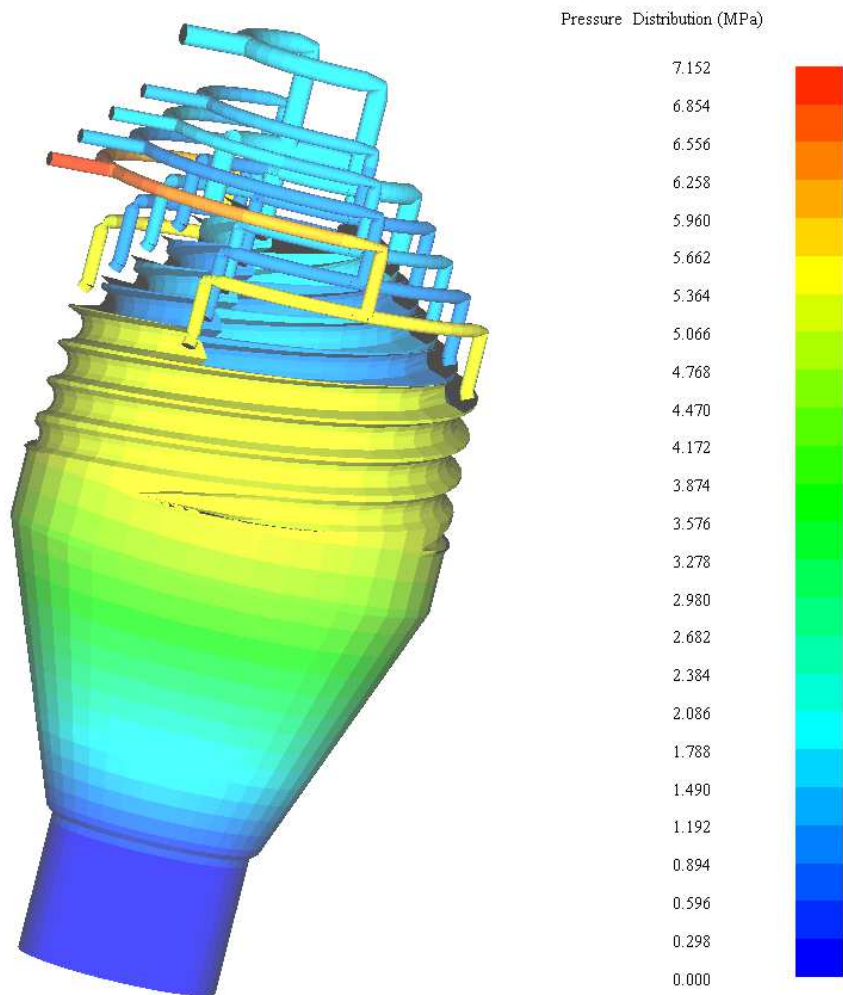
```
Non-Newtonian Thermal Flow Calculation iter.=      1000
pcoefc=  1.000000
l=       1 qfluxsum cal = -4.332429   Relative error : 7.9098262E-02
l=       2 qfluxsum cal = -3.606871   Relative error : 1.7546795E-02
l=       3 qfluxsum cal = -3.607024   Relative error : 1.3303841E-02
l=       4 qfluxsum cal = -2.882161   Relative error : 0.1331376
l=       5 qfluxsum cal = -2.163583   Relative error : 4.2495627E-02

***** Thermal Flow Calculation End *****
```

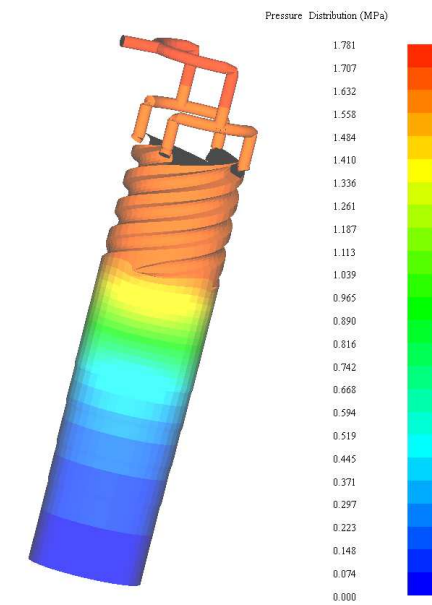
各層毎に、解析条件で設定した流量との相対誤差(Relative error, 単位 %) が表示されます。相対誤差が大きくなり、途中で解析がエラーストップするような場合には、多層界面計算の緩和係数や相互作用効果を表現する Evolution parameter を低減するなどの調整を行います。

解析結果例

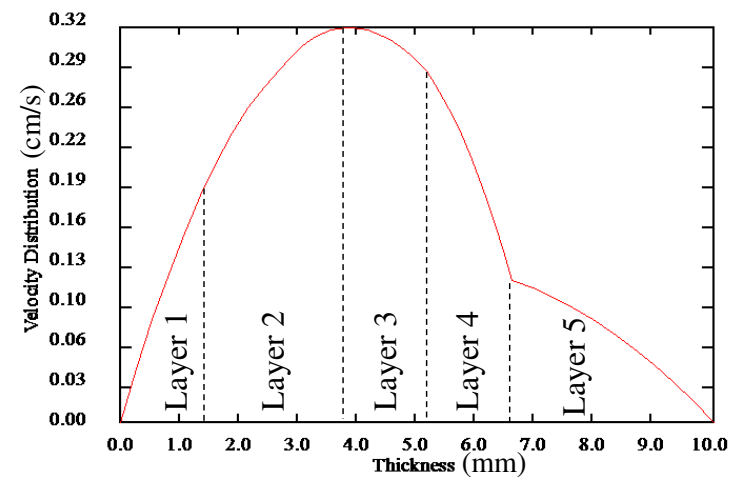
全層圧力分布 (MPa)



Layer 1 圧力分布 (MPa)



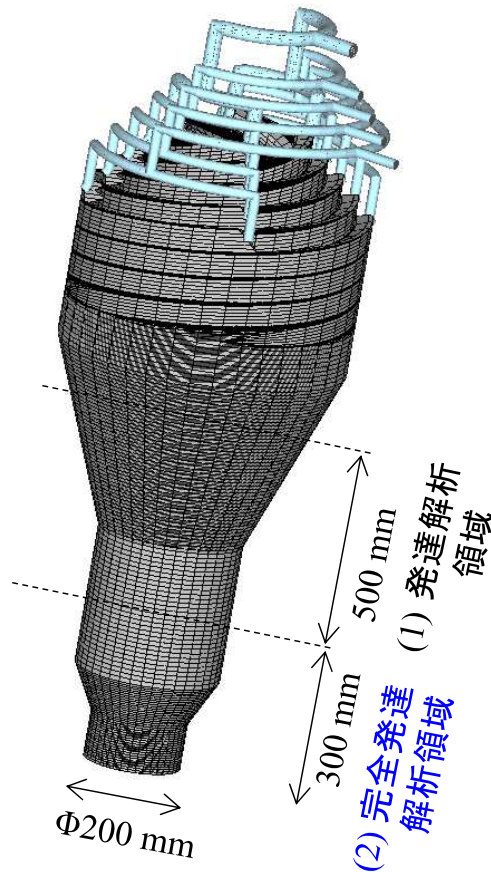
流出口の層流速分布 (グラフプロット)



(2) 完全発達多層解析機能(Fully developed solver) 改良

Ver.10.0.0では、Ver.9.0.0で実装された、完全発達流れに漸近した下流側多層流動領域の解析機能についても、(1)発達多層解析機能(p.7-)と同様に、解の収束性を向上させる改良を行いました。以降では、(1)の解析モデルの下流側に、発達流れを前提とした5層多層流路モデルを作成して実施した解析例を示します。

解析モデル全体 (3D Transform)

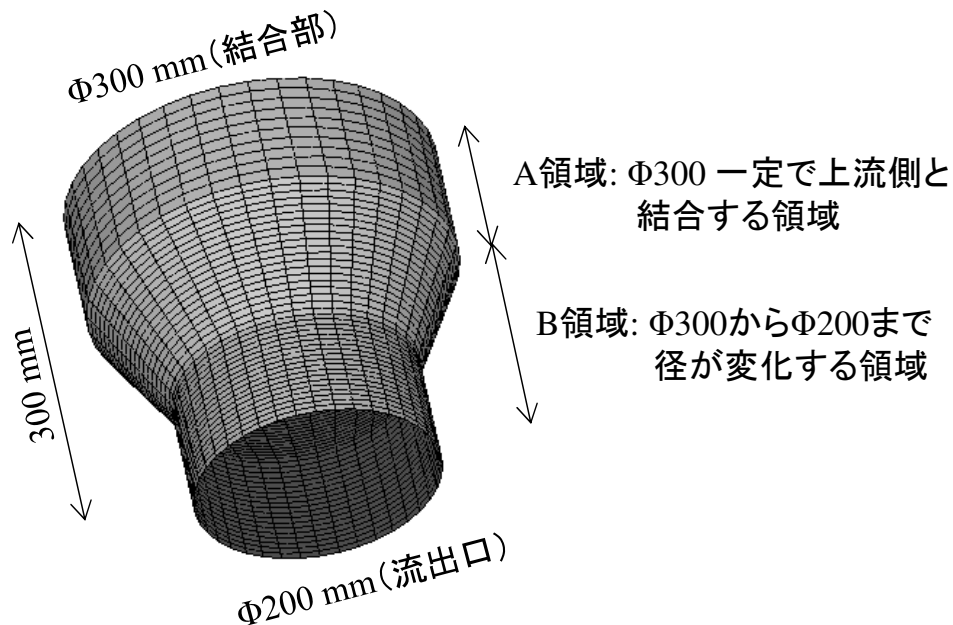


- ・多層流体の合流直後の発達流動領域(発達状態)では、界面の法線方向に対して余剰応力が発生し、層間で圧力が不連続な状態になります。
- ・合流後の多層流体は、適当な助走区間を経て、層間で圧力が連続な状態である完全発達状態に漸近します。
- ・完全発達状態の多層解析は、発達状態の多層解析と比較して収束性に優れ、計算時間も短くなります。したがって本事例のように、完全発達領域の流路を独立で定義し、上流側の発達状態の解析結果を利用して解析する方法を推奨します。

参考文献: Tanifuji, S., Yorifuji, D., Kibou, T., and Tatsumi, M.

「A Generalized 2.5D FEM Formulation for Steady Non-Newtonian Viscous Multi Flow Part 1: Formulation and Theoretical Verification」*Seikei-Kakou*, **33**, 2, 60(2021)

完全発達領域の多層解析モデル

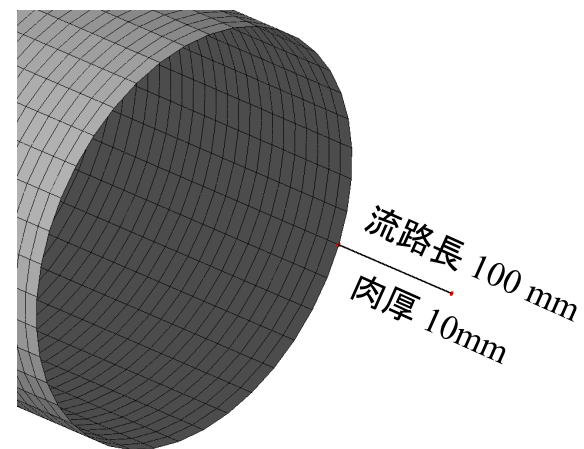


*完全発達領域の多層モデルの作成手順詳細は、SpiralSimulatorVer9.0.0多層流動解析チュートリアル.ppt p.18-, を参照ください。

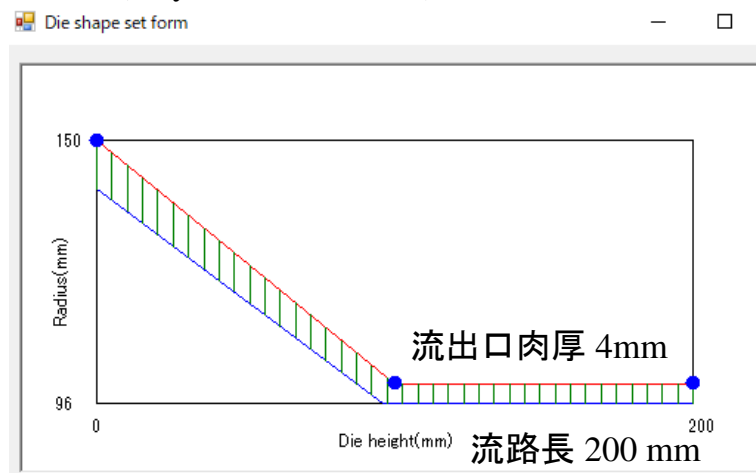
テスト解析サンプル

¥ Ver10test¥multi¥fullydeveloped_5layer_lower.smdcal

A領域: 上流側モデルを起点に, 下図のライン (5layer_lower.geon) を作成してメッシュ生成



B領域: メインメニュー/ツール/多層ダイ生成フォーム (5layer_lower2.dieinf) を作成してメッシュ生成



解析条件: 運用方法はVer.9.0.0と同じです.

計算コントロールデータファイル名

パス名

メッシュデータファイル

物性データファイル

層選択

- 単層
 多層

熱流動解析コントロールパラメータ

熱流動計算パラメータ

非ニュートン反復計算回数

温度反復計算回数

層分割数

温度計算選択
 対称 非対称

Film blow計算
 実行 非実行

滞留時間分布計算
 FVM VOF (旧Ver.)

成形条件

流量規定 圧力規定

流入口流量(cc/sec)

流出口圧力(MPa)

流入温度(°C)

滞留時間分布計算パラメータ

計算時間刻み
 自動計算 固定

計算サイクル数

最大計算サイクル数

VOF判定基準値

ファイル出力
 分割数指定

多層解析計算パラメータ

圧力差寄与係数

界面計算緩和係数

粘性発熱係数

粘度計算緩和係数

多層条件設定

多層流動解析条件設定フォーム

物性データファイル

層数 5

HDPE_B1
 HDPE_B2
 HDPE_B1
 HDPE_B2
 HDPE_B3

押出量(kg/h)

層数 5

12
 10
 10
 8
 6

押出量(kg/h)

Iteration

Evolution parameter

解析手法選択

Developing multi layer flow Interface with upwind information

Fully developed multi layer flow

完全発達多層解析(Fully developed)

解析中のコマンドプロンプト画面

```
Non-Newtonian Thermal Flow Calculation iter = 20
|= 1 qfluxsum cal = -4.332368 Relative error : 7.7699371E-02
|= 2 qfluxsum cal = -3.606819 Relative error : 1.8987549E-02
|= 3 qfluxsum cal = -3.606972 Relative error : 1.4744596E-02
|= 4 qfluxsum cal = -2.882119 Relative error : 0.1345667
|= 5 qfluxsum cal = -2.163552 Relative error : 4.3927569E-02

***** Thermal Flow Calculation End *****
```

各層毎に、解析条件で設定した流量との相対誤差(Relative error, 単位 %)が表示されます。
(2) 完全発達解析では、上流側の(1)発達解析の解析結果として自動出力される、拡張子 .fluxoutlet のファイルを設定することにより、(1)の収束解(各層の解析流量)を引継いで解析が実行されます。そのため、少ない反復計算回数(20回程度を推奨)で収束解が得られます。

解析手法選択

Developing multi layer flow

Fully developed multi layer flow

Interface with upwind information

developing_5layer_upper

Select

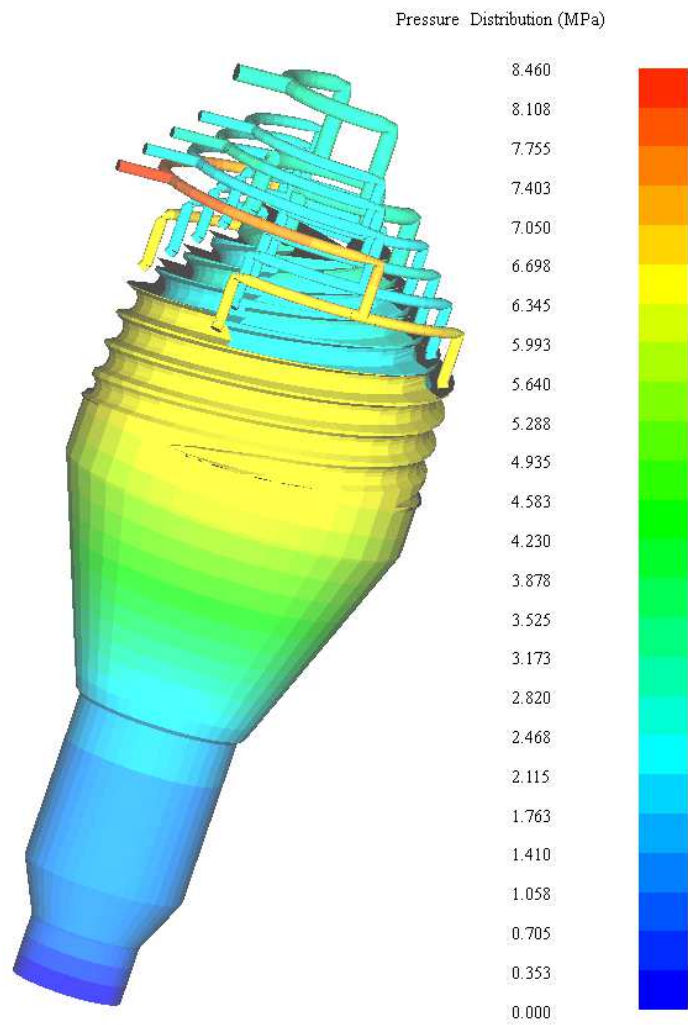
確定

閉じる

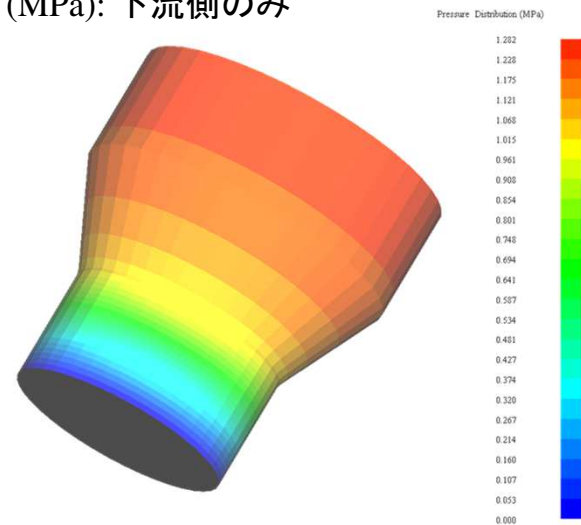
(1)の解析結果ファイル名.fluxoutletを設定する。

解析結果例

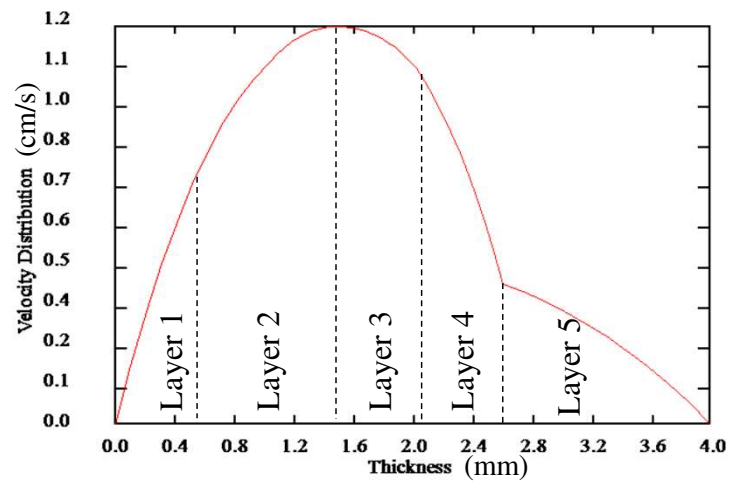
全層圧力分布 (MPa): 上流側と連結



Layer 1 圧力分布 (MPa): 下流側のみ



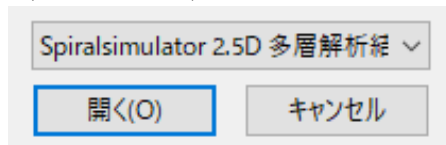
流出口の層流速度分布 (グラフプロット)



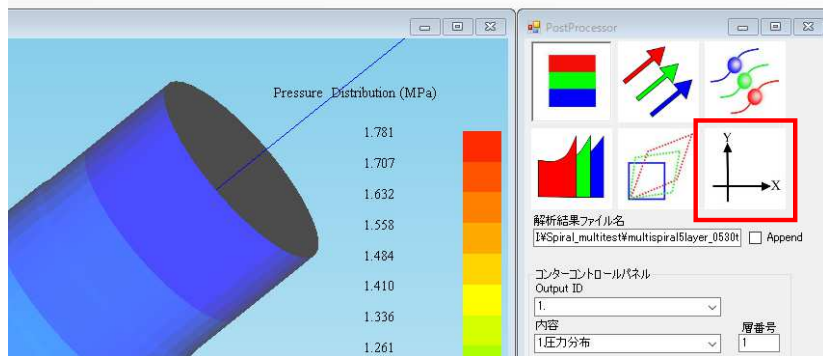
(3) 流出口層流束分布のグラフ作画機能

グラフ図の作画項目に 11. 流出口流束分布が追加されました. 当情報は, 流出口の単位幅当たりの層毎の流量(cm^2/s) を表します. 流束の幅方向の積分値は各層に設定した流量(cm^3/s)に一致します. ダイ流出後のフィルム領域における口径変化や密度変化を無視すると, 流束を引取り速度(cm/s)で除した値が層厚に相当します.

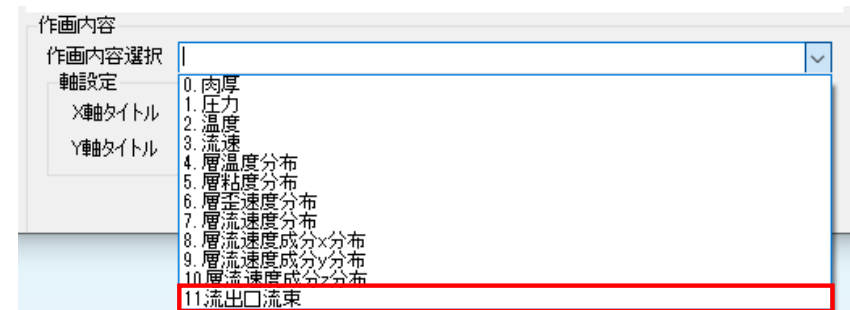
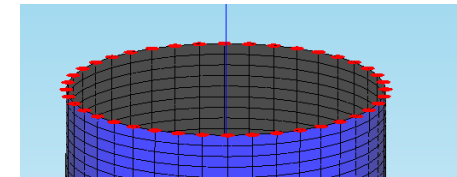
解析結果ファイルインポートで2.5D多層解析結果 (.25dmultirst) を選択.



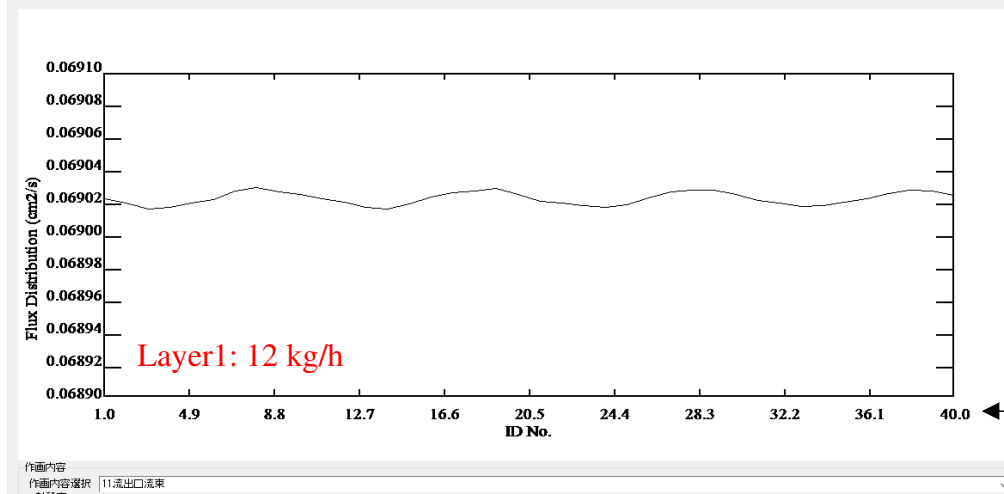
グラフプロットアイコンをクリック.



* 多層解析結果からグラフ図を作成する場合, 任意の1層のみの解析結果を描画後にグラフプロットをクリックします.



流出口節点をボックスピックなどで選択後, 作画内容で 11.流出口流束 をクリックします.



.fluxoutletファイル

layer:	1				
	10	0.00E+00	0.108309	1.569182	6.90E-02 200.2025
	9.876884	-1.56435	0.108305	1.569182	6.90E-02 200.2026
	9.510566	-3.09017	0.108299	1.569182	6.90E-02 200.2027
	8.910065	-4.53991	0.108301	1.569182	6.90E-02 200.2027

x座標 y座標 流束
(当情報)

横軸のID No. は周方向の節点数に相当します。
座標値(x, y)は、.fluxoutletファイルに記載されています。

グラフ例 (エクセルを利用) (2)完全発達流れ解析例 (p.16) の各層の流出口流束分布

