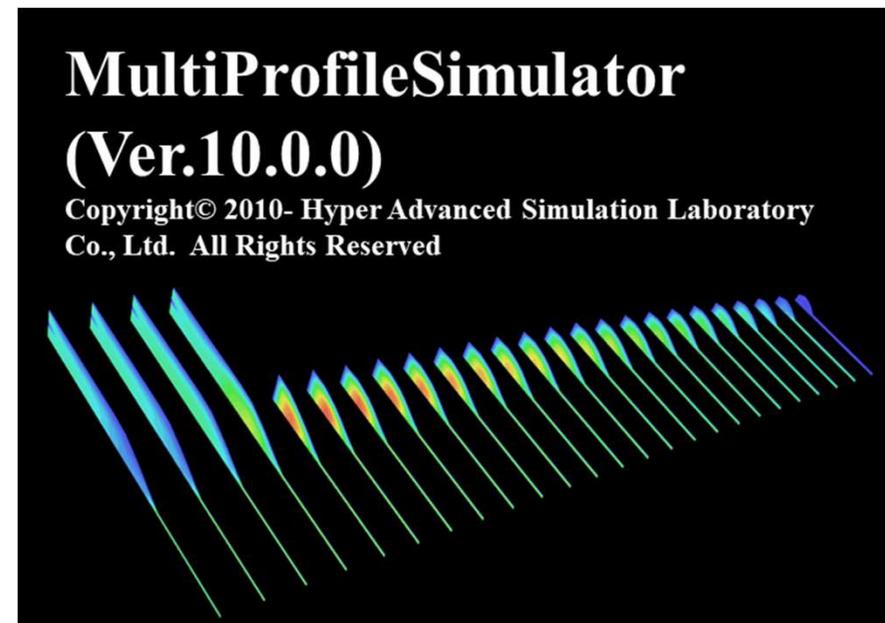
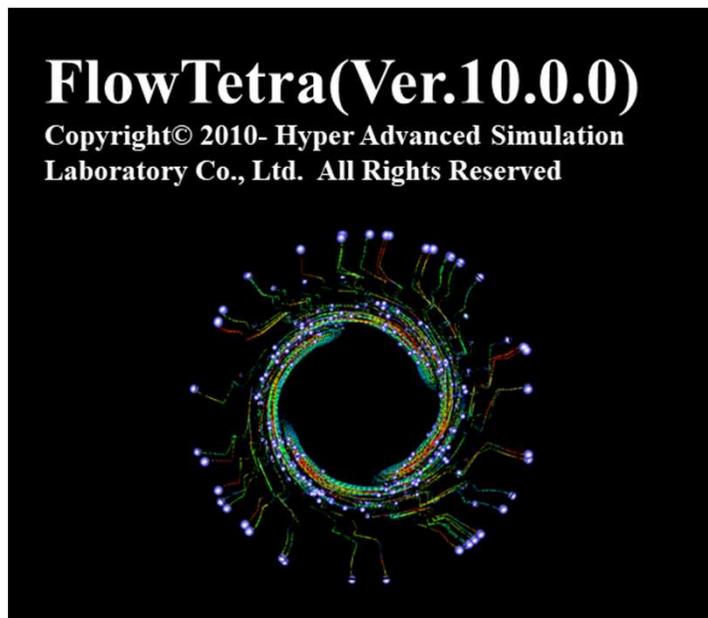

FlowSimulator3D(Ver.10.0.0)

改良成果資料



2023/02/24

株式会社HASL

○改良成果一覧

FlowTetra Ver.10.0.0

- | | |
|-----------------------------|------|
| (1) 壁面滑り解析機能 | p. 2 |
| (2) 多成分系の界面予測機能(濃度解析) | p.16 |
| (3) 法線応力差を考慮した解析機能 | p.35 |
| (4) 解析境界条件(流入出口)の簡易設定機能 | p.48 |
| (5) スライス断面の全情報取得機能 | p.50 |
| (6) メッシュ要素の適用範囲拡大(六面体, 三角柱) | p.55 |

MultiProfileSimulator Ver.10.0.0

- | | |
|--------------------------------|------|
| (1) リスタート解析および途中経過ファイル出力機能 | p.59 |
| (2) 樹脂／金属被覆成形の解析機能 | p.66 |
| (3) 自由表面領域の溶融粘度設定機能(No-flow温度) | p.74 |

(1) 壁面滑り解析機能

当機能を用いて、ダイ壁面での樹脂流体の滑りを想定した解析を行うことができます。壁面での滑り速度は、以下に示す Navier Slip Model¹⁾にしたがい決定されます。
(MultiProfileSimulatorに実装済)

Navier Slip Model

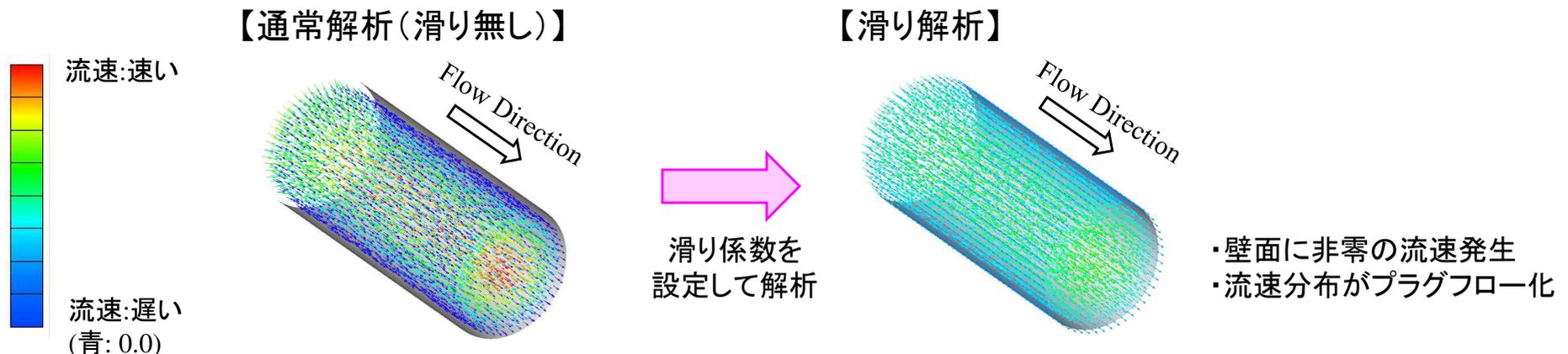
$$V_t = \beta \tau_t$$

V_t : 境界壁面の接線方向に沿った滑り速度,
 β : 滑り係数,
 τ_t : 壁面応力の接線方向成分

1) Goldstein, S., Modern Developments in Fluid Dynamics, Volume II (1965), p. 676-680, Dover publication, Inc., New York.

以降では、当機能の使用方法和解析事例について説明します。

(参考) 滑り解析のイメージ／円管内流動の流速ベクトル



【使用方法】解析条件設定フォーム中段の、壁面滑り考慮をチェック状態にして、滑り解析の設定項目を入力後に、条件保存および解析実行ボタンをクリックします。

解析条件設定

解析コントロールデータファイル名
cylinder_slip00001_001_1000 読込

樹脂物性選択
PP.pro 選択 読込 新規

モデル選択
cylinder.3msh 選択 読込

FEMAP neutral file
 FEMAPポストファイル出力 cylinder_slip.neu 選択

解析条件設定

解析モデル
 3D
 2.5D
 2.5D Multi

壁面滑り考慮
 牽引流考慮

壁面滑り解析(3D) 設定条件
滑り係数 0.0001
緩和係数 0.01
圧力損失の減少下限率 0

計算条件
イタレーション最大値 1000

温度計算条件
 壁面温度規定 壁面熱伝達規定
境界温度 180 °C
粘性発熱係数 1 温度分布設定

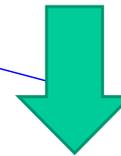
保存 解析実行

解析条件設定

解析モデル
 3D
 2.5D
 2.5D Multi

壁面滑り考慮
 牽引流考慮

チェック状態にすると、
設定欄が出現します。



解析条件設定

解析モデル
 3D
 2.5D
 2.5D Multi

壁面滑り考慮
 牽引流考慮

壁面滑り解析(3D) 設定条件
滑り係数 0.0001
緩和係数 0.01
圧力損失の減少下限率 0

計算条件
イタレーション最大値 1000

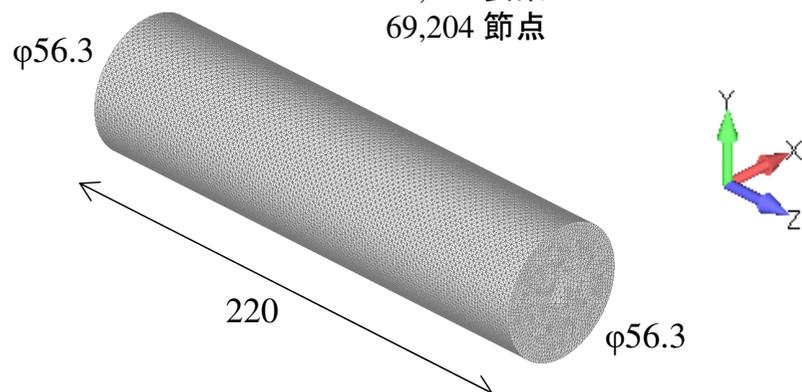
滑り係数 β

反復(イタレーション)計算の
収束性調整項
(デフォルト 0.01)

解析事例1 / 円管モデル

・解析モデル

流路体積: 498.2 cm³
メッシュサイズ: 1.5mm
355,548 要素
69,204 節点



・滑り解析条件

滑り係数 β が流動状態に及ぼす影響を確認するため、以下の4条件で解析を実施した。

- (1) $\beta = 0$ (滑りなし)
- (2) $\beta = 5.0 \times 10^{-5}$
- (3) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$
- (4) $\beta = 1.0 \times 10^{-3}$

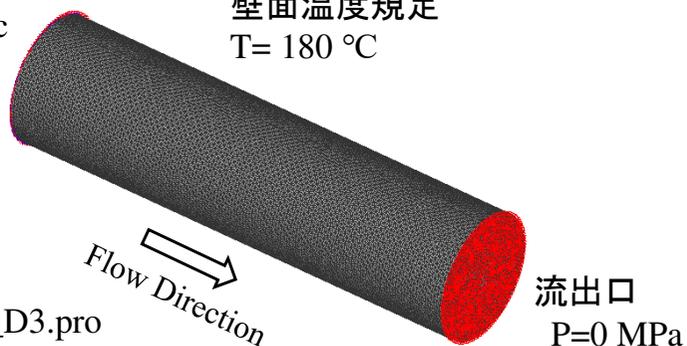
(3) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$ の場合の設定例



・境界条件

流入口
 $Q=100 \text{ cm}^3/\text{sec}$
 $T=200 \text{ }^\circ\text{C}$

壁面温度規定
 $T=180 \text{ }^\circ\text{C}$

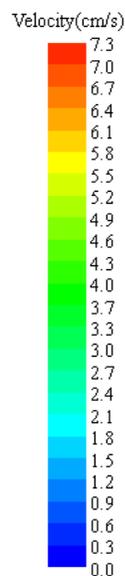
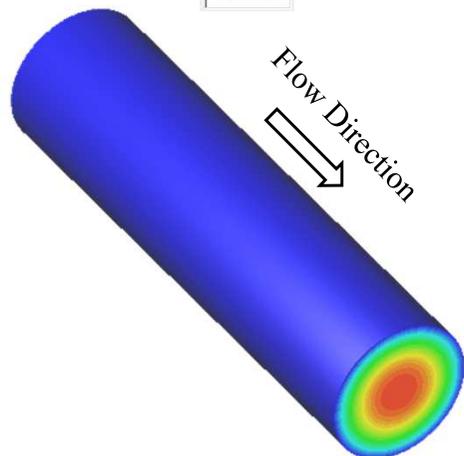


樹脂データ: PP_D3.pro
(Materialfit データベース)

・解析結果／流速分布 (cm/s)

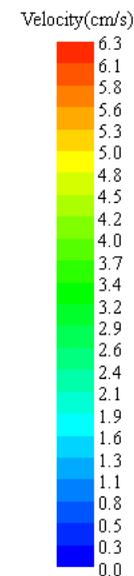
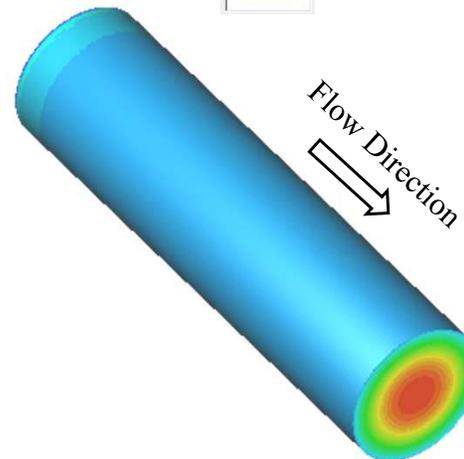
(1) $\beta = 0$ (滑りなし)

【表面コンター図】 

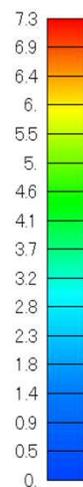
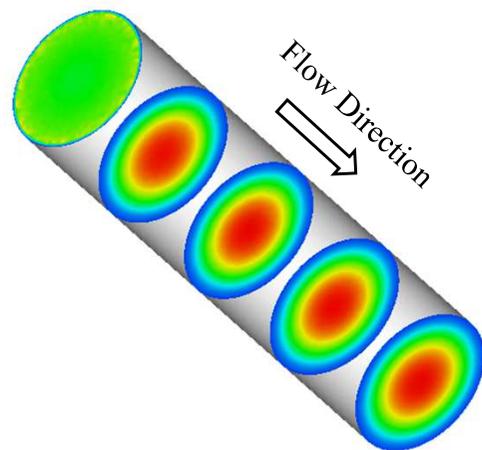


(2) $\beta = 5.0 \times 10^{-5}$

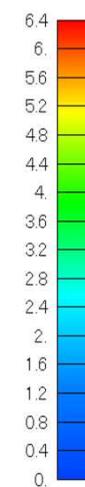
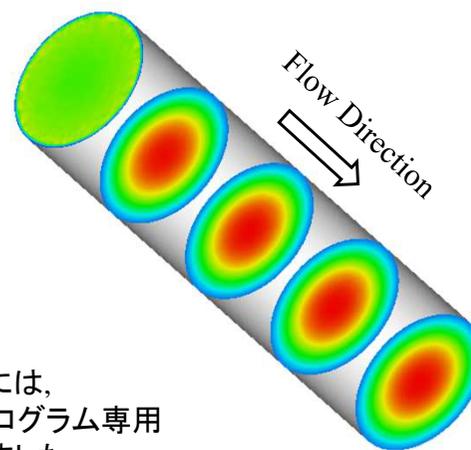
【表面コンター図】 



【複数断面スライス図*】



【複数断面スライス図*】

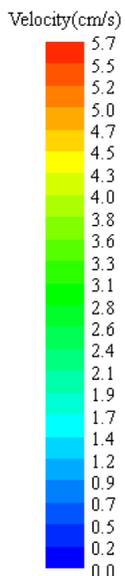
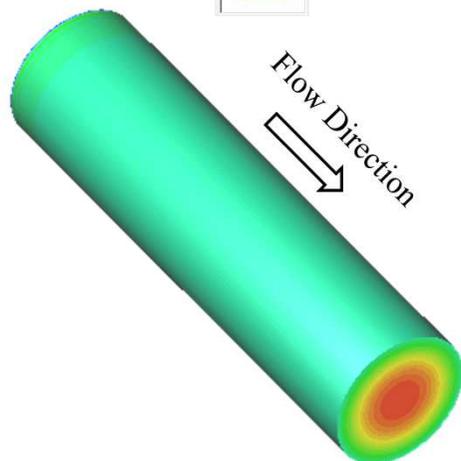


*複数断面スライス図の出力には、HASL社製樹脂流動解析プログラム専用プリポスト(Femap)を使用しました。

・解析結果／流速分布 (cm/s)

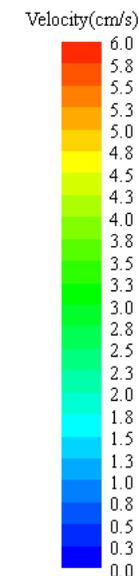
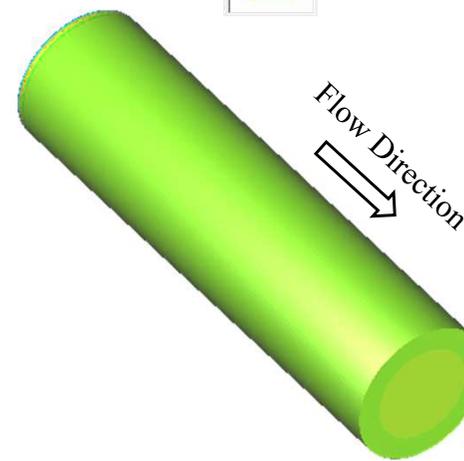
(3) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$

【表面コンター図】 

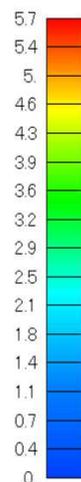
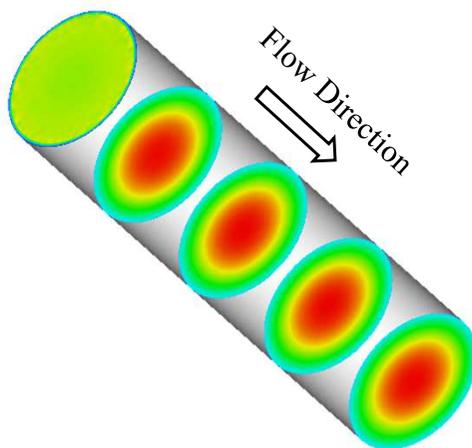


(4) $\beta = 1.0 \times 10^{-3}$

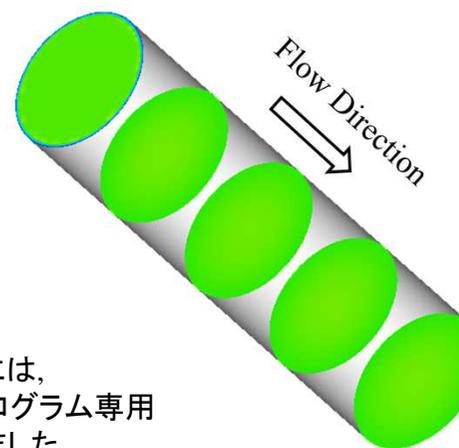
【表面コンター図】 



【複数断面スライス図*】



【複数断面スライス図*】

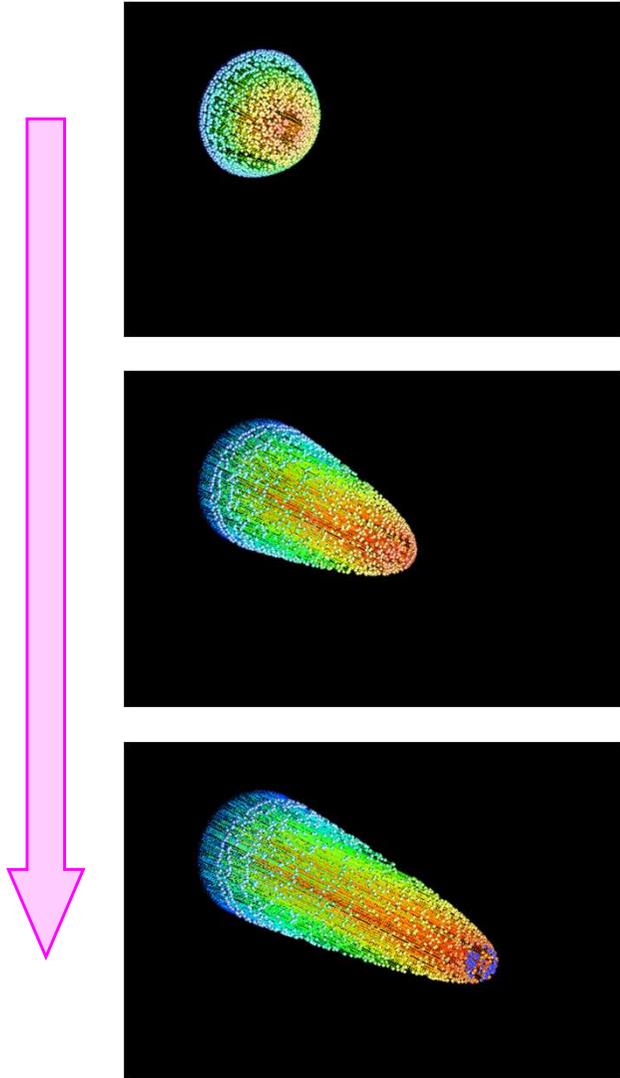


*複数断面スライス図の出力には、
HASL社製樹脂流動解析プログラム専用
プリポスト(Femap)を使用しました。

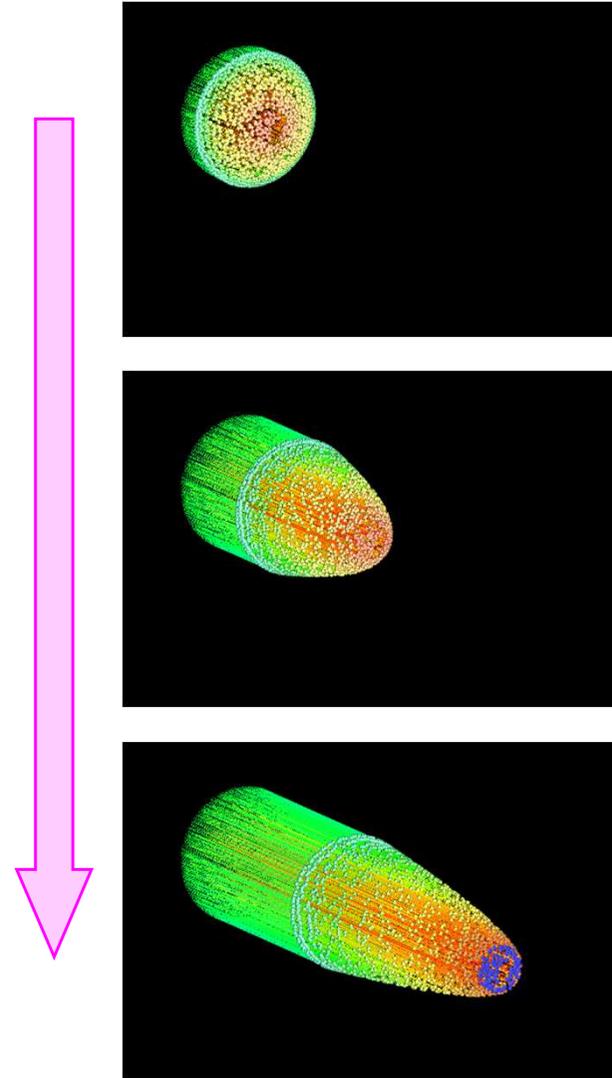
・解析結果／流線図



(1) $\beta = 0$ (滑りなし)



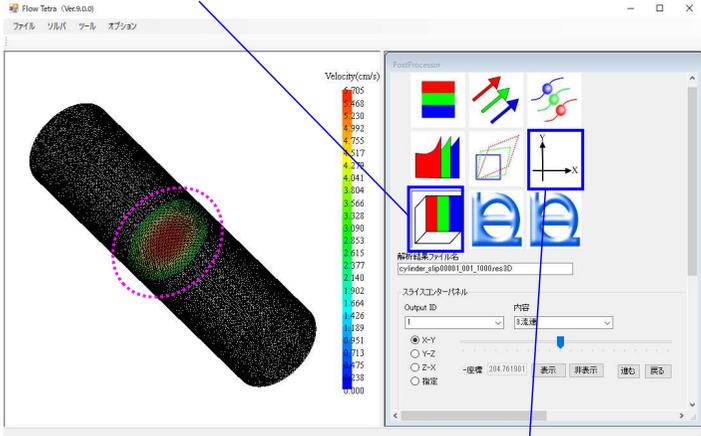
(3) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$



解析結果／流速分布 (cm/s)

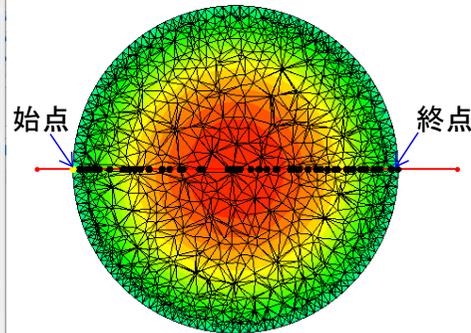
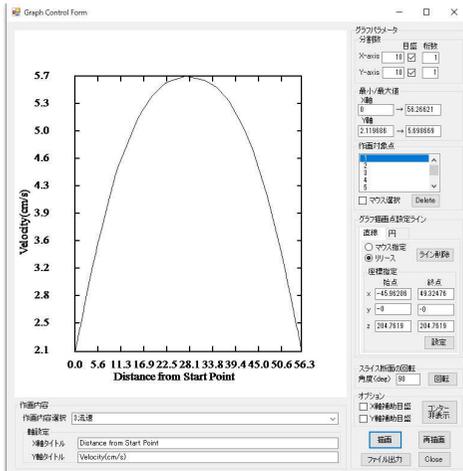
【断面流速分布の比較】

(1) スライスコンターで抽出する断面を表示する

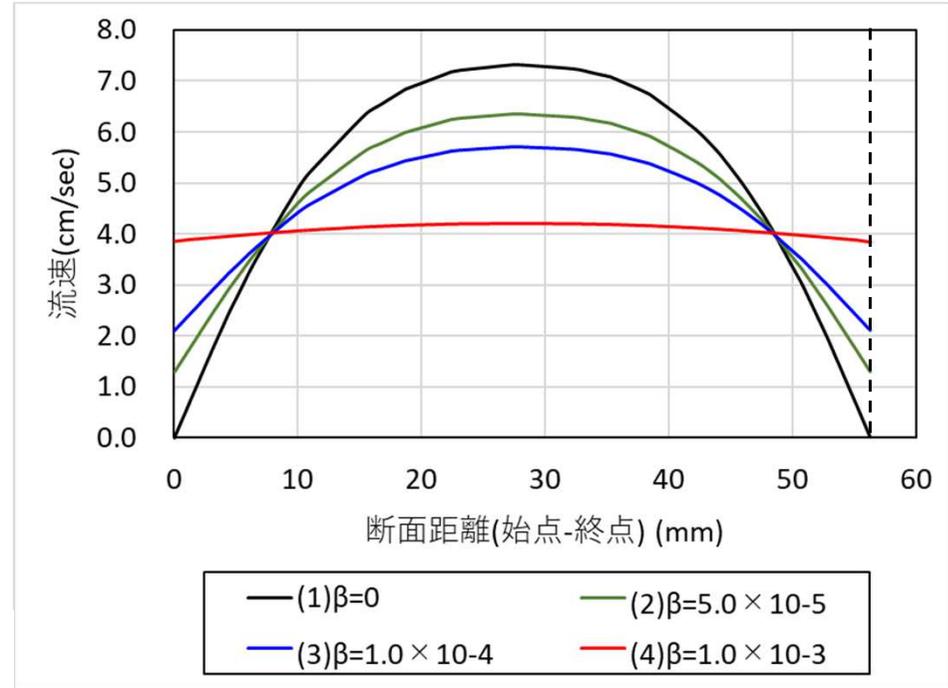


(2) グラフプロットをクリックする

(3) 断面を指定してグラフを描画する



(4) 条件毎に描画結果をファイル出力して、エクセルでグラフを作成する

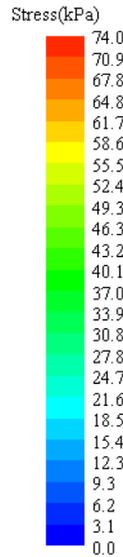
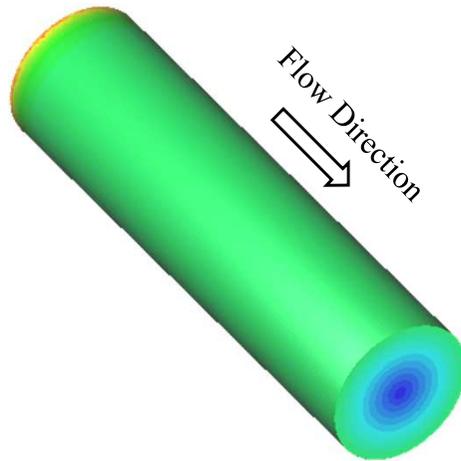


滑り係数 β を大きくするほど、壁面の滑り速度 V_s は大きくなります。

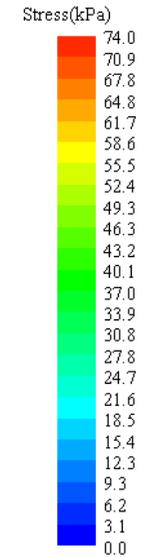
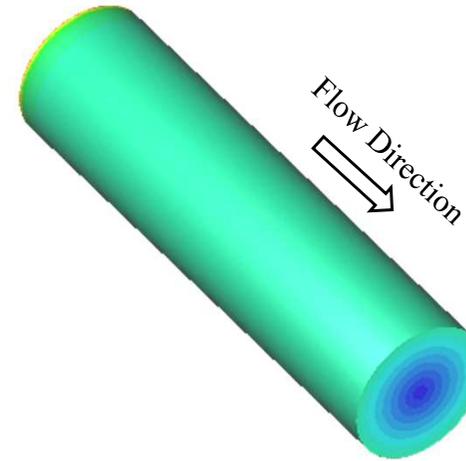
・解析結果／せん断応力分布 (kPa) 【表面コンター図, カラーレンジ統一】



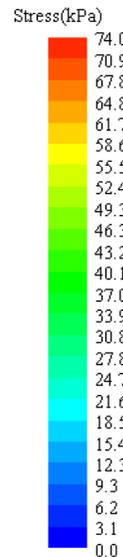
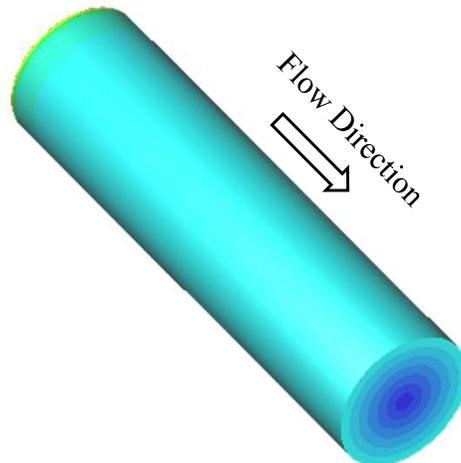
(1) $\beta = 0$ (滑りなし)



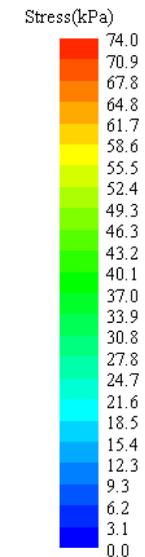
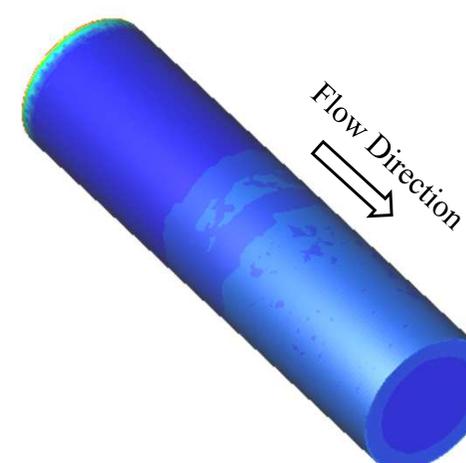
(2) $\beta = 5.0 \times 10^{-5}$



(3) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$



(4) $\beta = 1.0 \times 10^{-3}$

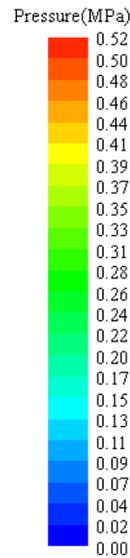
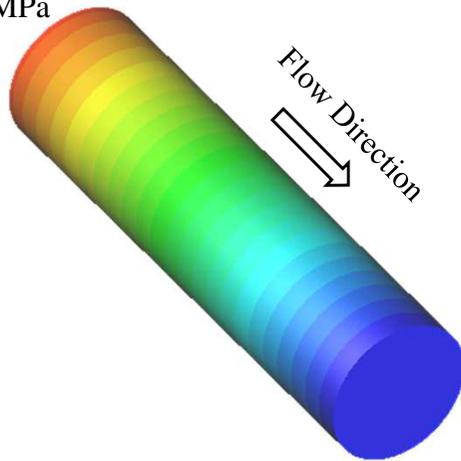


・解析結果／圧力分布 (MPa) 【表面コンター図, カラーレンジ統一】



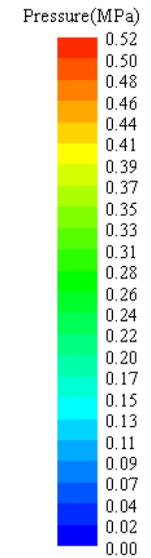
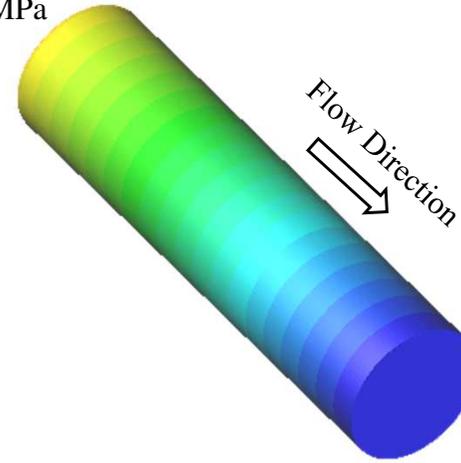
(1) $\beta = 0$ (滑りなし)

0.52 MPa



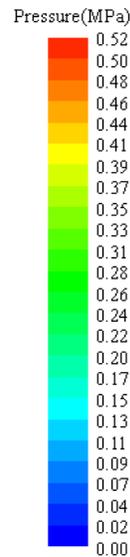
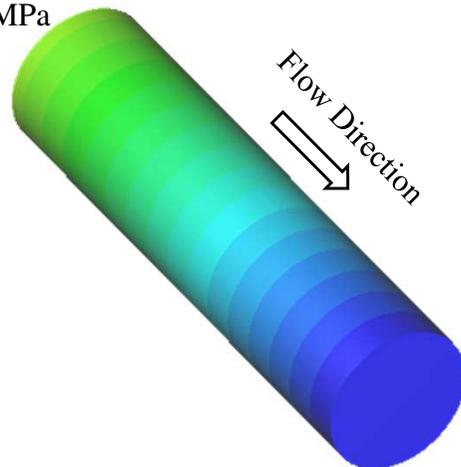
(2) $\beta = 5.0 \times 10^{-5}$

0.42 MPa



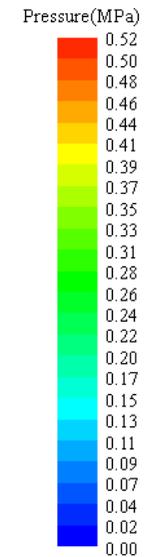
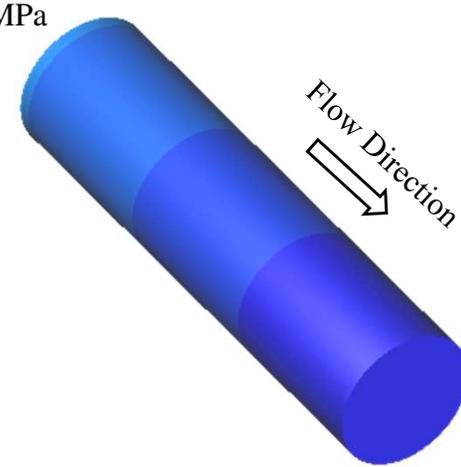
(3) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$

0.34 MPa



(4) $\beta = 1.0 \times 10^{-3}$

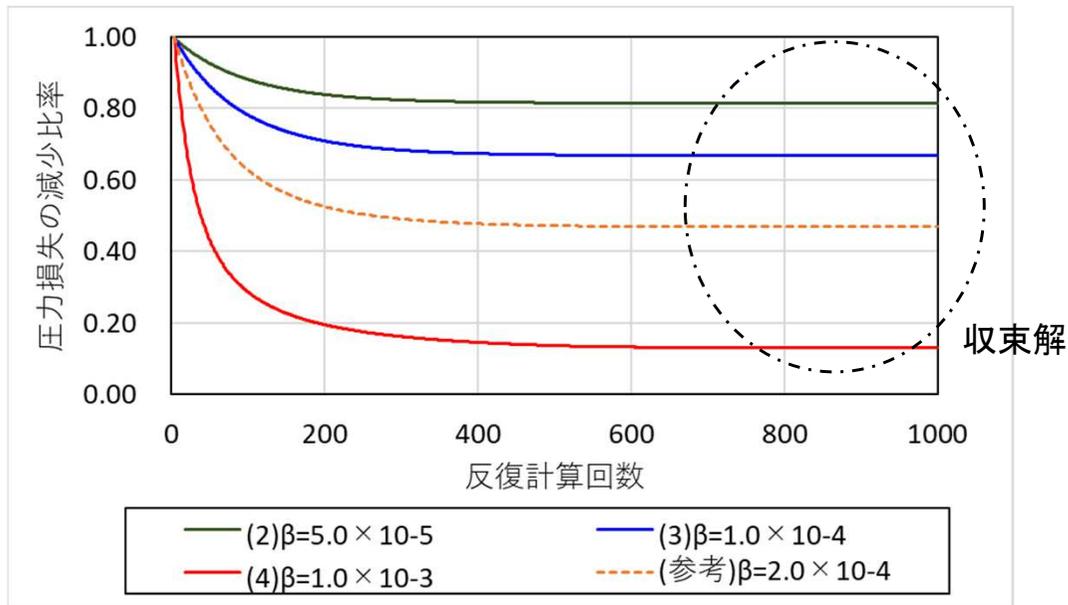
0.07 MPa



・解析結果／滑り解析の収束性について

【圧力損失の減少比率: $\Delta p_{slip} / \Delta p_{nonslip}$ 】

各条件において, 流入節点の圧力平均値 (ΔP) を算出し,
 (1) $\beta=0$ (滑りなし) の圧力損失 $\Delta p_{nonslip}$ に対する, 滑りありの圧力損失
 Δp_{slip} の減少傾向を確認した(滑りなしを1.0 としたときの相対値).



滑り係数 β を大きくするほど, 圧力損失の減少比率は大きくなります。



緩和係数が
小さいほど
緩やかに
収束します。

滑り解析では, 通常の解析よりも反復計算回数を大きくする必要があります。

.slipinf の例

(4) $\beta = 1.0 \times 10^{-3}$

iter	pressratio
3	1
4	0.992728
5	0.959626
6	0.934258
7	0.910897
8	0.888616
9	0.86719
10	0.846557
11	0.826678
12	0.807561
13	0.789186
14	0.771535
15	0.75458

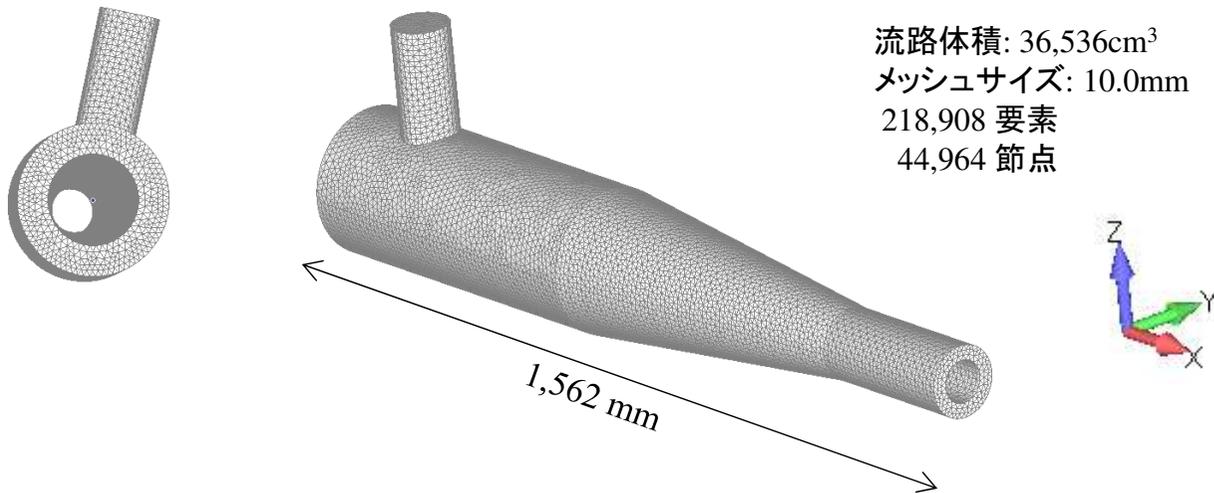
圧力損失の減少比率は,
 解析実行中のコマンドプロンプト,
 および解析後に自動出力される
 “解析ファイル名.slipinf” から
 確認できます。

```

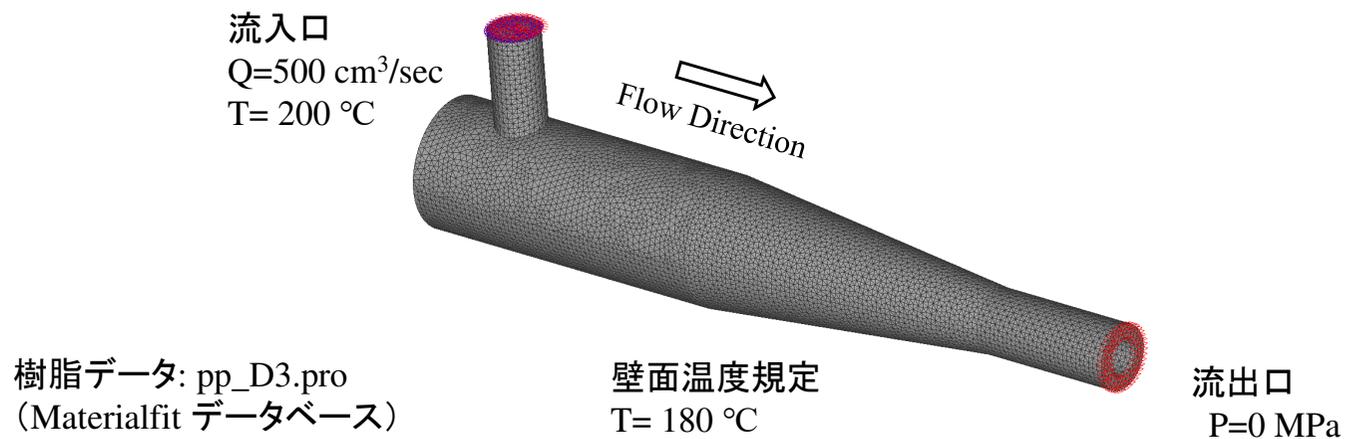
---- itr= 3 / 1000
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 5.361059980271120E-007 nstp= 19
Slip analysis: Pressure decrease ratio= 1.000000
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 4.592790266155418E-007 nstp= 11
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 7.303903053134058E-007 nstp= 42
---- itr= 4 / 1000
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 3.023158007063765E-007 nstp= 19
Slip analysis: Pressure decrease ratio= 0.9927275
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 3.734838280420148E-007 nstp= 11
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 6.704908455122746E-007 nstp= 42
---- itr= 5 / 1000
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 2.336957358230157E-007 nstp= 19
Slip analysis: Pressure decrease ratio= 0.9596261
LOADING DLL:SMSAMGD
rtc= 0 abrs= 1.504666666666667E-007 nstp= 11
    
```

解析事例2 / クロスヘッドダイモデル

・解析モデル

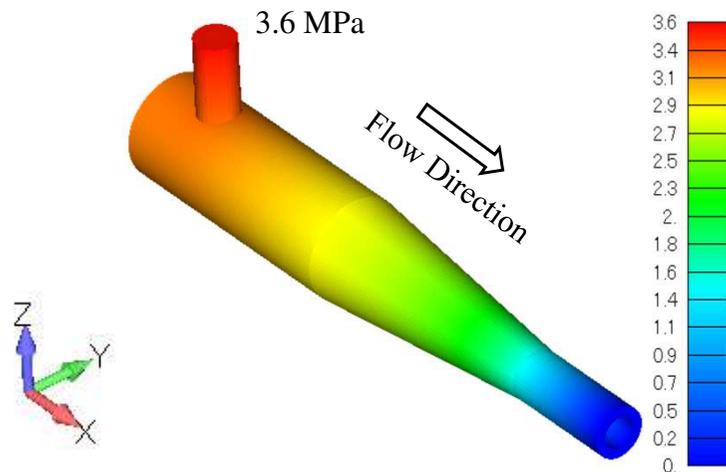


・境界条件

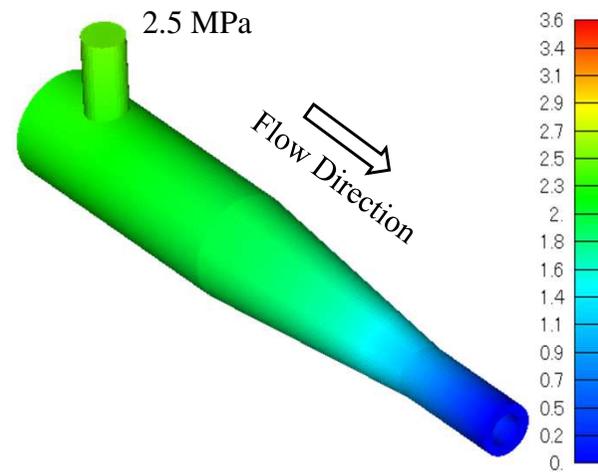


・解析結果／圧力分布 (MPa) 【表面コンター図, カラーレンジ統一】

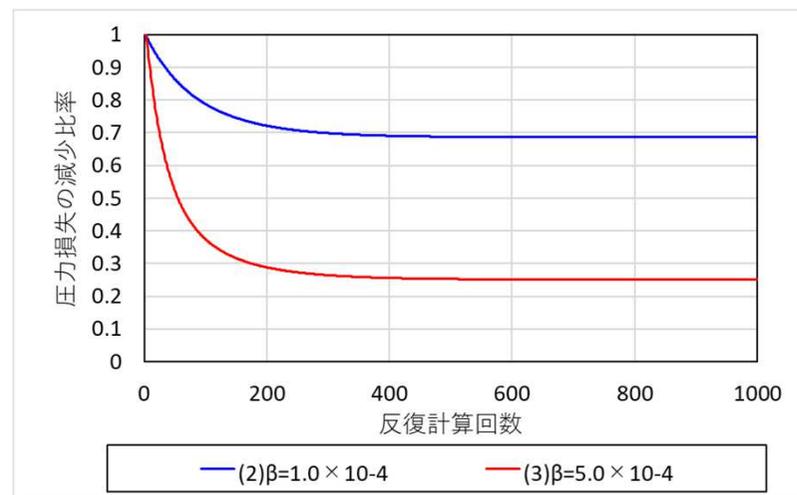
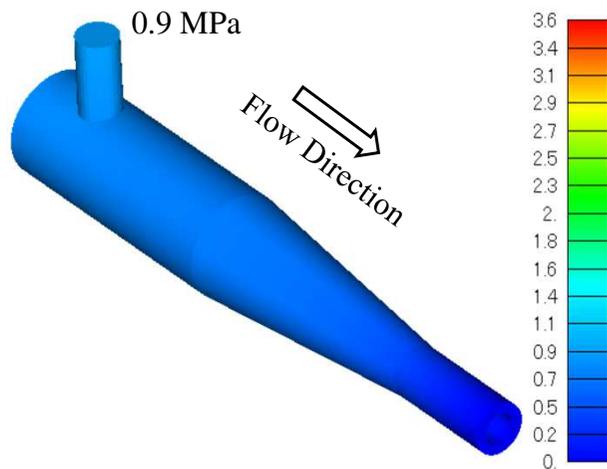
(1) $\beta = 0$ (滑りなし)



(2) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$

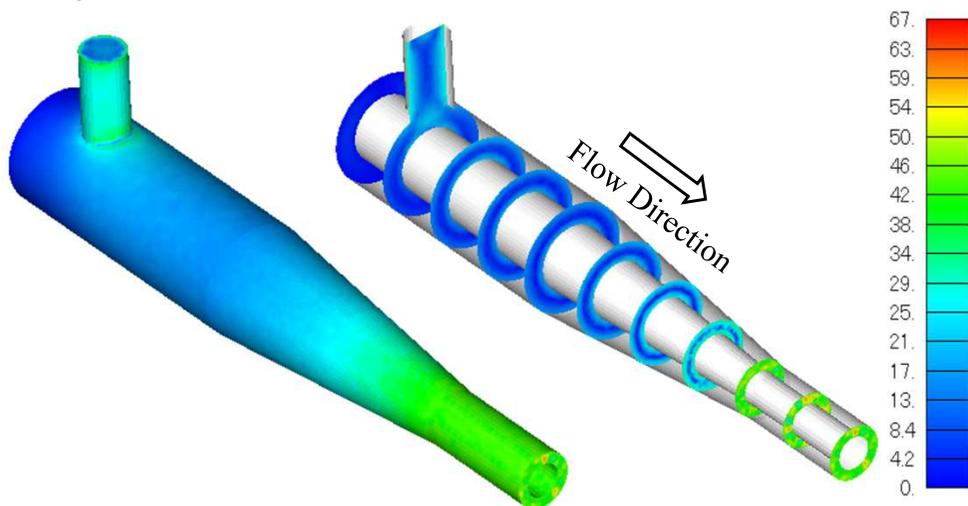


(3) $\beta = 5.0 \times 10^{-4}$

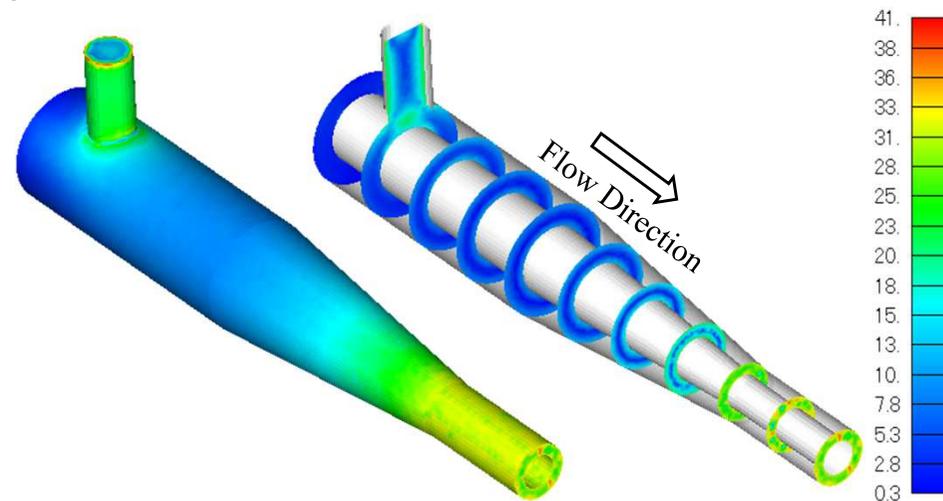


・解析結果／応力分布 (kPa) 【左：表面コンター図，右：複数断面スライス図，】

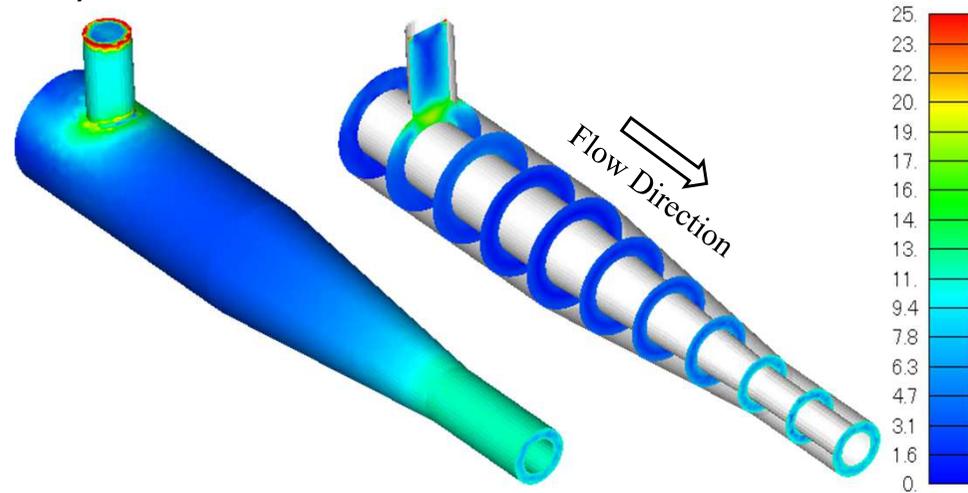
(1) $\beta = 0$ (滑りなし)



(2) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$

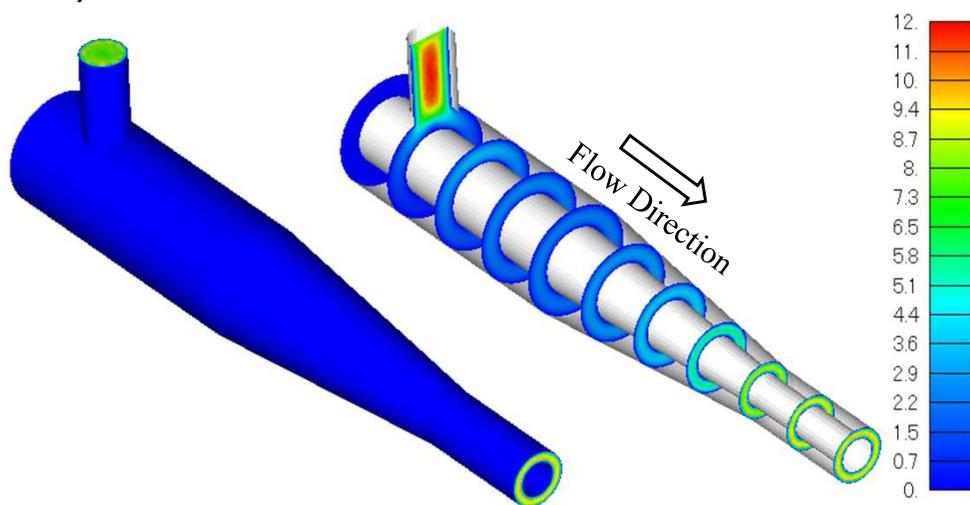


(3) $\beta = 5.0 \times 10^{-4}$

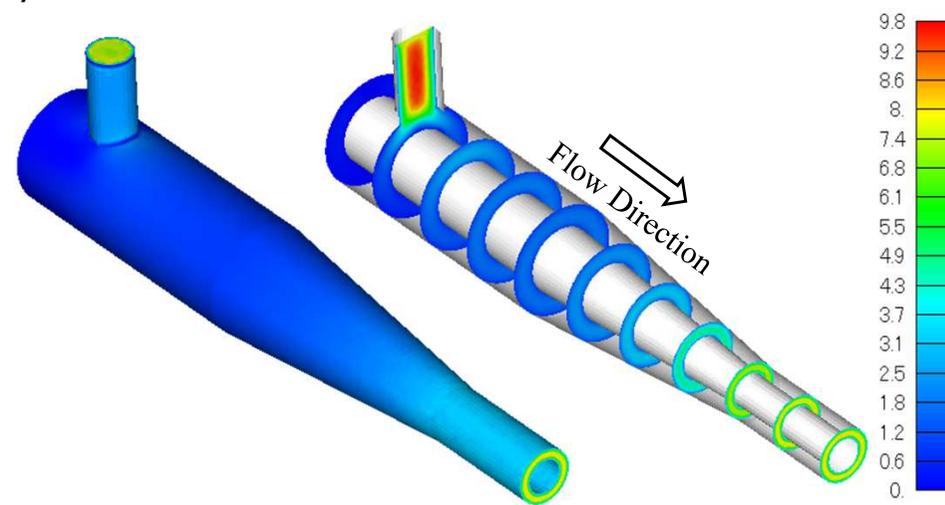


・解析結果／流速分布 (cm/s) 【左：表面コンター図，右：複数断面スライス図，】

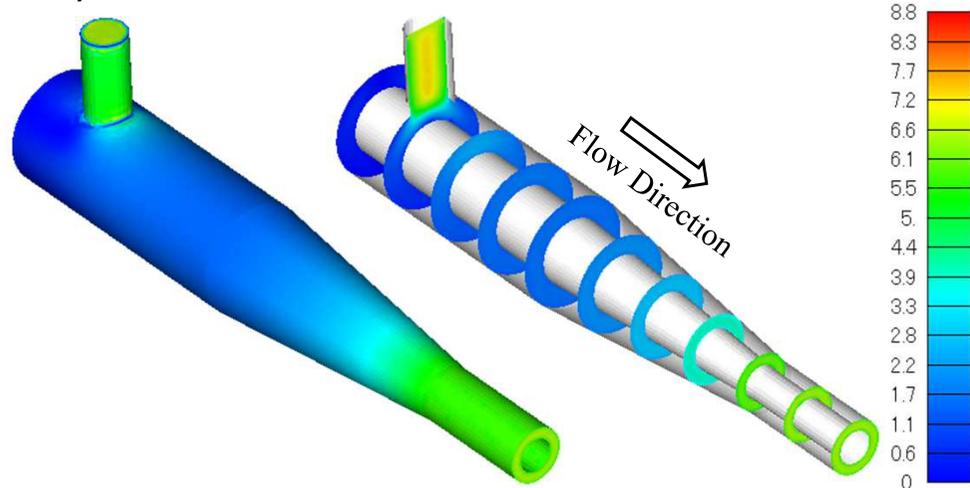
(1) $\beta = 0$ (滑りなし)



(2) $\beta = 1.0 \times 10^{-4}$



(3) $\beta = 5.0 \times 10^{-4}$



同じ滑り係数であっても、
壁面応力が大きい領域の方が、
滑り速度が大きくなります。

(2)多成分系の界面予測機能(濃度解析)

当機能は、複数の流入口から投入される樹脂流体の体積分率(濃度)を算出することにより、他成分流体の界面位置予測を目的として実装されました。

各流入口から投入される流体(材料) i の体積分率(濃度) ϕ_i に対する輸送方程式

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

u, v, w : 流速の x 方向, y 方向, z 方向成分

多成分流体の物性

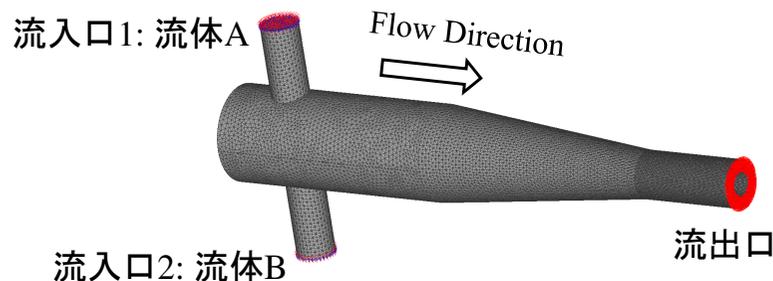
$$f_{mf} = \sum_{i=1}^n \phi_i f_i$$

f_{mf} : 多成分流体の密度, 粘度, 比熱などの物性

f_i : 材料 i の密度, 粘度, 比熱などの物性

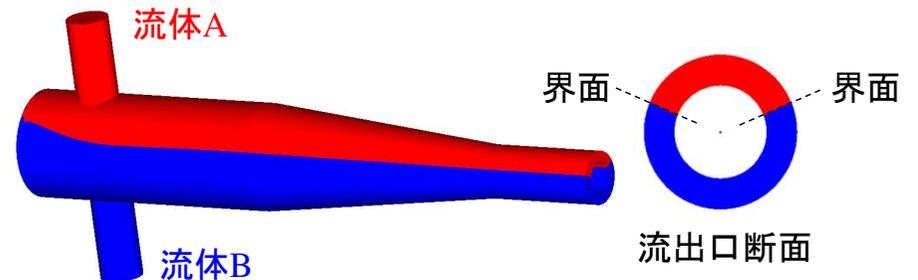
以降では、当機能の使用方法と解析事例について説明します。

多成分(層)系を考慮した境界条件の設定



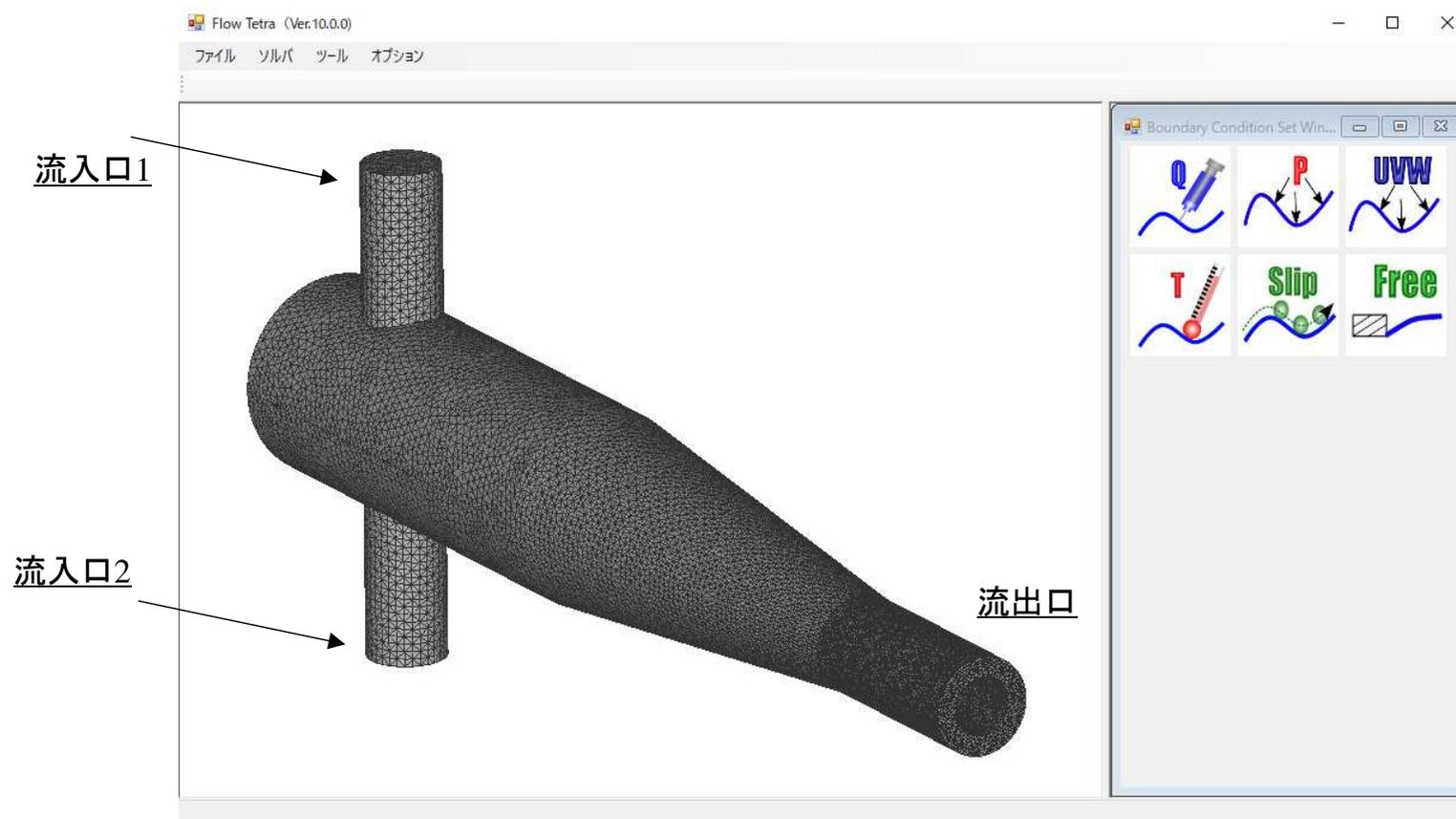
【濃度解析】

流体Aと流体Bの界面位置予測



【使用方法】

1. FlowTetraを起動し, メニューのファイル／モデルインポート またはFemap Neutralfile Import をクリックして解析するメッシュデータを読み込みます(従来操作).
2. メニューのツール／Boundary Condition Set をクリックして境界条件設定フォームに移動します.(従来操作).



【使用方法】

3. 流入口に流量境界条件(Q)を設定します. このときに, 新規作成された多層条件設定欄の設定をチェック状態にし, 層番号を入力後(①), 設定ボタンをクリックすることで(②), 従来の流量, 温度に加えて, 層番号の情報が流入口に設定されます. 本操作を, 分類したい層(成分)数ごとに実施します. (新規操作)

【例】流入口1に, 層番号を1に設定する場合

流入口1
節点選択

流入口2

Boundary Condition Set Win...

流量 1 cm³/sec

温度拘束条件同時設定
 設定
境界温度設定 200.0

多層条件設定
 設定
① 層番号 1

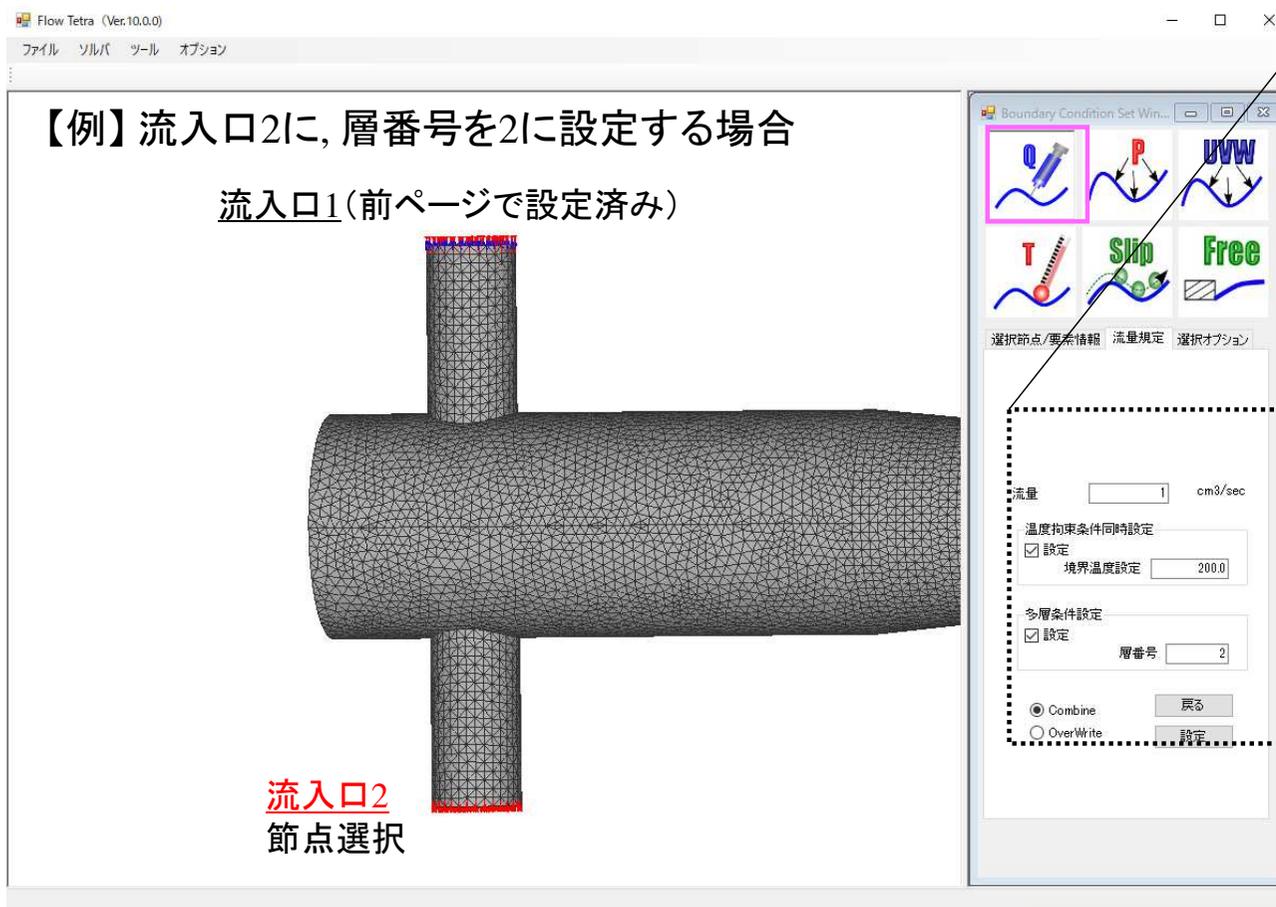
Combine 戻る
 OverWrite ② 設定

* 流量, 温度の設定値は, 後の解析条件設定フォームで設定できるため, 設定値は仮の値でも問題ありません.

* 層番号は本項での設定値から変更できません.

【使用方法】

3. 流入口に流量境界条件(Q)を設定します. このときに, 新規作成された多層条件設定欄の設定をチェック状態にし, 層番号を入力後(①), 設定ボタンをクリックすることで(②), 従来の流量, 温度に加えて, 層番号の情報が流入口に設定されます. 本操作を, 分類したい層(成分)数ごとに実施します. (新規操作)

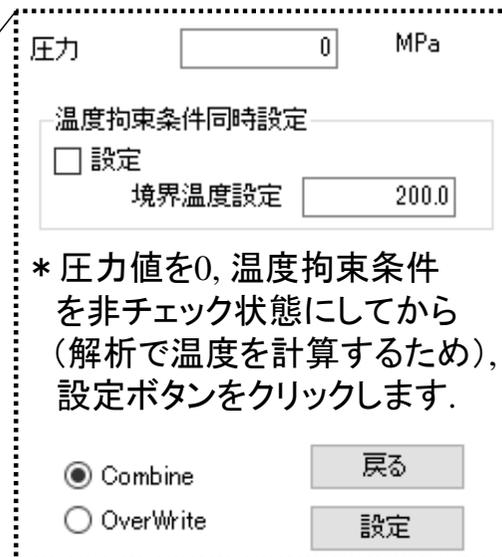
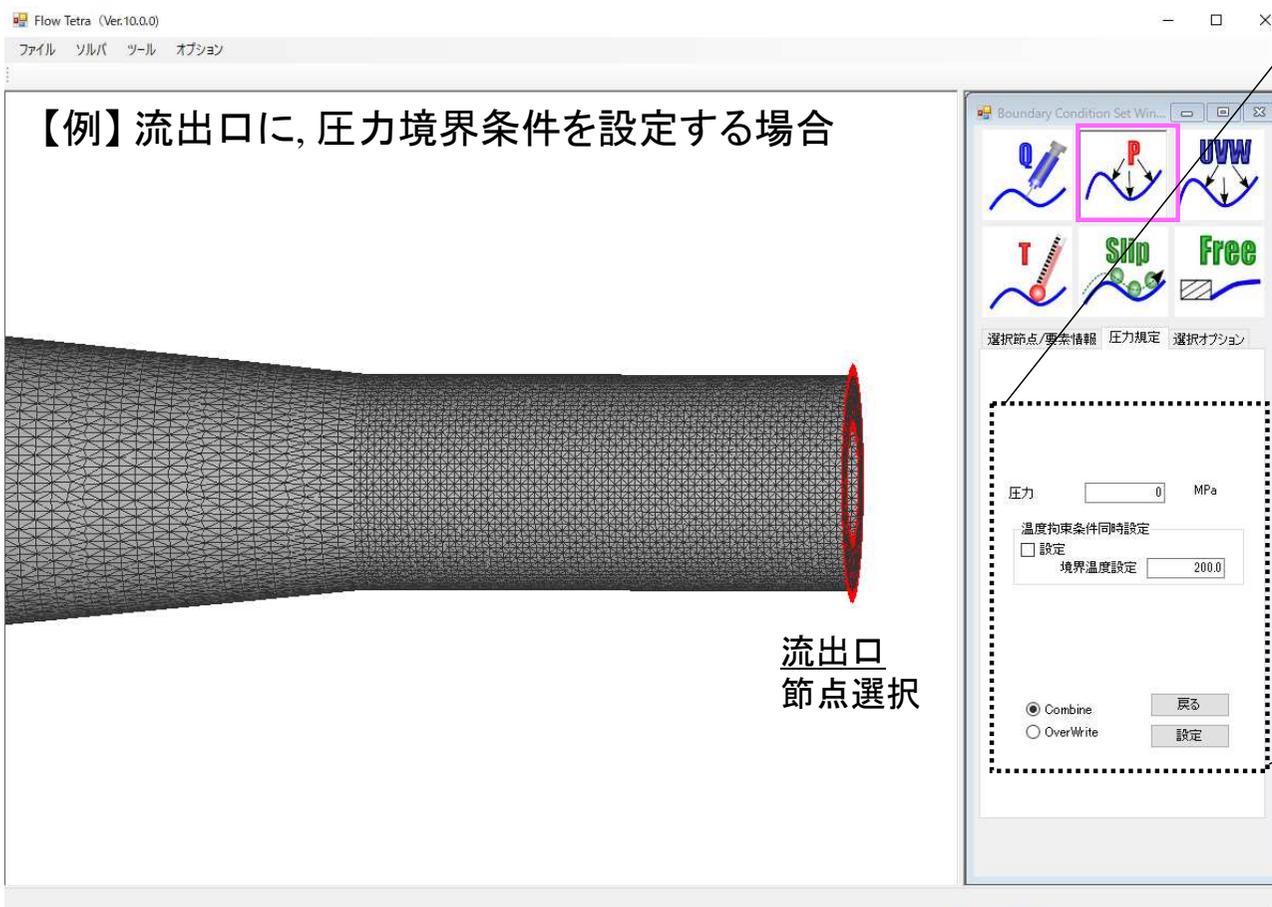


* 流量, 温度の設定値は, 後の解析条件設定フォームで設定できるため, 設定値は仮の値でも問題ありません.

* 層番号は本項での設定値から変更できません. 1から順に番号付けしてください.

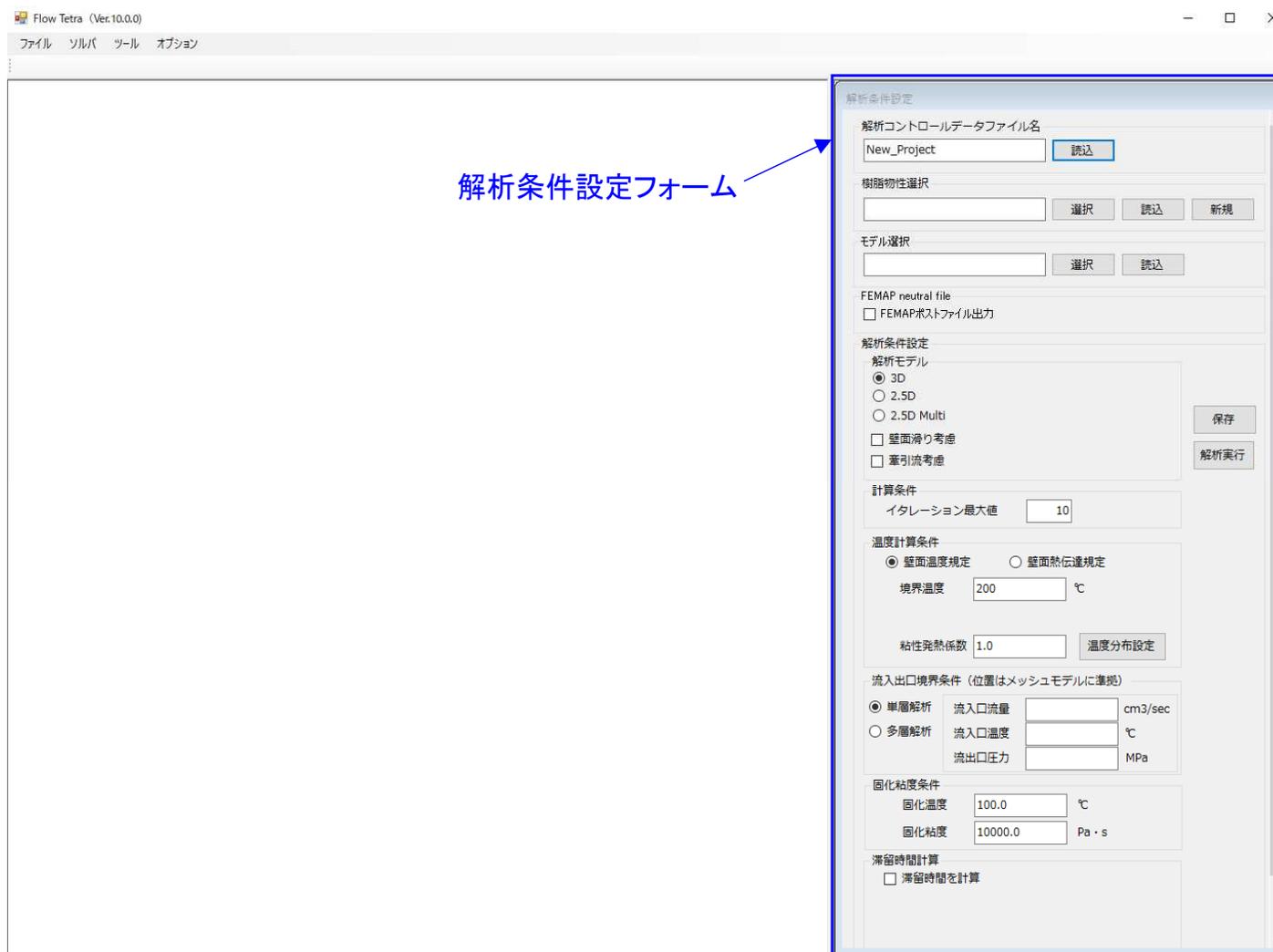
【使用方法】

4. 流出口に圧力境界条件(P)を設定します。(従来操作)
5. 手順3,4で境界条件を設定後、メニューのファイル／モデルエクスポート／3Dメッシュファイル(.3msh)をクリックし、メッシュデータを保存します。(従来操作)
⇒ 多層条件設定の情報が、メッシュデータに保存されます。



【使用方法】

6. FlowTetraを起動し、メニューのファイル/ソルバー/FlowTetra をクリックすると、解析条件設定フォームが表示されます。従来操作と同様に、必要な入力データおよび解析条件を設定します。



【使用方法】

7. 濃度解析を実施する場合、モデル選択欄で多層条件が設定されたメッシュデータを選択し(①)、流入出口境界条件欄で多層解析をチェック状態にします(②)。

解析条件設定

解析コントロールデータファイル名
2tube_2port_test 読込

樹脂物性選択
HDPE_B3.pro 選択 読込 新規

モデル選択
2tube_2port.3msh ① 選択 読込

FEMAP neutral file
 FEMAPポストファイル出力

解析条件設定

解析モデル
 3D
 2.5D
 2.5D Multi
 壁面滑り考慮
 牽引流考慮 保存 解析実行

計算条件
イタレーション最大値 10

温度計算条件
 壁面温度規定 壁面熱伝達規定
境界温度 200 °C
粘性発熱係数 1.0 温度分布設定

流入出口境界条件 (位置はメッシュモデルに準拠)
 単層解析
 多層解析
樹脂物性および流量設定
層数 2
流出口圧力 0.00 MPa

固化粘度条件
固化温度 100.0 °C
固化粘度 10000.0 Pa · s

滞留時間計算
 滞留時間を計算

メッシュデータ選択時は、単層解析がチェック状態になっている。

流入出口境界条件 (位置はメッシュモデルに準拠)

単層解析
 多層解析

流入口流量	2.00	cm3/sec
流入口温度	200.00	°C
流出口圧力	0.00	MPa



多層解析をチェック状態にすると、入力欄が濃度解析設定用に変更される。

流入出口境界条件 (位置はメッシュモデルに準拠)

単層解析
 多層解析

層数	2
流出口圧力	0.00 MPa

樹脂物性および流量設定

メッシュデータの境界条件で設定された層数が反映される。(ここでの変更は不可)

【使用方法】

8. 多層解析の樹脂物性および流量設定ボタンをクリックすると(①), 多層条件流動解析フォームが出現します. 当フォーム内で, 層ごとに物性データ, 流量, 流入温度を設定し, 確定ボタンをクリック後(②), 閉じるボタンをクリックして(③)フォームを閉じます.

流入出口境界条件 (位置はメッシュモデルに準拠)

単層解析

多層解析

① 樹脂物性および流量設定

層数 2

流出口圧力 0.00 MPa

多層流動解析条件設定フォーム

物性データファイル

PP_D3
HDPE_B3

層数 2

選択 削除

全削除

上へ 下へ

流量(cm3/sec)

500
500

流量(cm3/sec)

追加
修正
挿入

層数 2

削除 全削除

上へ 下へ

流入口温度(°C)

220
200

流入口温度(°C)

追加
修正
挿入

層数 2

削除 全削除

上へ 下へ

② 確定

③ 閉じる

FlowTetraGUISystem

多層物性ファイルと挿出条件が設定されました。

OK

*各項目において, 1行目が層番号1, 2行目が層番号2, (n行目が層番号n), の入力条件 になります.

*②確定ボタンをクリックしたときに, 定義された層数に対応して各情報が設定されていると, 下記のメッセージが出力されます. OKボタンをクリックしてメッセージを閉じます.

* 使用方法 8.の補足: 各項目の入力方法

多層流動解析条件設定フォーム

物性データファイル

層番号1
層番号2
.
.
.

PP_D3
HDPE_B3

物性データは, 選択ボタンをクリックして使用する樹脂データファイルを選択します.

選択

削除

全削除

上へ

下へ

層数 2

流量(cm³/sec)

層番号1
層番号2
.
.
.

500
500

流量と温度は, 数値入力後に追加ボタンをクリックします.

追加

修正

挿入

削除

全削除

上へ

下へ

層数 2

流入口温度(°C)

層番号1
層番号2
.
.
.

220
200

追加

修正

挿入

削除

全削除

上へ

下へ

層数 2

各項目ともに, メッシュデータに設定された層数が記載されます. 上記層数と同じ数(行)を入力設定します.

各項目ともに, 入力は1行目から順に設定されます. 設定値を修正したい場合には削除または全削除ボタン, 設定値と層の対応関係を入替えたい場合には, 上へまたは下へボタンを利用してください.

【使用方法】

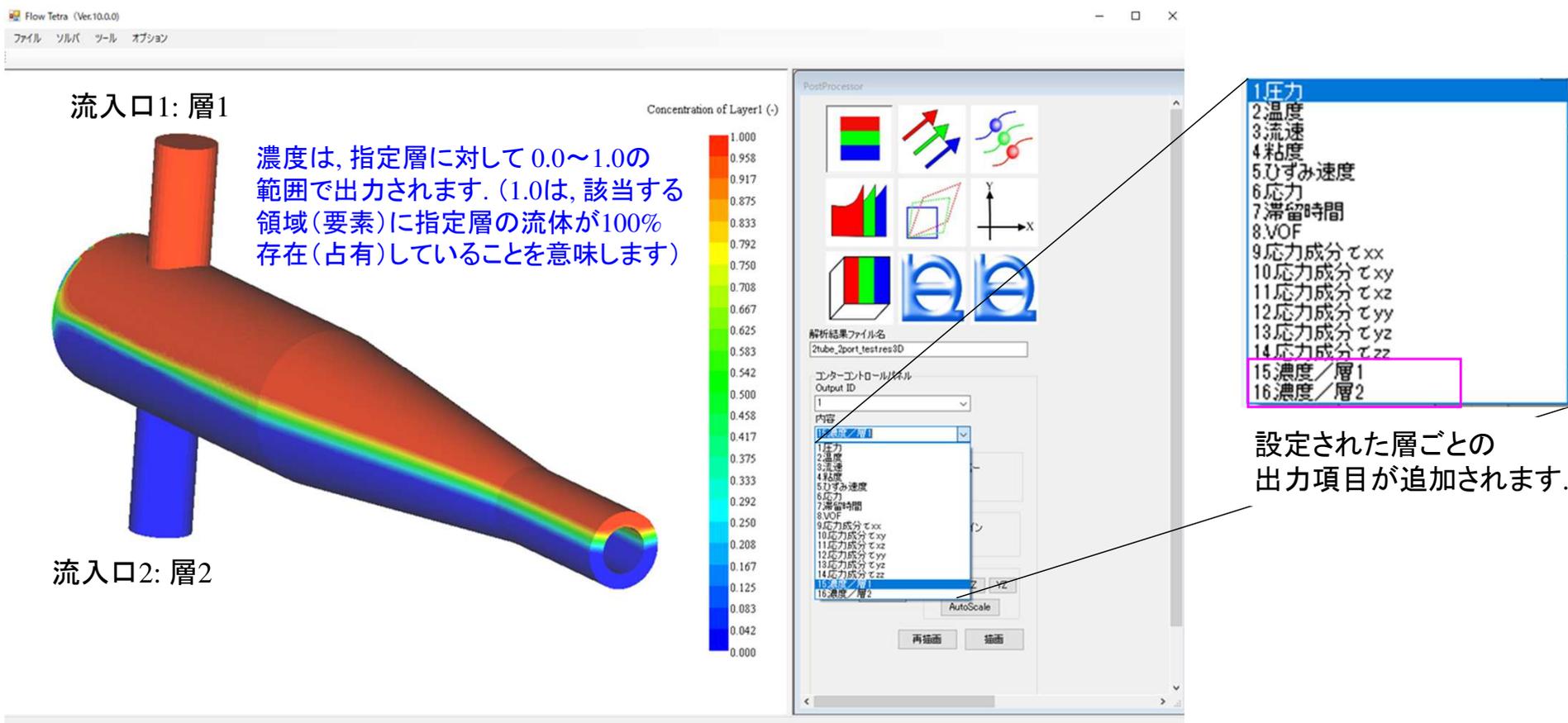
9. 解析条件を設定後、保存ボタンをクリック(①)して条件を保存後、解析実行ボタンをクリック(②)すると、通常の熱流動解析と連成して濃度解析が実施されます。

濃度(多層)解析の場合、本項の樹脂データは解析に使用されませんが、空欄ではなく任意の材料データを指定してください。(空欄の場合は指定を促すメッセージが出現)

【使用方法】

- 解析終了後、メニューのファイル／解析結果ファイルインポートをクリックして解析結果を読み込みます(従来操作)。濃度解析を実施した場合、出力項目の15.以降に各層ごとの濃度分布が追加されています。

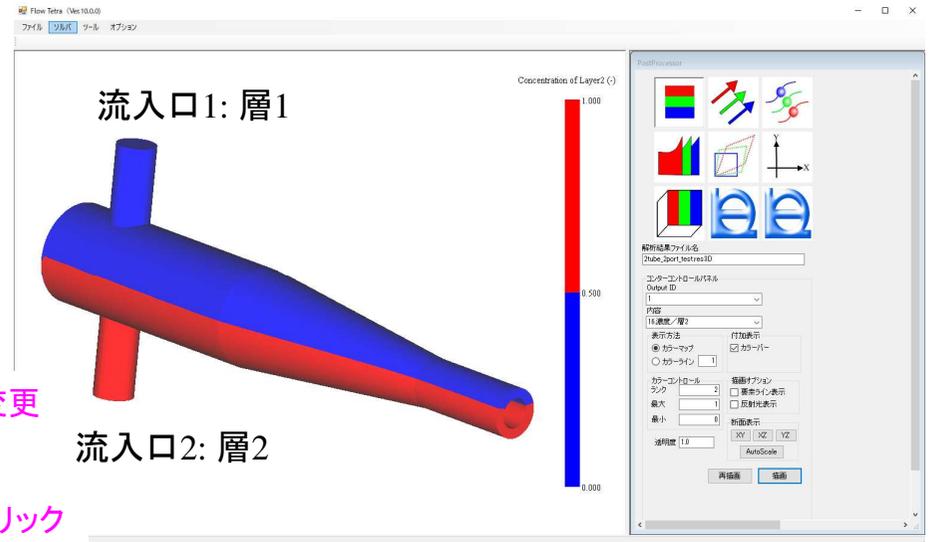
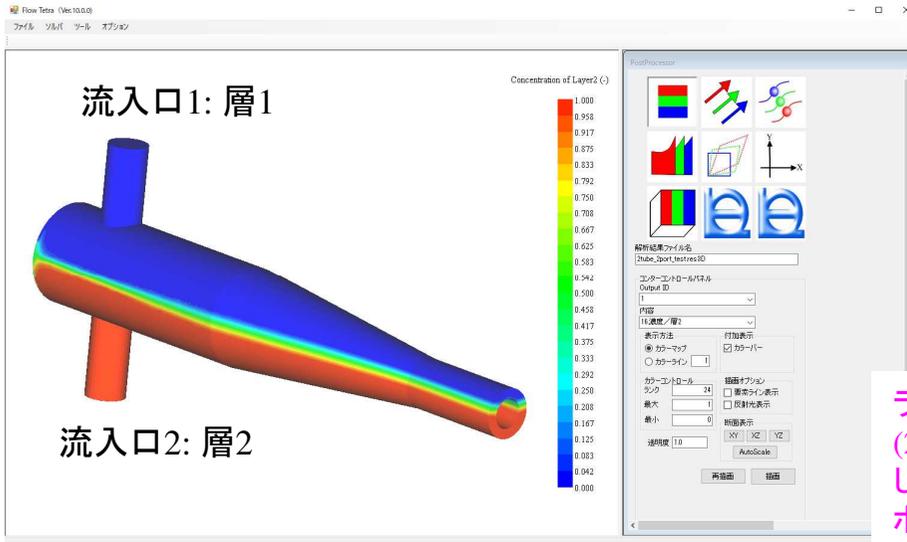
項目15 濃度／層1の出力例



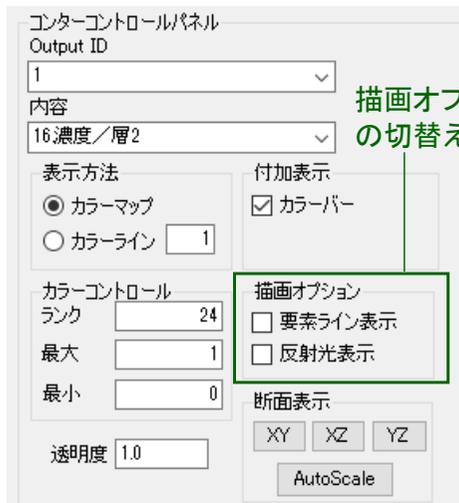
* 使用方法 10.の補足: 濃度分布の出力について

項目16 濃度/層2の出力例, カラーコントロール数 24(デフォルト)

項目16 濃度/層2の出力例, カラーコントロール数 2



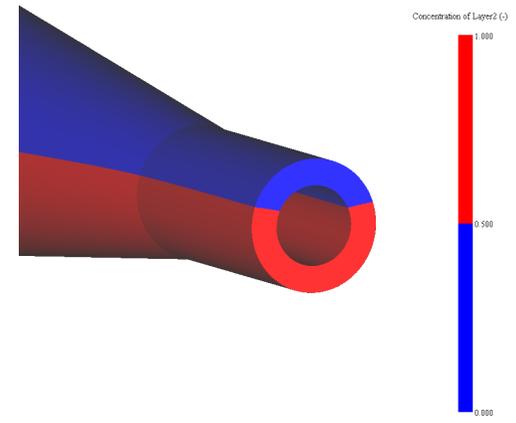
ランクを2に変更
(2値化)
してから描画
ボタンを再クリック



描画オプション
の切替えスイッチ

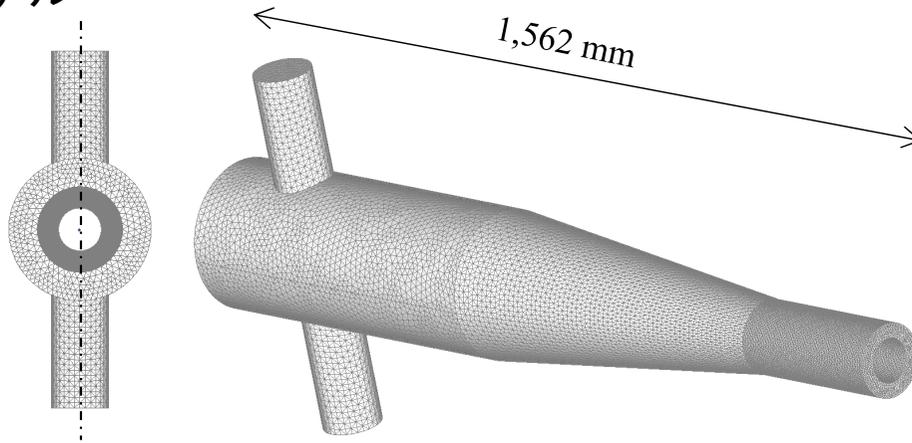


濃度0.5を閾値とした
層1と層2の界面が
可視化されます。



解析事例1 / クロスヘッドダイモデル (2成分系_1)

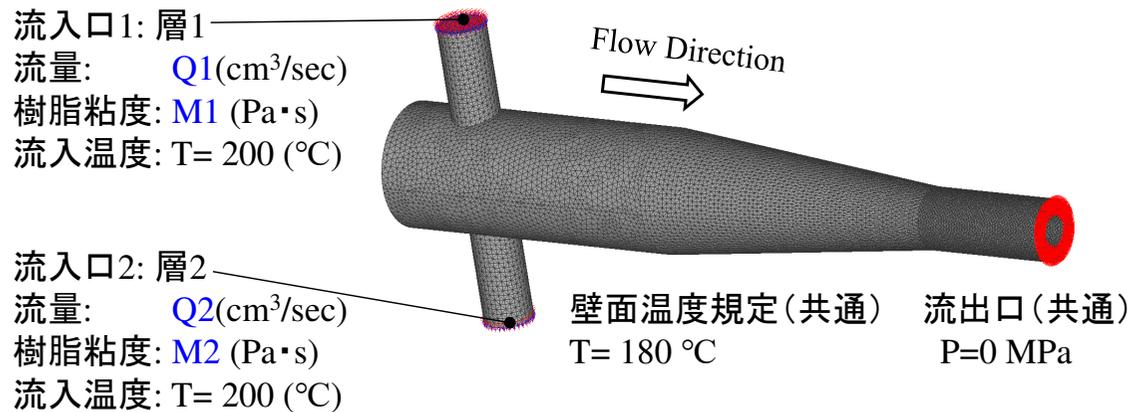
・解析モデル



流路体積: 38,102cm³
 メッシュサイズ: 10.0mm (上流側)
 4.0mm (下流側)

462,026 要素
 92,366 節点

・境界条件



・解析条件: 下表の2条件

条件	流量 (cm ³ /sec)	樹脂粘度 (Pa·s)
1-1 流量違い	$Q1=50$ $Q2=500$	$M1=1,000$ $M2=1,000$
1-2 粘性違い	$Q1=500$ $Q2=500$	$M1=500$ $M2=1,000$

M1, M2はニュートン流体 (一定粘度)

・解析結果／圧力分布 P (MPa) 【表面コンター図, カラーレンジ統一】

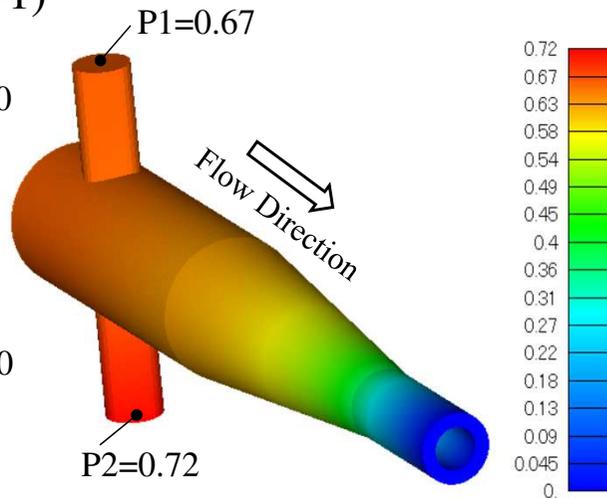
(条件1-1)

Q1=50

M1=1000

Q2=500

M2=1000



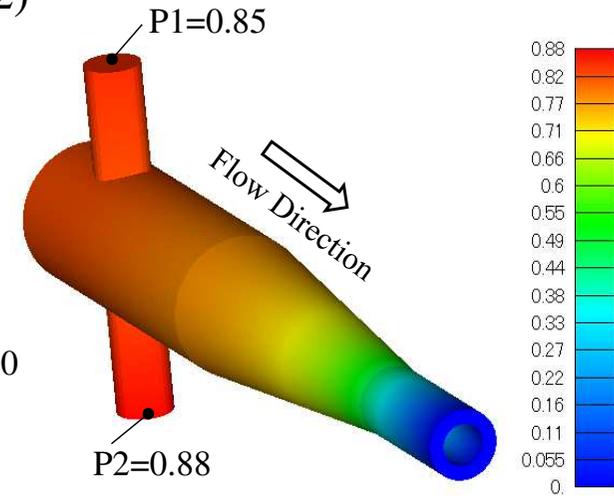
(条件1-2)

Q1=500

M1=500

Q2=500

M2=1000



・解析結果／流速分布 V (cm/s) 【表面コンター図】

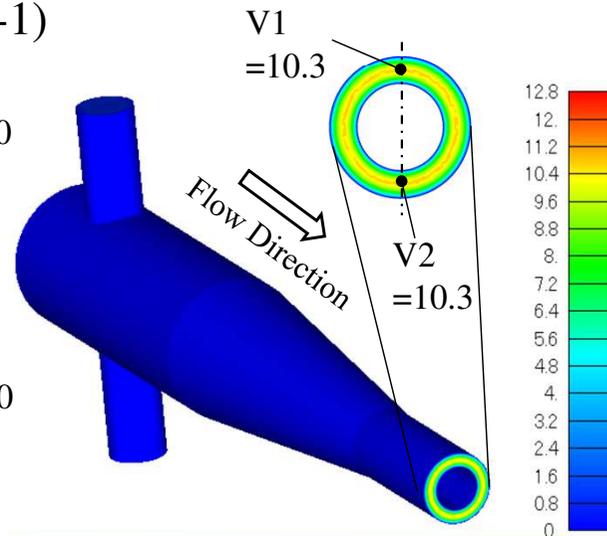
(条件1-1)

Q1=50

M1=1000

Q2=500

M2=1000



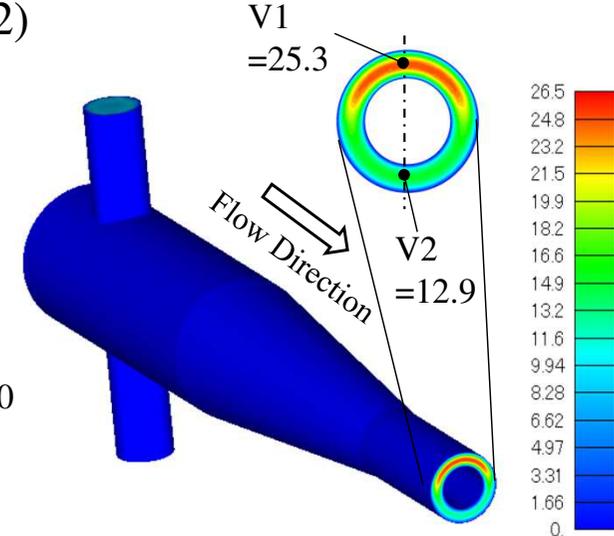
(条件1-2)

Q1=500

M1=500

Q2=500

M2=1000

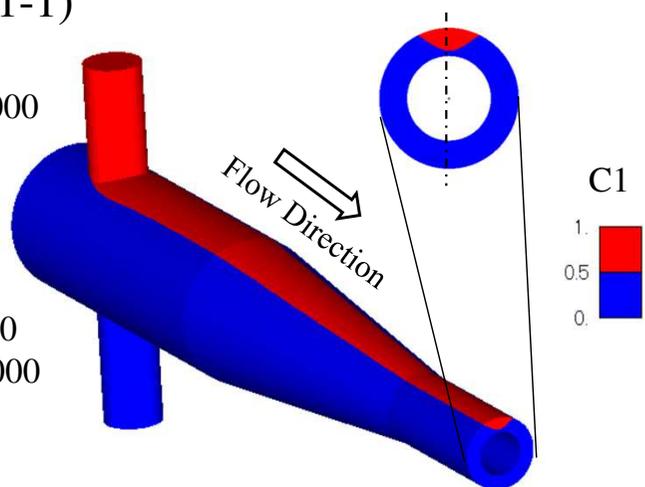


・解析結果／濃度分布：層1 (-)【表面コンター図, 2値化】

(条件1-1)

Q1=50
M1=1000

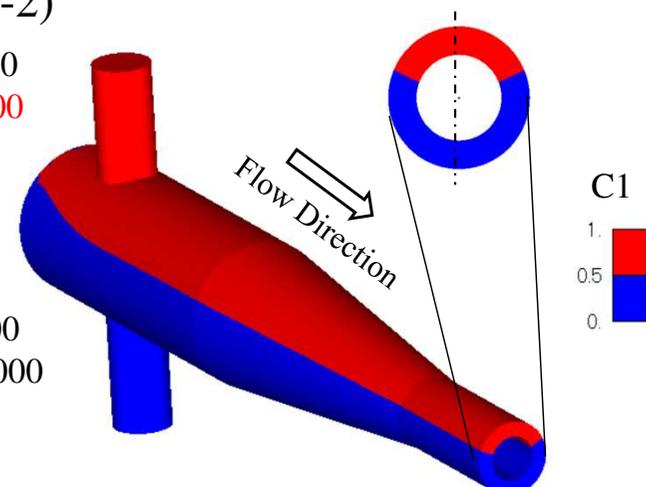
Q2=500
M2=1000



(条件1-2)

Q1=500
M1=500

Q2=500
M2=1000

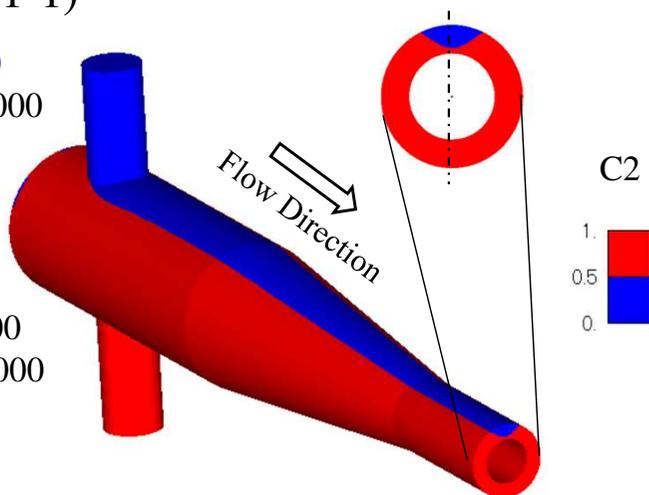


・解析結果／濃度分布：層2 (-)【表面コンター図, 2値化】

(条件1-1)

Q1=50
M1=1000

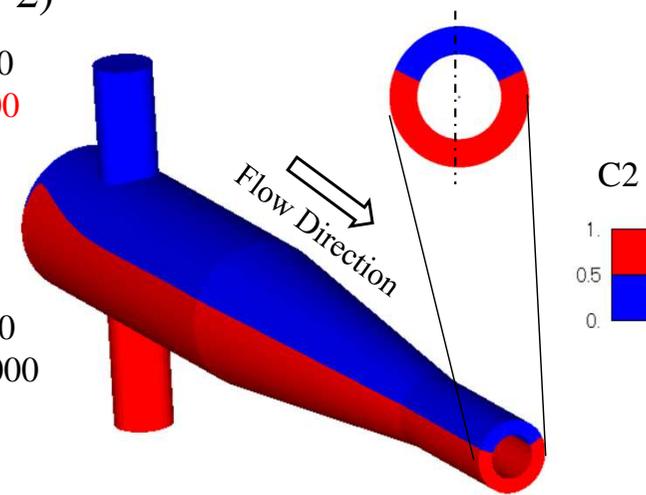
Q2=500
M2=1000



(条件1-2)

Q1=500
M1=500

Q2=500
M2=1000

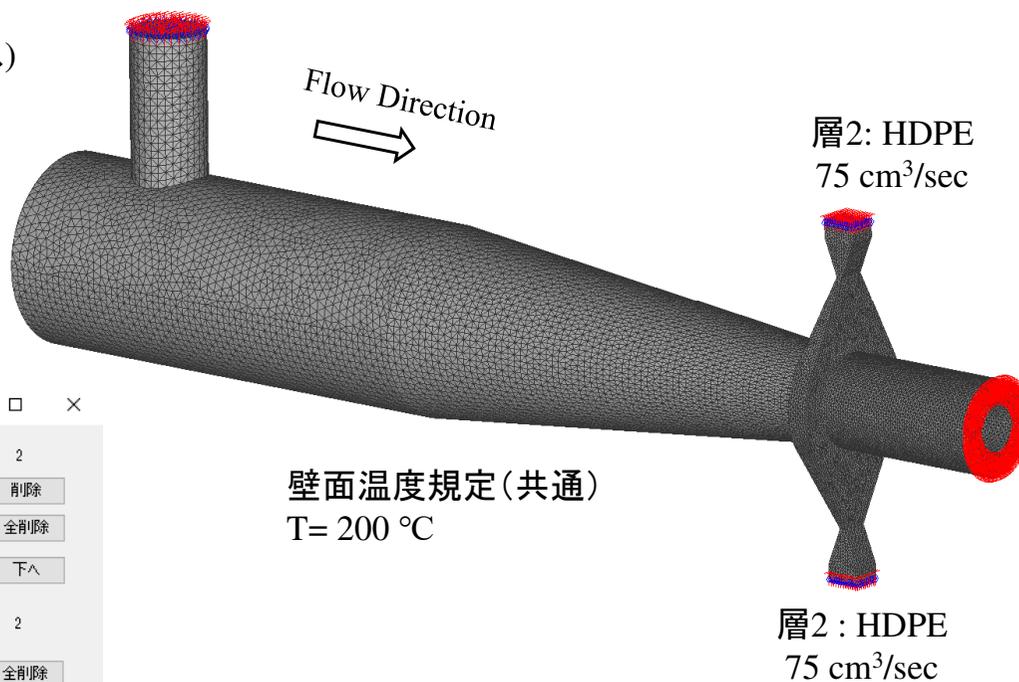


解析事例2 / クロスヘッドダイモデル(2成分系 2)

- 境界条件: 流出入口境界条件および成形条件は共通とし, 流路形状の影響を確認しました.

流入口1: 層1
流量: 500.0 (cm³/sec)
樹脂データ: PP_D3
(Materialfit データベース)
流入温度: T= 220 (°C)

層1: PP_D3
500 cm³/sec



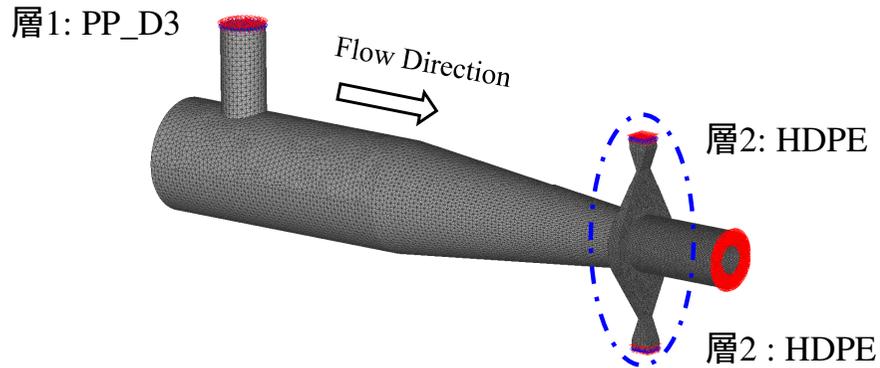
流入口2: 層2
流量: 150.0 (cm³/sec)
樹脂データ:
HDPE_B1
(Materialfit データベース)
流入温度: T= 200 (°C)

流出口(共通)
P=0 MPa

多層流動解析条件設定フォーム

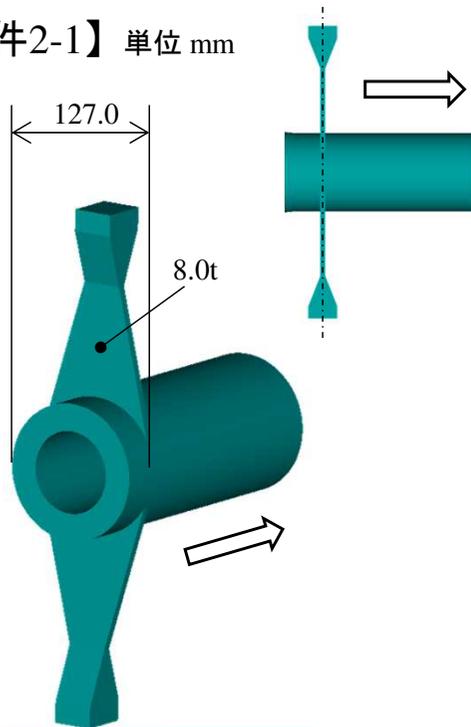
物性データファイル	層数	2
PP_D3	選択	削除
HDPE_B1		全削除
	上へ	下へ
流量(cm ³ /sec)	層数	2
500	削除	全削除
150	上へ	下へ
	追加	
	修正	
	挿入	
流入口温度(°C)	層数	2
220	削除	全削除
200	上へ	下へ
	追加	
	修正	
	挿入	

・解析モデル／流路形状

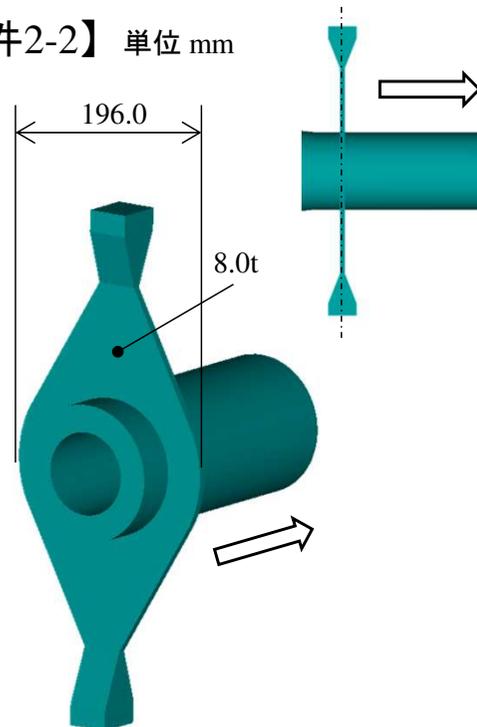


層2の流入路形状が異なる
下図の3条件で解析を実施しました。

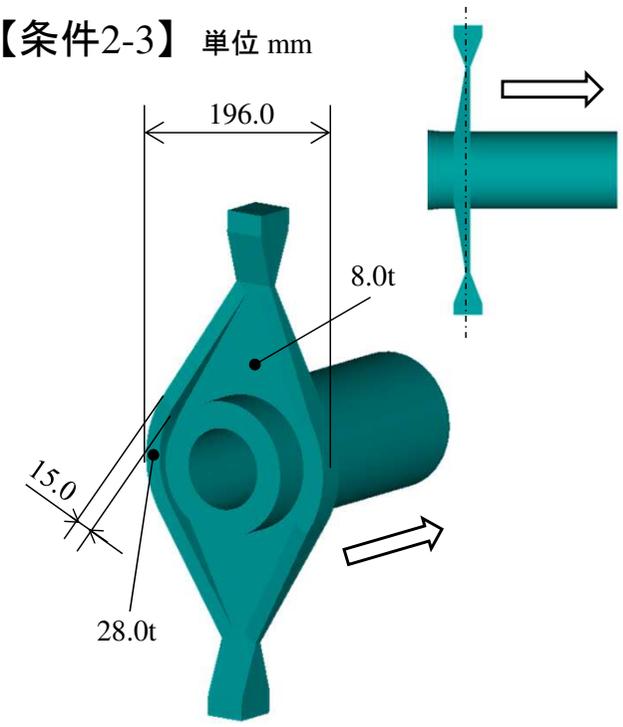
【条件2-1】 単位 mm



【条件2-2】 単位 mm

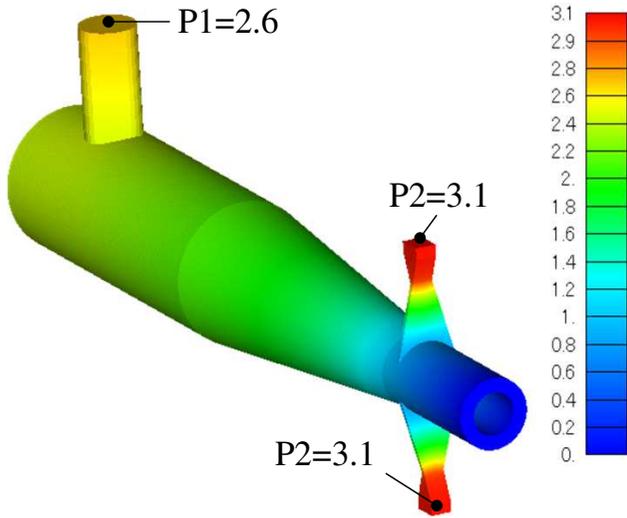


【条件2-3】 単位 mm

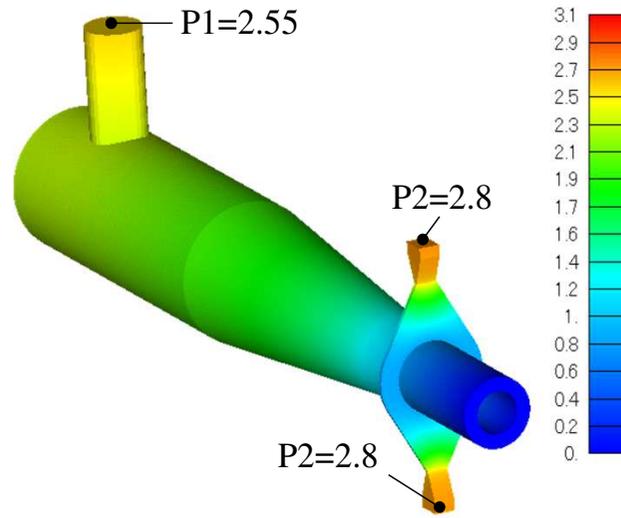


・解析結果／圧力分布 P (MPa) 【表面コンター図, カラーレンジ統一】

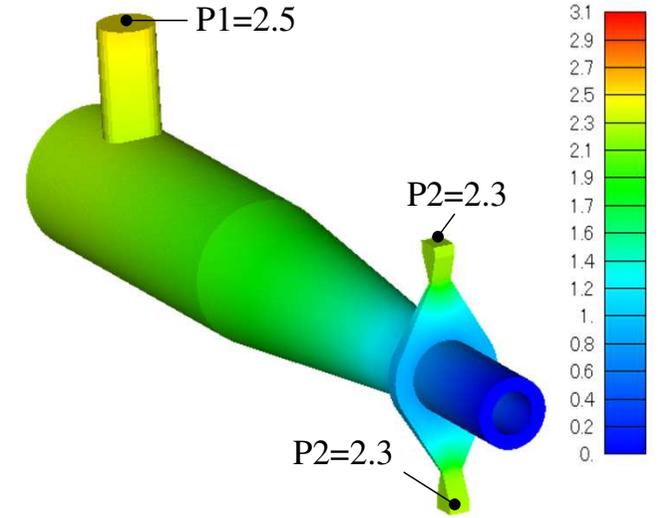
【条件2-1】



【条件2-2】

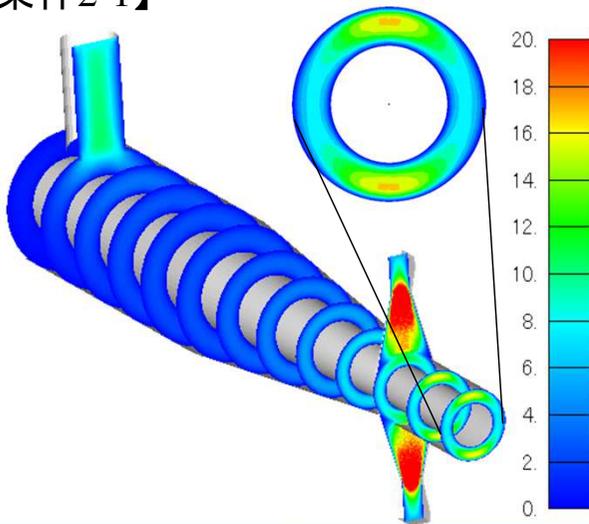


【条件2-3】

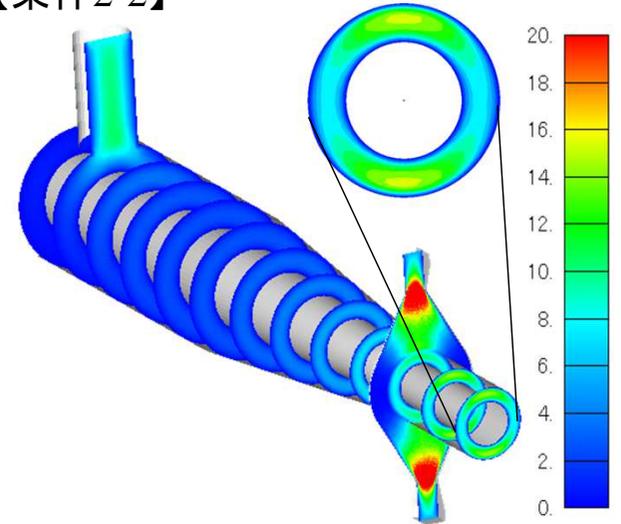


・解析結果／流速分布 (cm/s) 【複数断面スライス図, カラーレンジ統一】

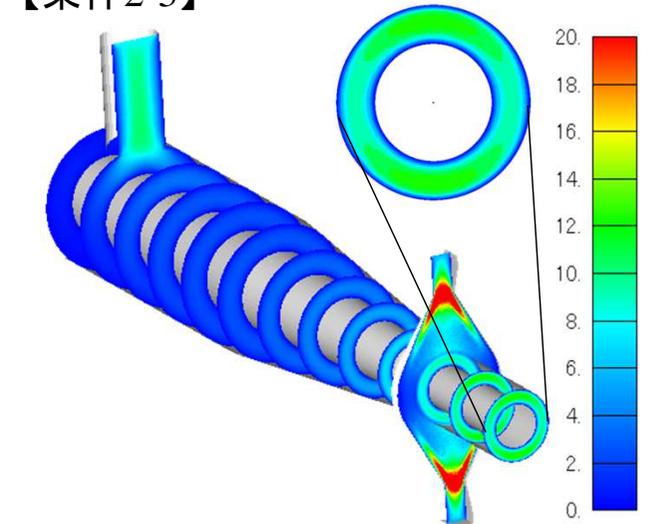
【条件2-1】



【条件2-2】

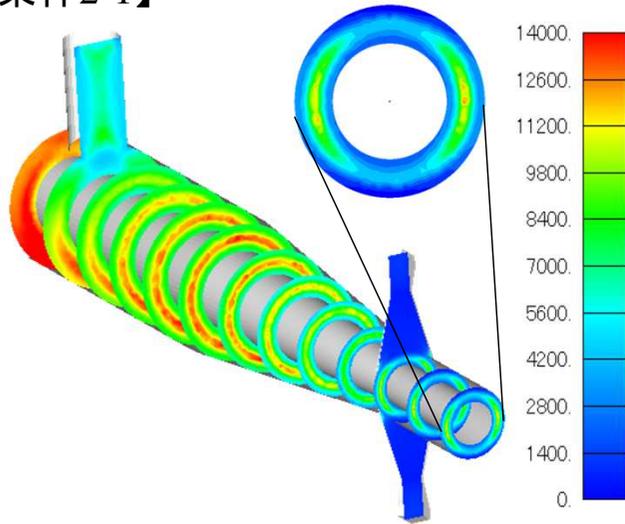


【条件2-3】

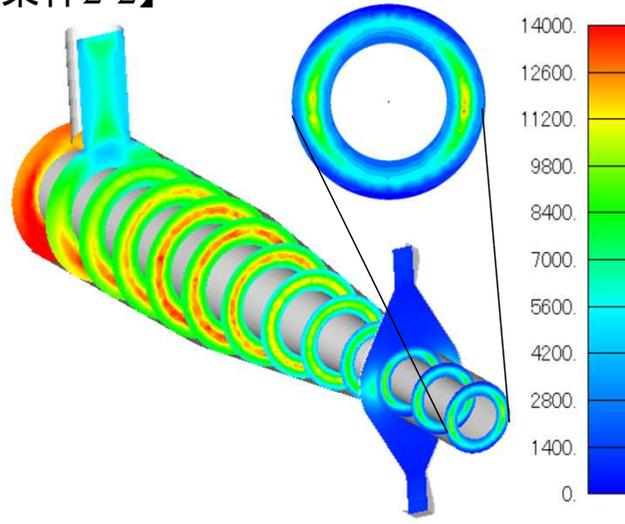


・解析結果／粘度分布 (Pa・s) 【複数断面スライス図, カラーレンジ統一】

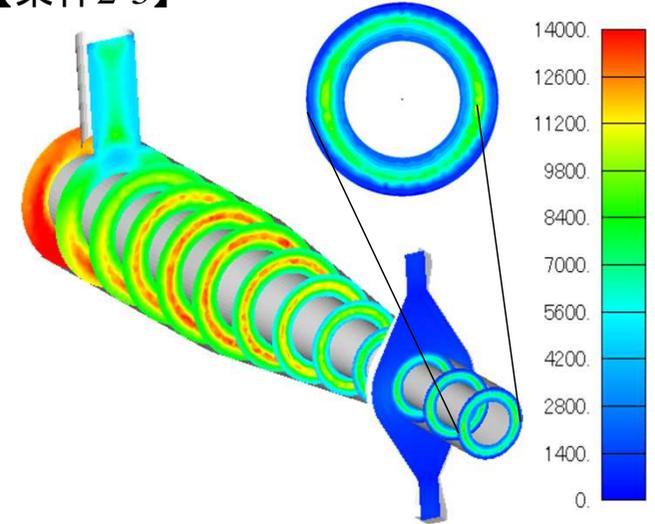
【条件2-1】



【条件2-2】

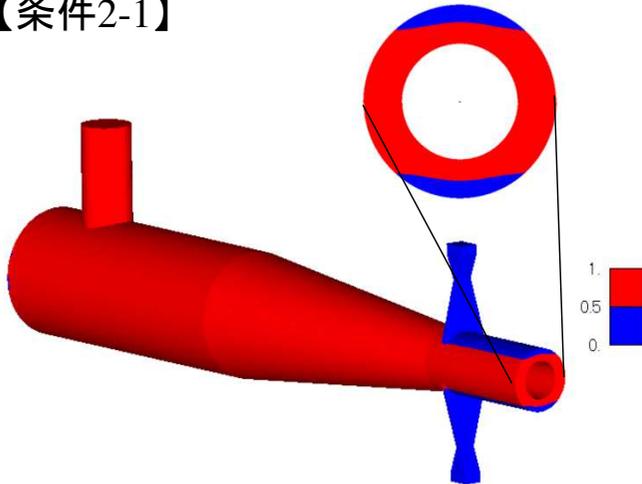


【条件2-3】

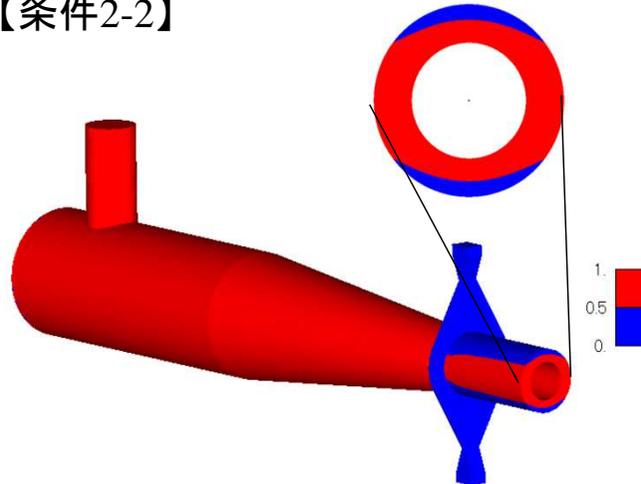


・解析結果／濃度分布：層1 (-) 【表面コンター図, 2値化】

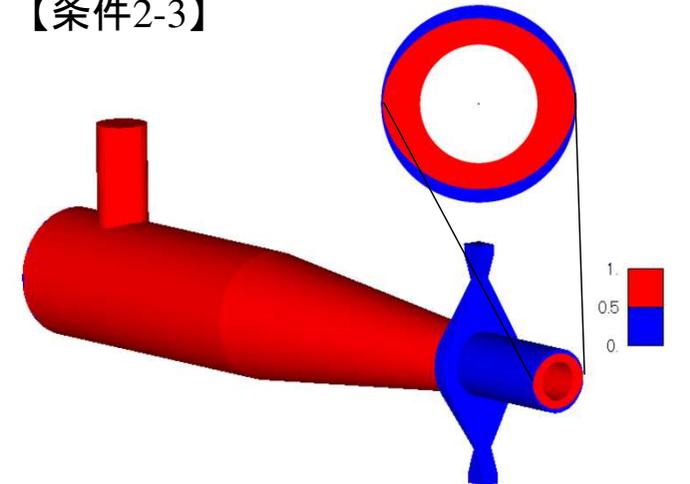
【条件2-1】



【条件2-2】



【条件2-3】



(3) 法線応力差を考慮した解析機能(法線応力解析)

当機能は、以下に示す表式により粘弾性余剰応力テンソル τ を表現可能な CEF (Criminale Ericksen Filbey) モデル¹⁾ を用いて、第1法線応力差および第2法線応力差を考慮した解析を行います。

1) Criminale, Jr. W. O., Ericksen, J. L. and Filbey, Jr. G. L. : Arch. Rat. Mech. Anal., 1, 410 (1985)

$$\tau = 2\eta D - \psi_1 \overset{\nabla}{D} + 4\psi_2 D \cdot D$$

η : 溶融粘度 (Pa·s)
 ψ_1 : 第1法線応力差係数 (Pa·s²)
 ψ_2 : 第2法線応力差係数 (Pa·s²)
 U : 流速ベクトル(u, v, w)
 L : 速度勾配テンソル
 D : 変形速度テンソル
 $\overset{\nabla}{D}$: D の Upper-convected 時間微分

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix}$$

$$\overset{\nabla}{D} = \frac{\partial D}{\partial t} + U \cdot \nabla D - L \cdot D - D \cdot L^T$$

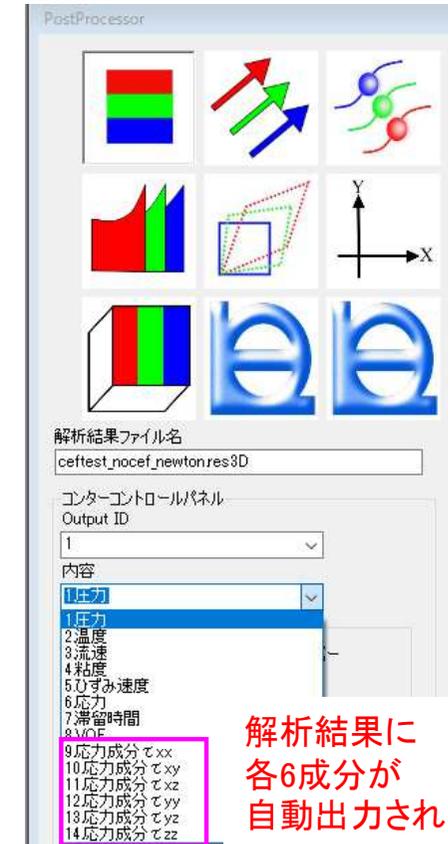
【参考1】応力成分コンター図の表示機能 (Ver.9.0.0より実装)

○非ニュートン純粘性モデル

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{bmatrix} = 2\eta \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix}$$

○OCEFモデル／(例) τ_{zz} 成分

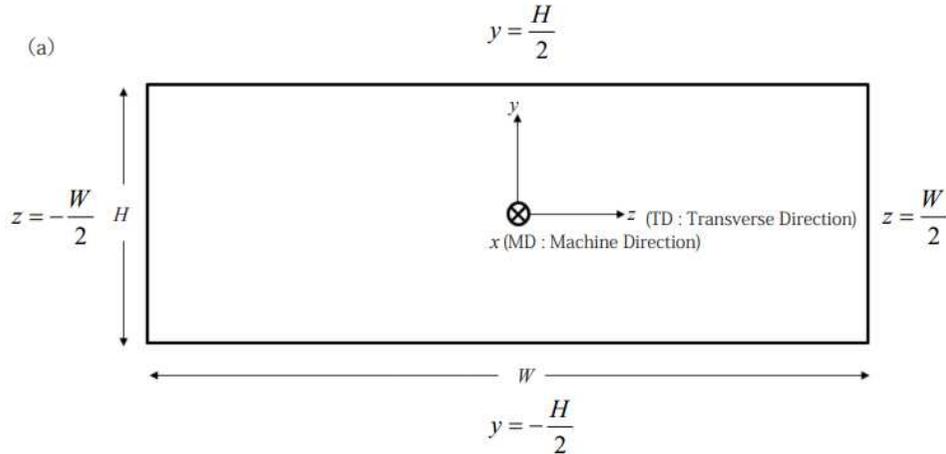
$$\tau_{zz} = 2\eta \frac{\partial w}{\partial z} + \psi_1 \left(\frac{\partial w}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial w}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) + 2 \frac{\partial w}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \psi_1 \left(u \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) + v \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) + w \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) \right) + 4\psi_2 \left(\left(\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right)$$



解析結果に各6成分が自動出力される。

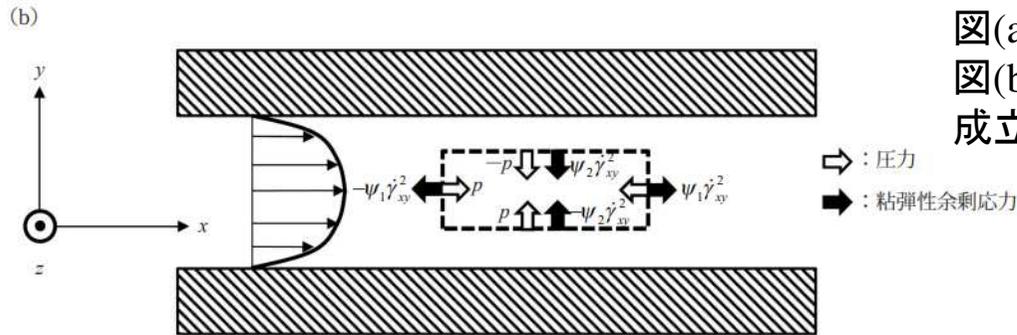
【参考2】平板間定常流動の応力状態²⁾

図(a)で定義される矩形断面内の流速ベクトルが $(u, 0, 0)$ のとき、CEFモデルの余剰応力成分は、以下の表式で計算される。



$$(1) \begin{cases} \tau_{xx} = (\psi_1 + \psi_2)(\dot{\gamma}_{xy}^2 + \dot{\gamma}_{xz}^2) \\ \tau_{xy} = \eta \dot{\gamma}_{xy} \\ \tau_{xz} = \eta \dot{\gamma}_{xz} \\ \tau_{yy} = \psi_2 \dot{\gamma}_{xy}^2 \\ \tau_{yz} = \psi_2 \dot{\gamma}_{xy} \dot{\gamma}_{xz} \\ \tau_{zz} = \psi_2 \dot{\gamma}_{xz}^2 \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{\gamma}_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} \\ \dot{\gamma}_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} \end{cases}$$

図(a)の側壁($z = \pm W/2$)の影響を無視した場合、流動状態は図(b)に示す平行平板間の定常せん断流動となり、 $\dot{\gamma}_{xz} = 0$ が成立する。この場合、(1)式より各種法線応力差係数の定義式



$$N_1 = \tau_{xx} - \tau_{yy} = \psi_1 \dot{\gamma}_{xy}^2$$

$$N_2 = \tau_{yy} - \tau_{zz} = \psi_2 \dot{\gamma}_{xy}^2$$

が導かれる。

ここで、 N_1 と N_2 は、第1法線応力差と第2法線応力差である。 N_2 は N_1 と比較して小さく³⁾、第2法線応力差係数 ψ_2 は、第1法線応力差係数 ψ_1 を用いて実験的に(2)式⁴⁾で表現されることが多い。

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = -0.15 \sim -0.10 \quad (2)$$

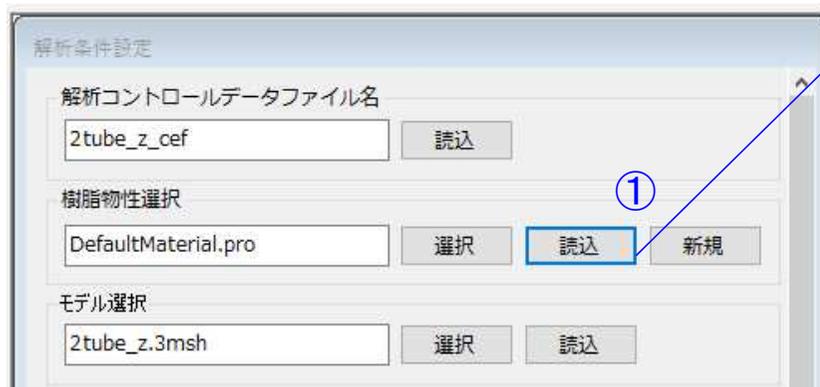
2) 谷藤眞一郎,
高分子の粘性, 粘弾性モデリングと成形加工プロセスの流動解析,
“動的粘弾性測定とそのデータ解釈事例”,
第3章 第1節, 技術情報協会(2021)

3) Oda, K., White, J. L. and Clark, E. S.: Polym. Eng. Sci., 18,25(1978)

4) Mitsoulis, E., Vlachopoulos, J. and Mirza, F. A.: Polym. Eng. Sci.,
24(9), 707(1984)

【使用方法①】 ψ_1 と ψ_2 に定数値を設定する場合

- 解析条件設定フォーム上段の、樹脂物性選択欄において、読みボタンをクリックして使用する樹脂データを読み込むと(①)、物性定義フォームが出現します。
- 物性定義フォーム下段のCEFモデルパラメータ欄において、CEFモデル採用ラジオボタンをチェック状態にして(②)、第一法線応力差係数 ψ_1 と ψ_2 を入力後、保存ボタンをクリックしてデータ保存します。
保存後、閉じるボタンをクリックして解析条件設定に戻ります。



- 上記操作でCEFモデル採用ラジオボタンがチェック状態になった樹脂データで解析実行すると、自動的にCEFモデルを考慮した熱流動解析が実施されます。

物性定義フォーム

粘度
モデル選択

モデルパラメータ	モデルパラメータ値
一定粘度 η_0 (Pa·s)	1000
参照温度 T_r (°C)	180
温度依存係数 b (1/°C)	0

$$\eta = \eta_0 e^{-b(T-T_r)}$$

熱物性(溶融体) Tadmorモデルパラメータセット

密度 777 [kg/m³]
比熱 2512 [J/kg/K]
熱伝導率 0.1819999963045 [W/m/K]

CEFモデルパラメータ

CEFモデル非採用 CEFモデル採用

第一法線応力差 $N1/\psi_1$ 60
第二法線応力差 $N2/\psi_2$ -9 ← 数値入力

法線応力データ入力 (ψ_1)

PolyBankデータベースファイル名
物性データファイル名 DefaultMaterial_CEF
パス名 I#2022バージョンアップ#FS3D#Ver10testsample#3_cef

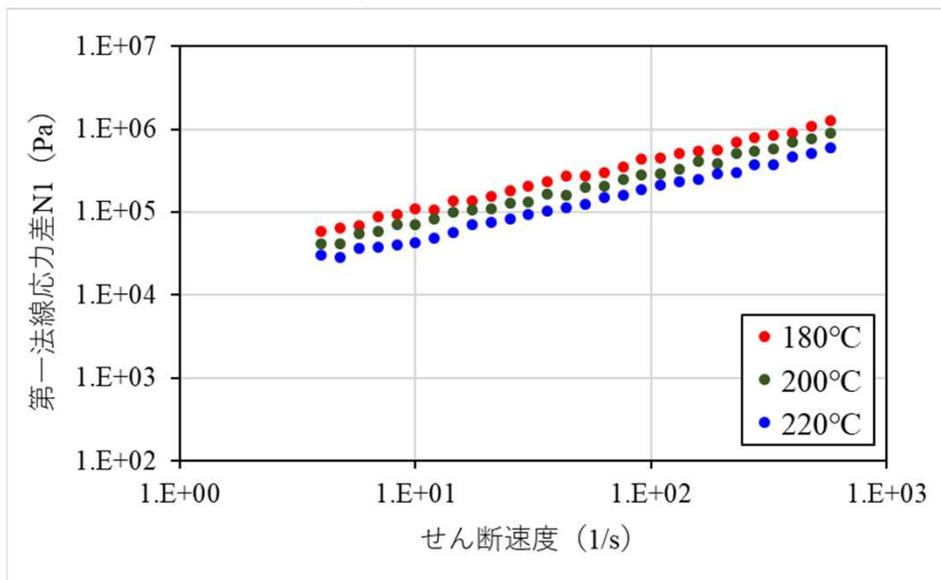
PolyBank入力 保存 閉じる

【使用方法②】 ψ_1 と ψ_2 に実験値(変数)を設定する場合

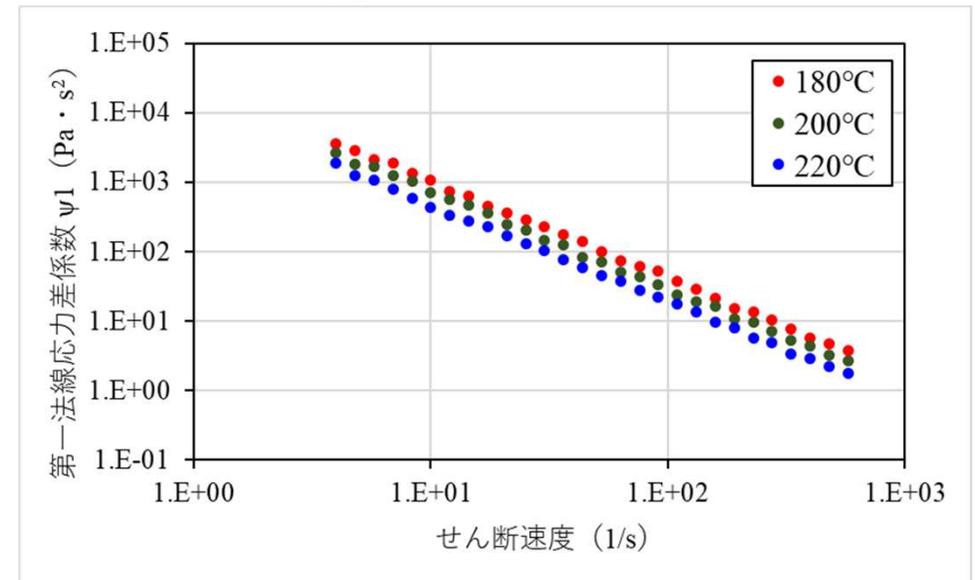
本項では, 実験で第1法線応力差 N_1 のせん断速度($\dot{\gamma}$)および温度(T)依存性を測定した場合の, 第1法線応力差係数 $\psi_1(\dot{\gamma}, T)$ への変換方法および材料データの設定方法について, 下図に示す実験値(テストデータ)を用いて説明します.

1. 収集した $N_1(\dot{\gamma}, T)$ の測定データ(図A) について, p.36 に示した定義式, $N_1 = \tau_{xx} - \tau_{yy} = \psi_1 \dot{\gamma}_{xy}^2$ の関係を用いて, $\psi_1 = N_1 / \dot{\gamma}^2$ をエクセルで計算し, 横軸を $\dot{\gamma}$, 縦軸を ψ_1 としたデータ群を作成します(図B).

図A: N_1 の実験値(テストデータ)



図B: ψ_1 に変換したデータ群



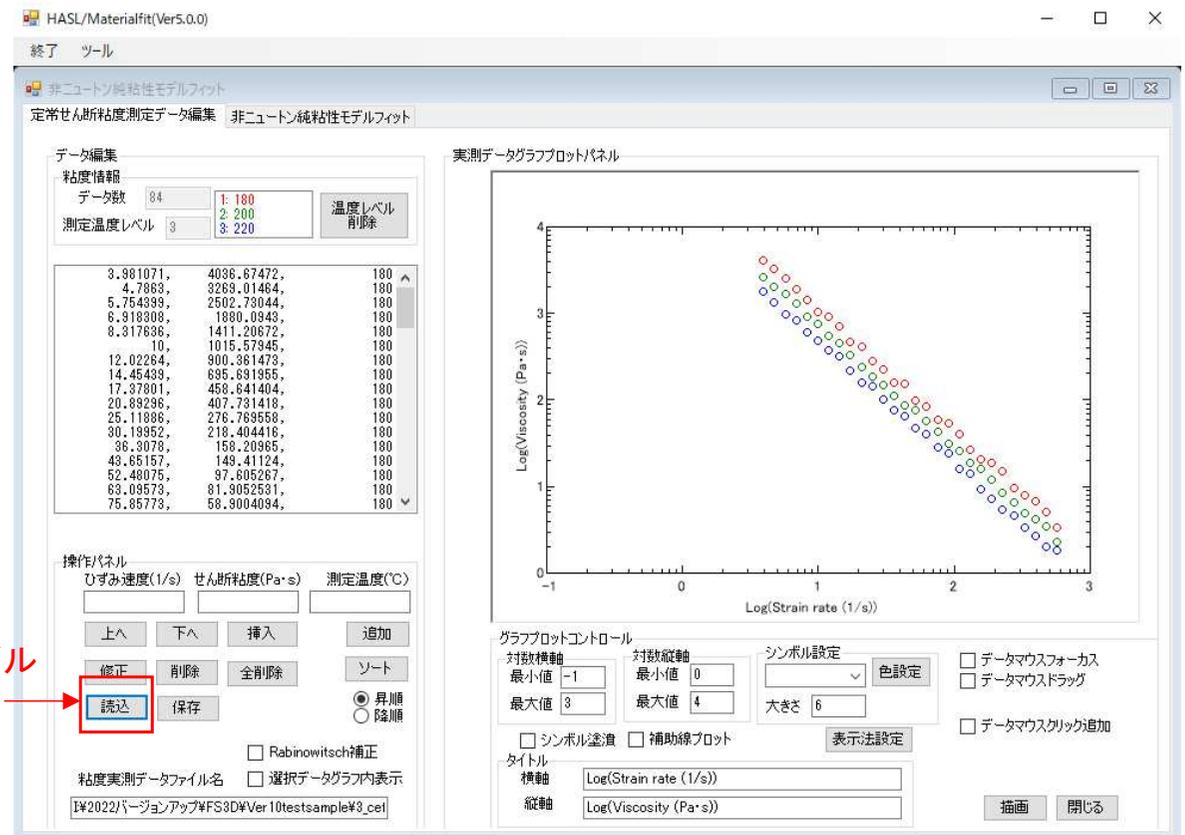
【使用方法②】 ψ_1 と ψ_2 に実験値(変数)を設定する場合

2. 方法1.で作成したで収集された ψ_1 ($\dot{\gamma}$, T) の測定データを, Materialfit を用いて関数近似します. 具体的には, 測定データ群を表Aに示す規則で入力し, エクセルの .csv形式で保存します. 次に Material を起動し, 定常せん断粘度測定データ編集タブの下部にある読込ボタンをクリックして, 作成した .csvファイルを読み込みます.

表A: ψ_1 の測定データ群

	A	B	C
1	84		データ総数
2	3.981071	4036.675	180
3	4.7863	3269.015	180
4	5.754399	2502.73	180
5	6.918308	1880.094	180
6	8.317636	1411.207	180
7	10	1015.579	180
8	12.02264	900.3615	180
9	14.45439	695.692	180
10	17.37801	458.6414	180
11	20.89296	407.7314	180
12	25.11886	276.7696	180
13	30.19952	218.4044	180

図C: Materialfitでの読込後



A: せん断速度 (Pa·s) B: ψ_1 (Pa·s²) C: 測定温度 (°C)

【使用方法②】 ψ_1 と ψ_2 に実験値(変数)を設定する場合

3. 方法2.の ψ_1 のデータ群をMaterialfitで読み込んだ後、非ニュートン純粘性モデルフィットタブに移動し、粘度データ作成と同様の手順で ψ_1 のフィッティングを行います。フィッティング終了後に、材料モデルファイル保存ボタンをクリックして、ファイル名.proとして保存します。

図D: Materialfitでのフィッティング

Power lawモデルの場合、
ゼロせん断粘度を手動で指定する。

本項は解析では
使用されません。
(ダミーパラメータ)

フィッティング
結果の保存

非線形粘度モデル
1: Power law

$$\eta = a \exp(-b(T - T_r)) \dot{\gamma}^{c-1}$$

$$\eta_0 = \eta_{0,Tr} \exp(-b(T - T_r))$$

モデルパラメータ
Power lawモデル

粘度a	18417.97	Pa
温度係数b	0.02054478	/°C
指数c	-0.407818	
基準温度Tr	200	°C
ゼロせん断粘度 $\eta_{0,Tr}$	3500	Pa

粘度データファイル名
I:\2022バージョンアップ\F3D\Ver10\testsample\F3

材料モデルファイル名
I:\2022バージョンアップ\F3D\Ver10\testsample\F3

溶解体密度 7700.0 [kg/m³]
溶解体比熱 2250.0 [J/kg/K]
熱伝導率 0.25 [W/m/K] [°C]
Newton粘度 1000.0 [Pa·s] [J/kg]

材料モデルファイル保存

グラフプロットコントロール
対数横軸 最小値 -1 最大値 3
対数縦軸 最小値 0 最大値 4
縦軸 Log(Strain rate (1/s))
横軸 Log(Viscosity (Pa·s))

粘度フィッティングパラメータ設定
最大反復回数 1000 緩和係数 0.1
収束判定基準値 0.000001 初期値セット

フィッティング計算情報
収束状況: 収束
反復回数: 1
残差: 0.568523658526885

出力点数 50

【使用方法②】 ψ_1 と ψ_2 に実験値(変数)を設定する場合

図E: 解析条件の設定方法

物性定義フォーム

粘度
モデル選択 **Cross**

モデルパラメータ	モデルパラメータ値
指数n	0.5249246
モデル係数B(Pa·s)	1.446942
係数 τ^*	27779.2
温度係数Tb(°C)	3358.688

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{(1-n)}}$$

$$\eta_0 = B e^{(T_b/T_r)}$$

熱物性(溶融体) Tadmorモデルパラメータセット

密度 770 【kg/m³】
比熱 2250 【J/kg/K】
熱伝導率 0.25 【W/m/K】

CEFモデルパラメータ
 CEFモデル非採用
 CEFモデル採用

第一法線応力差N1/ψ1 60
第二法線応力差N2/ψ2 -9

法線応力データ入力(ψ1)
psiltest

PolyBankデータベースファイル名
物性データファイル名 HDPE_B1_PSI
パス名 I#2022バージョンアップ#FS3D#Ver10testsampl

設定後に
ファイル保存する

4. 【使用方法①】p.37と同様に使用する樹脂データを読み込み, 物性定義フォーム下段のCEFモデル採用ラジオボタンをチェック状態にした後, 以下2点の設定を行います.

①: 法線応力データ入力(ψ_1) をチェック状態にし, 選択ボタンをクリックして, 前ページの方法3. で作成した ψ_1 のフィッティングデータを選択します.

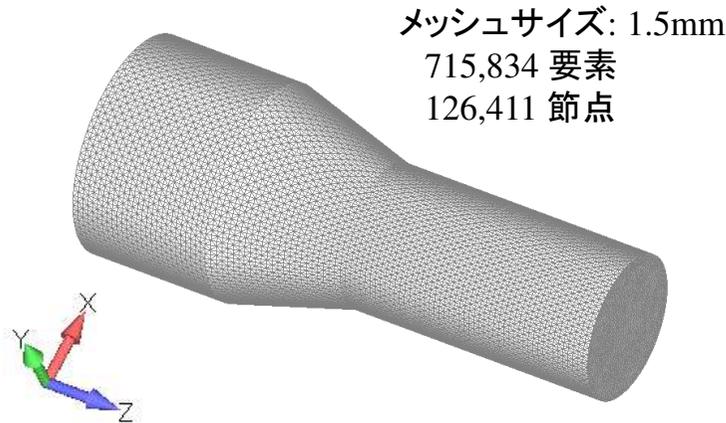
②: 実験データの測定が一般に難しい N_2 の係数 ψ_2 については, p.36に示した以下の関係を利用します.

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = -0.15 \sim -0.10 \quad (2)$$

具体的には, ②の入力欄に設定された値から ψ_2/ψ_1 比が算出され, 解析で使用されます. 図Eの例では, ψ_2/ψ_1 比として $\psi_2/\psi_1 = -9/60 = -0.15$ が設定されます.

解析事例1 / ψ_1 と ψ_2 に定数値を設定する場合

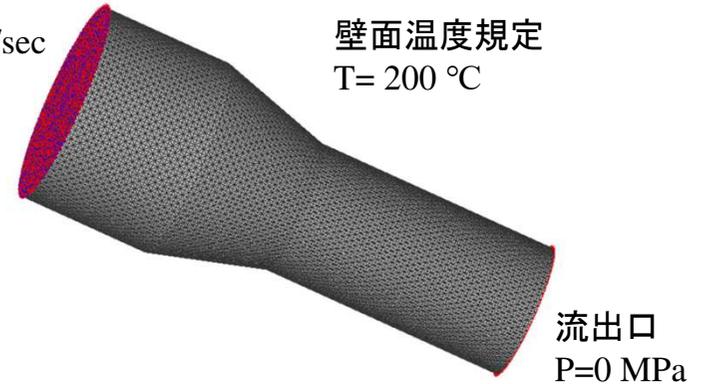
・解析モデル



・境界条件

流入口
Q=500 cm³/sec
T= 220 °C

壁面温度規定
T= 200 °C



・樹脂データ: 以下の2条件

(条件1-1) 1000 Pa·s 一定 / CEFモデル非採用
(従来通り)

CEFモデルパラメータ

CEFモデル非採用

CEFモデル採用

(条件1-2) 1000 Pa·s 一定 / **CEFモデル採用**
 $\psi_1 = 60, \psi_2 = -9$

CEFモデルパラメータ

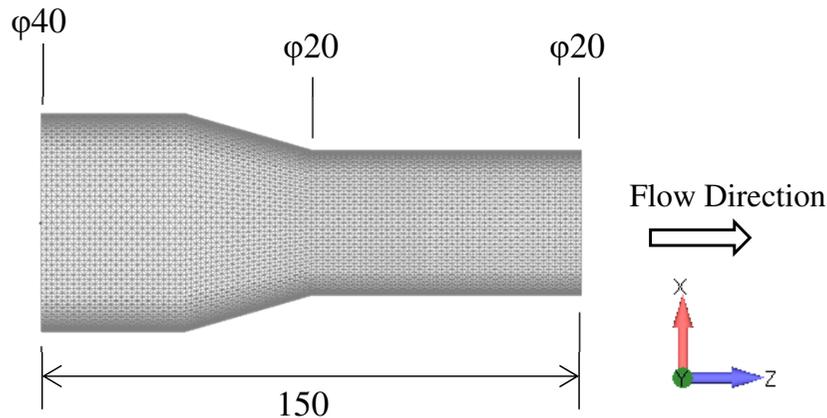
CEFモデル非採用

CEFモデル採用

第一法線応力差N1/ ψ_1

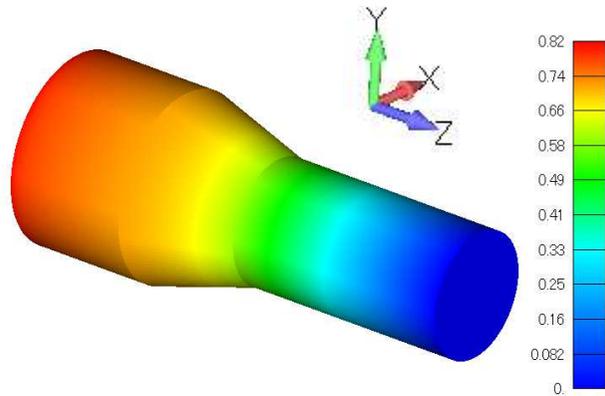
第二法線応力差N2/ ψ_2

法線応力データ入力(ψ_1)

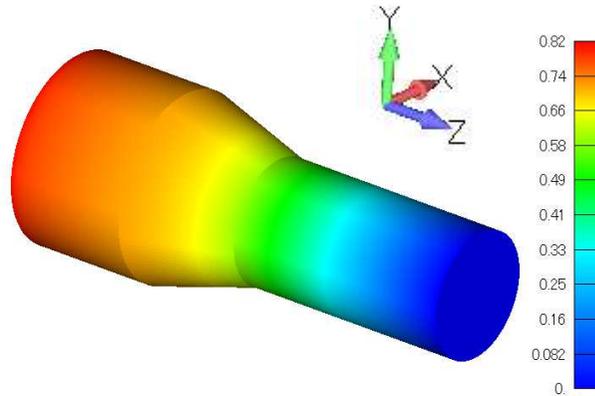


・解析結果／圧力分布 (MPa)

【条件1-1】 CEFモデル非採用



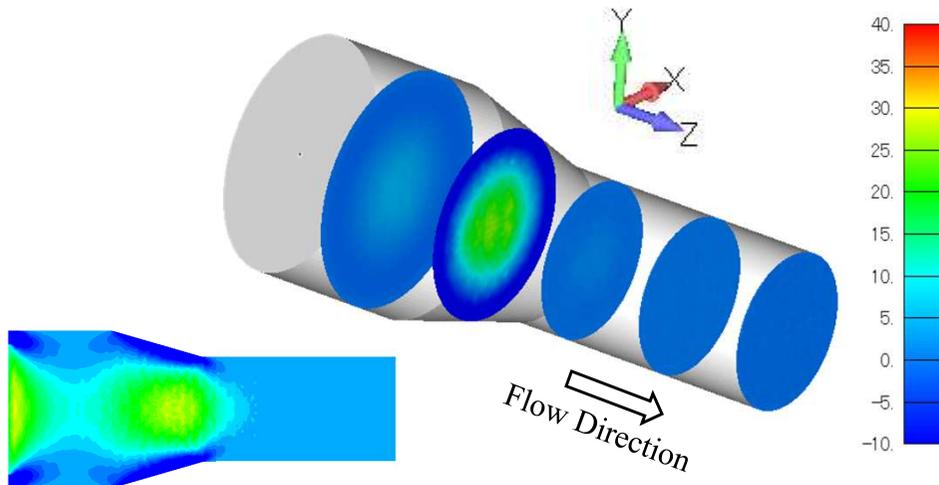
【条件1-2】 CEFモデル採用



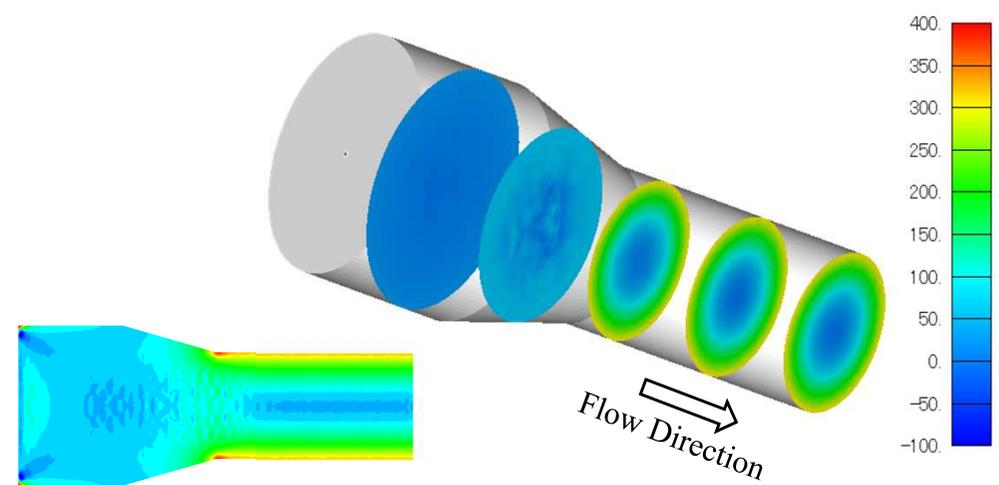
- ・本機能では、通常の熱流動解析は非ニュートン純粘性流体として解析するため、圧力損失は同じ結果になります。このときに得られる流速分布(ひずみ速度分布)を用いて、CEFモデルに基づく余剰応力の各テンソル成分(計6成分)を算出します。

・解析結果／応力成分 τ_{zz} (kPa): 流路方向の法線応力成分

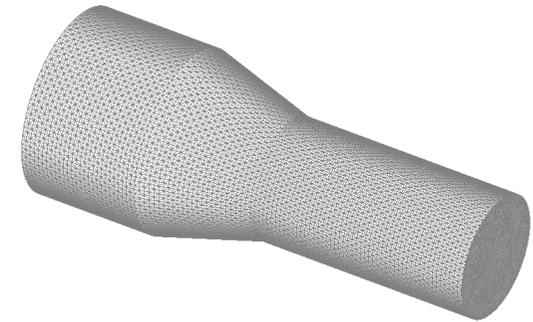
【条件1-1】 CEFモデル非採用



【条件1-2】 CEFモデル採用



解析事例2 / ψ_1 と ψ_2 に実験値(変数)を設定する場合



- ・解析モデル, 境界条件は事例1と同一
- ・樹脂データ: 以下の2条件

【条件2-1】 HDPE_B1 (Material fit データベース)
／CEFモデル非採用(従来通り)

【条件2-2】 HDPE_B1 (Material fit データベース)
／CEFモデル採用

CEFモデルパラメータ

CEFモデル非採用

CEFモデル採用

CEFモデルパラメータ

CEFモデル非採用

CEFモデル採用

第一法線応力差N1 / ψ_1 60

第二法線応力差N2 / ψ_2 -9

法線応力データ入力(ψ_1)

psiltest

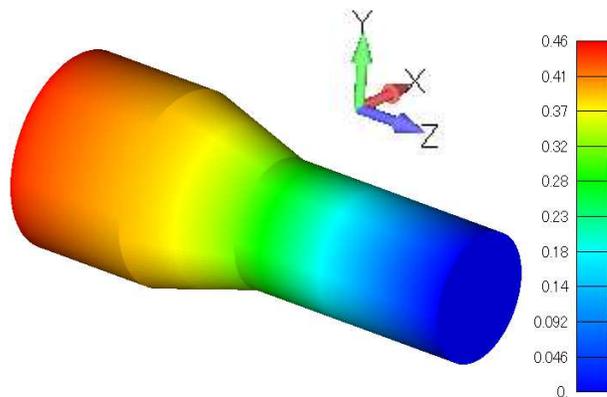
選択

ψ_2 / ψ_1 比に,
 $\psi_2 / \psi_1 = -9 / 60$
 $= -0.15$
を設定

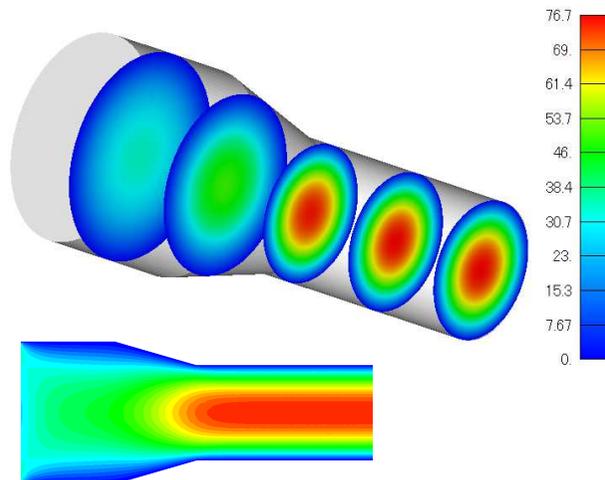
p.41のテスト
データを使用

・解析結果／【条件2-2】HDPE_B1, CEFモデル採用

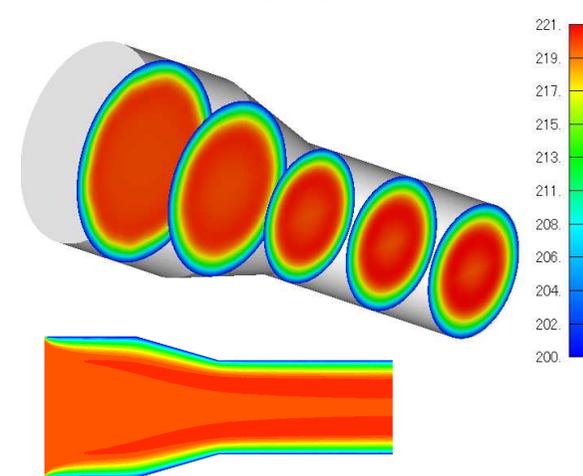
○圧力分布 (MPa)



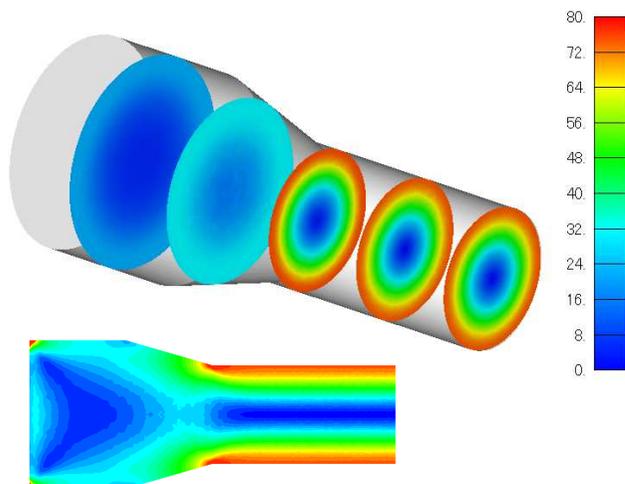
○流速分布 (cm/s)



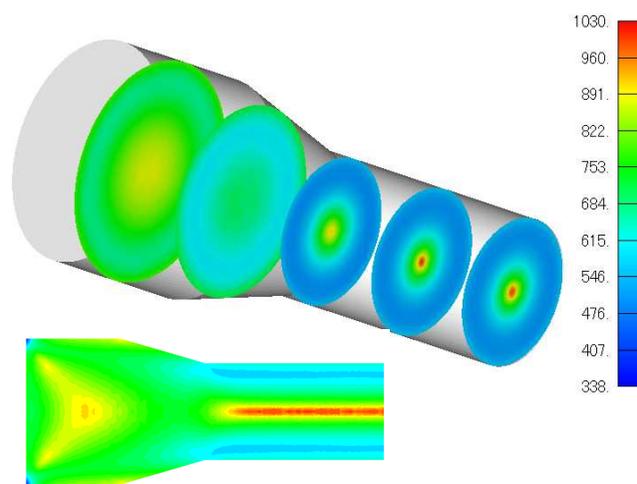
○温度分布 (°C)



○ひずみ速度分布 (1/s)

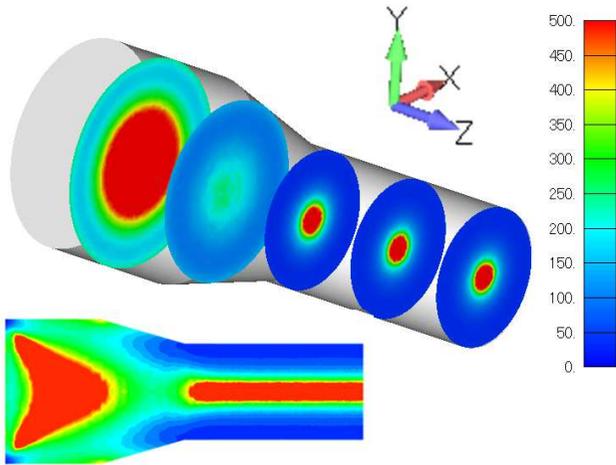


○粘度分布 (Pa·s)

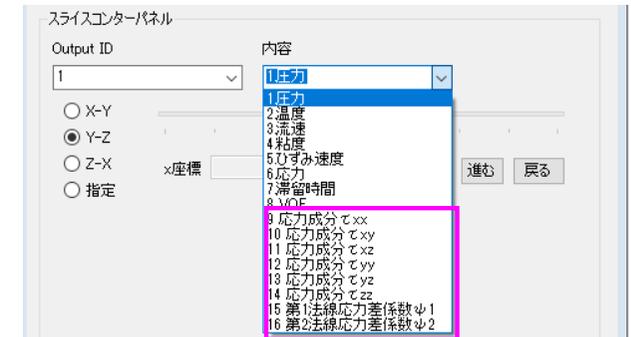
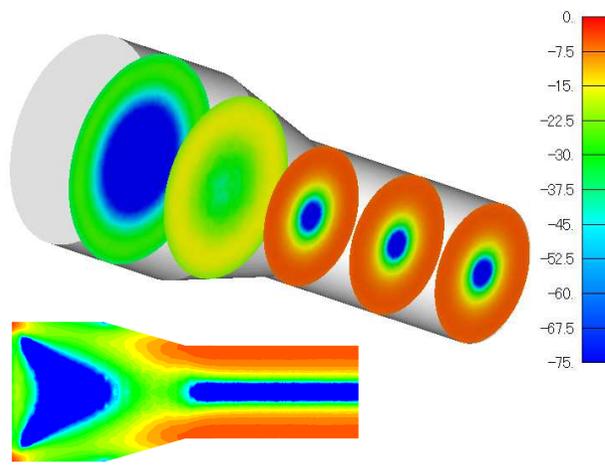


・解析結果／【条件2-2】HDPE_B1, CEFモデル採用

○第1法線応力差係数 ψ_1 (Pa·s²)

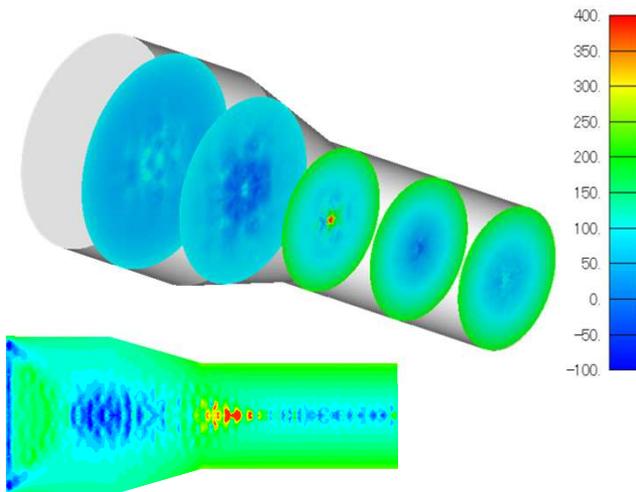


○第2法線応力差係数 ψ_2 (Pa·s²)

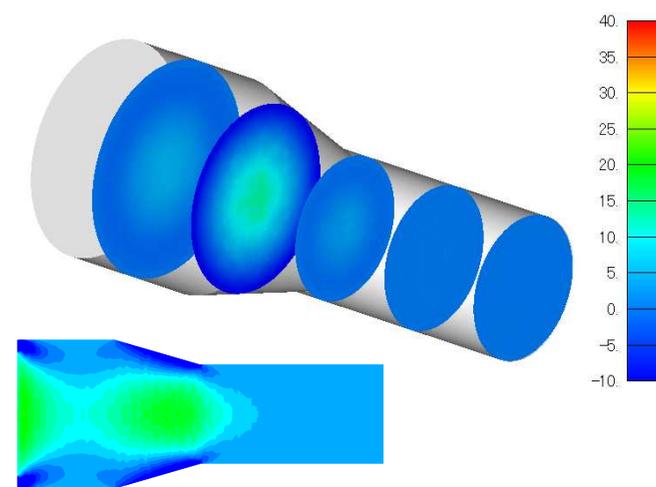


各応力成分および
 ψ_1 , ψ_2 が出力される。

○応力成分 τ_{zz} (kPa): 流路方向の法線応力成分



【条件2-1】HDPE_B1, CEFモデル非採用

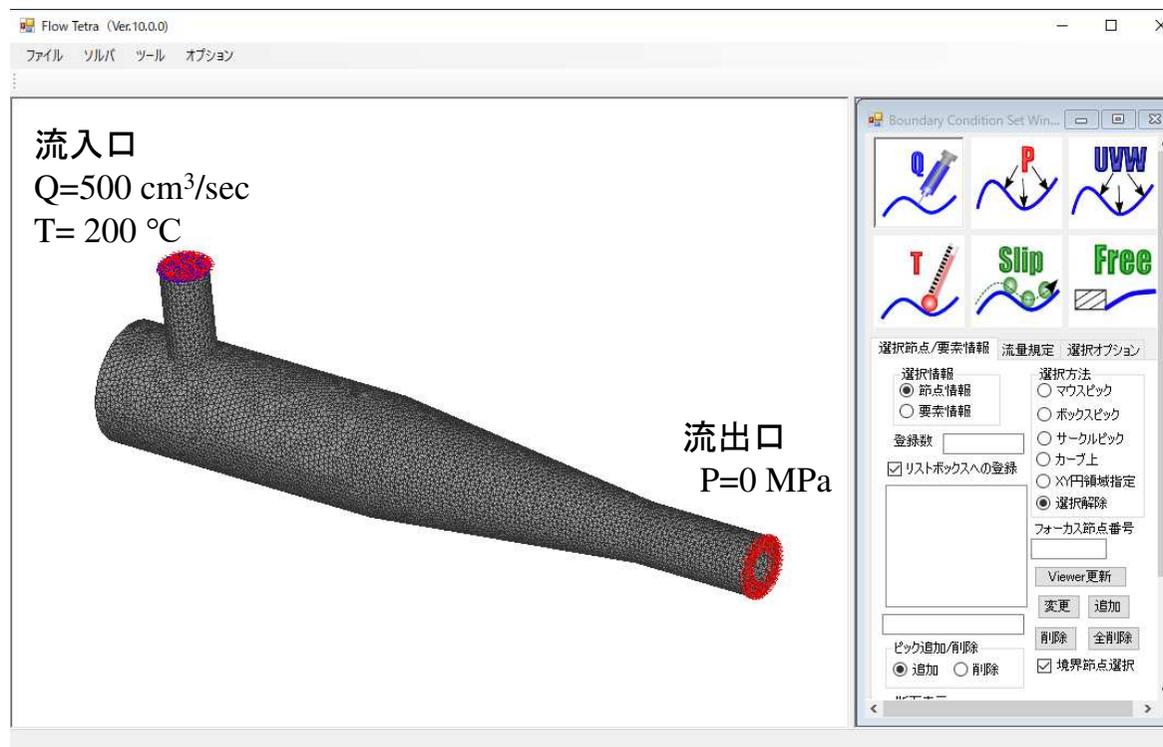


(4) 解析境界条件(流入出口)の簡易設定機能

Ver.10.0.0では、メッシュモデルに設定した流入出口に設定する流量、温度、圧力の境界条件値を、解析条件設定フォームで任意に変更することが可能になりました。

【使用方法】

1. これまでと同様に、メッシュモデルをインポートした後、ツール/Boundary Condition Set をクリックし、流入口(Q) および 流出口(P) の境界条件を設定します。設定後メッシュエクスポートで保存します。



【使用方法】

2. 解析条件設定フォームのモデル選択で、選択ボタンをクリックして対象のモデル(.3msh)を指定すると、フォーム下部の流入出口境界条件欄に、方法1.で設定した境界値が表示されます。境界値を変更する場合には、表示された境界値を変更してから保存ボタンをクリックして条件保存してから解析実行ボタンをクリックすると、変更した境界値で解析が実施されます。

```
HELE SHAW FLOW SIMULATOR Ver.1.0
Hyper Advance Simulation Laboratory

Input Cal Data
calendtime = 1.000000
deltini = 0.1000000
resoutdt = 0.1000000
ndiv = 10
isymmet = 1
itmax = 10
isteady = 10
ifillsw = 0
jjeffsw = 0
Inletf = 1
idrag = 0
islipcal = 1
islipcoeff = 0.0000000E+00
islipomega = 9.9999998E-03
ilayercal = 0
ilayernum = 0
Outletf = 1
iswvof = 1
NdivVOF = 100
NcycleVOF = 2000
Input Cal Data OK

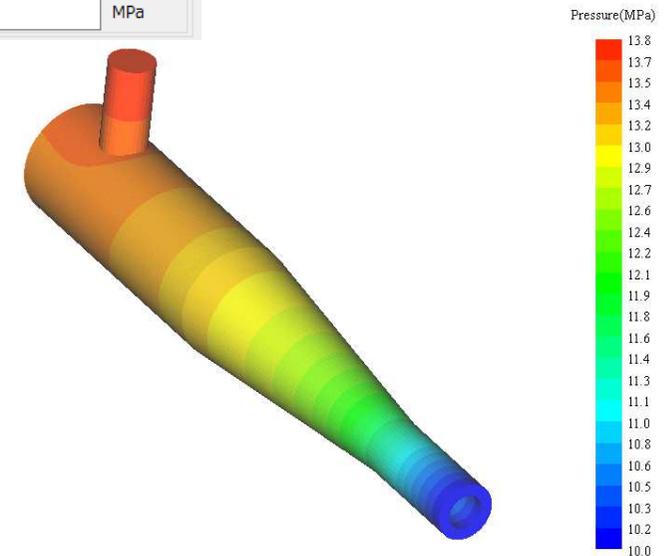
Input Mesh Data
itet3d = 1
ihex3d = 0
iwed3d = 0
calccqin = 600.0003
calctempin = 220.0000
calcpout = 10.00000
Mesh File Input OK
```

(変更例)

流入出口境界条件 (位置はメッシュモデルに準拠)

<input checked="" type="radio"/> 単層解析	流入口流量	600	cm3/sec
<input type="radio"/> 多層解析	流入口温度	220	°C
	流出口圧力	10	MPa

解析結果／圧力分布(MPa)

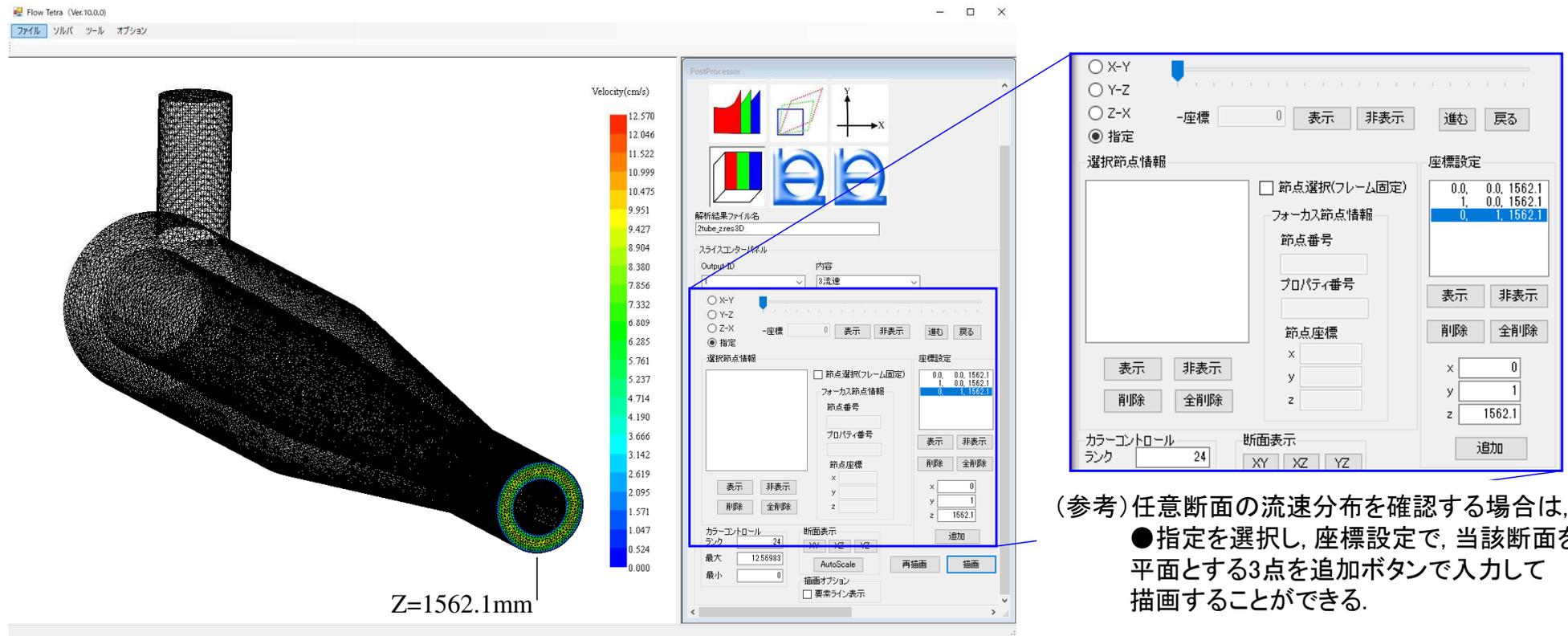


(5) スライス断面の全情報取得機能

当機能は、スライスコンター図で抽出したスライス断面の対象節点の情報を、テキスト出力として保存することができます。

【使用方法】

1. これまでと同様に、解析結果ファイル(.res3D) をインポートし、スライスコンターの描画を行います。



The screenshot shows the FlowTetra software interface. On the left, a 3D model of a pipe is displayed with a velocity contour plot. A color scale on the right indicates velocity values from 0.000 to 12.570 cm/s. The 'PostProcessor' dialog box is open, showing the '指定' (Specify) option selected for slice selection. The dialog includes fields for '座標設定' (Coordinate Setting) and '追加' (Add) buttons. A callout box highlights the '指定' option and the '追加' button.

(参考)任意断面の流速分布を確認する場合は、
● 指定を選択し、座標設定で、当該断面を平面とする3点を追加ボタンで入力して描画することができる。

【使用方法】

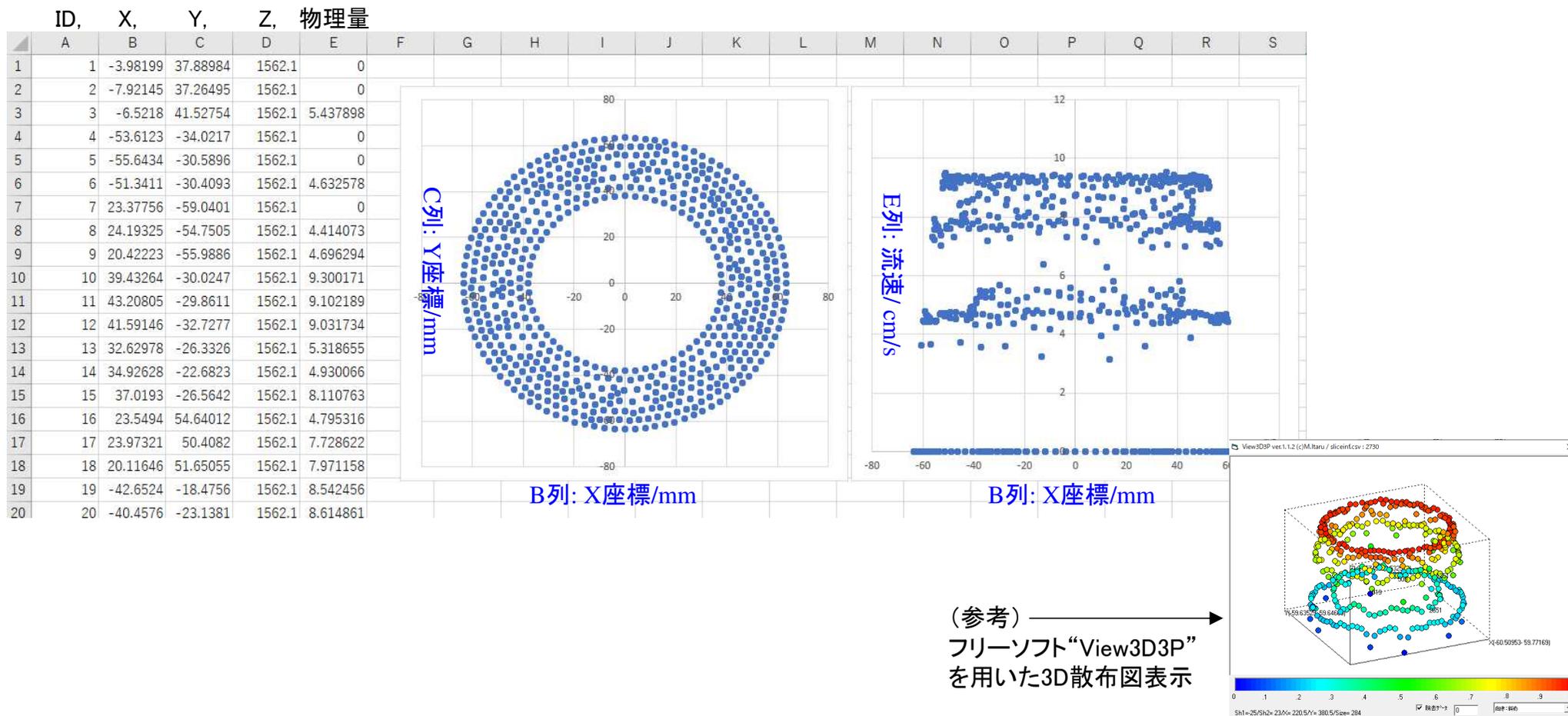
- 対象となるスライス断面を描画後、グラフプロットアイコンをクリックします。このとき、解析結果ファイルが存在する作業フォルダ内に、“解析結果ファイル名_グラフ番号.sliceinf” というファイルが自動生成されます。

The screenshot displays the software's PostProcessor interface. On the left, a velocity plot of a ring is shown with a color scale from 0.000 to 12.570 cm/s. The PostProcessor panel on the right contains various icons for visualization. A red box highlights the graph plot icon, and a red arrow points from it to a file explorer window. The file explorer shows a folder named '4_slice' containing several files. The file '2tube_z_3.sliceinf' is highlighted with a red box, indicating it is the file generated by the software.

名前	更新日時	種類
2tube_z_3.sliceinf	2023/02/10 16:36	SLICEINF ファイル
2tube_zpost.neu	2023/02/10 16:08	Femap Neutral File
2tube_z.vtk	2023/02/10 16:08	VTK ファイル
vtkfile	2023/02/10 16:08	ファイル
2tube_z.res3D	2023/02/10 16:07	RES3D ファイル

【使用方法】

- 生成された .sliceinf ファイルをエクセルでコンマ区切りで開くと, スライス断面内の節点ID番号, 3次元座標(x, y, z), および出力物理量の情報が出力されています. 複数の物理量情報が必要な場合は, グラフフォームを閉じて物理量を変更し, 再度グラフプロットアイコンをクリックすることで, 複数の .sliceinf ファイルを作成することができます.



(参考) これまで通り, グラフプロットフォームを用いて任意ライン上の出力物理量をグラフ化することも可能です。

① マウス指定の状態, 始点と終点の2点をクリックする。

最小/最大値
X軸 0 → 0
Y軸 0 → 3.792453
作画対象点
1
2
3
4
5
 マウス選択 Delete
グラフ描画点設定ライン
直線 円
 マウス指定 リリース ライン削除
座標指定
始点 終点
x -79.1432 84.23234
y -3.683903 -3.11491
z 1338.943 1338.943
設定

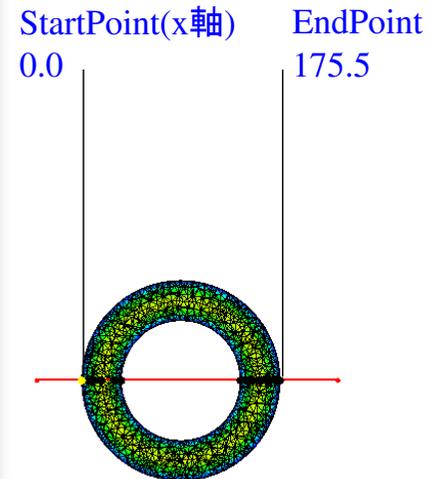
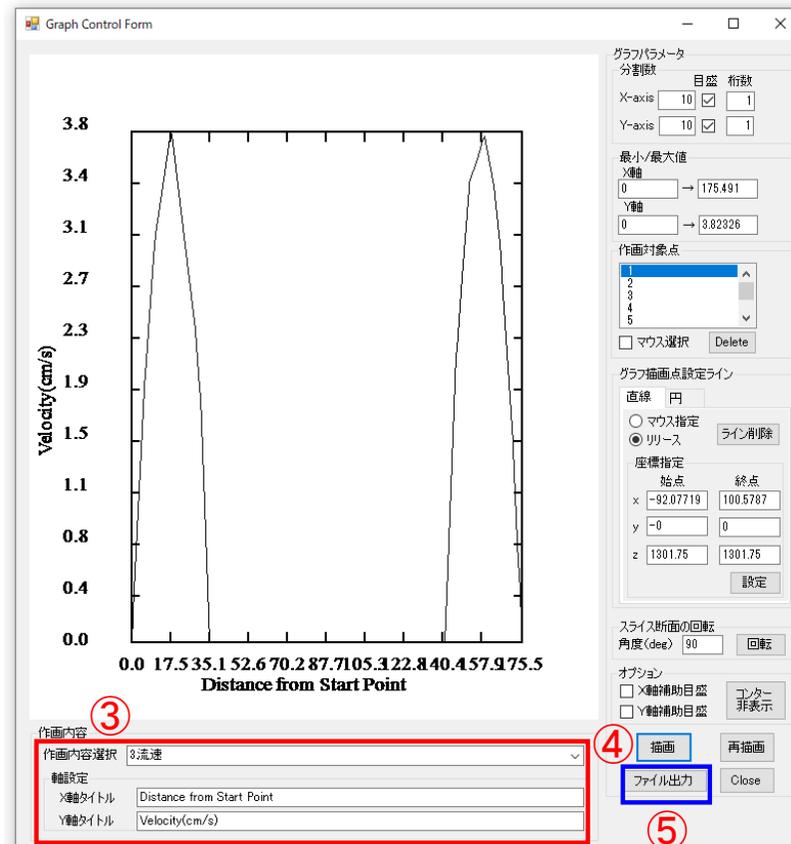
② 座標値を手動修正して, 設定ボタンをクリックする。
⇒グラフのX軸, Y軸を確定させる。

最小/最大値
X軸 0 → 127.0001
Y軸 0 → 3.80546
作画対象点
1
2
3
4
5
 マウス選択 Delete
グラフ描画点設定ライン
直線 円
 マウス指定 リリース ライン削除
座標指定
始点 終点
x -79.1432 84.23234
y -0 -0
z 1338.943 1338.943
設定

手動修正

②

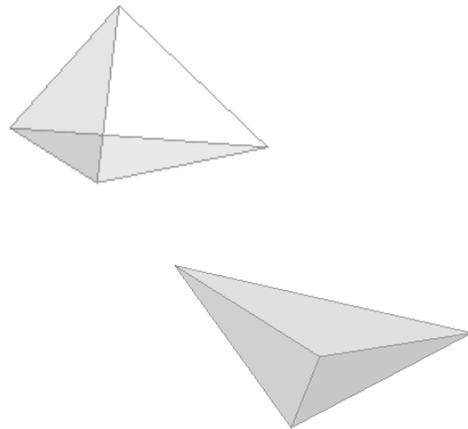
③作画する物理量を選択した後、④描画ボタンをクリックすると、指定ラインをx軸とするグラフ図が作成される。
出力結果は、⑤ファイル出力ボタンをクリックしてテキスト形式で保存し、エクセルで編集することができる。



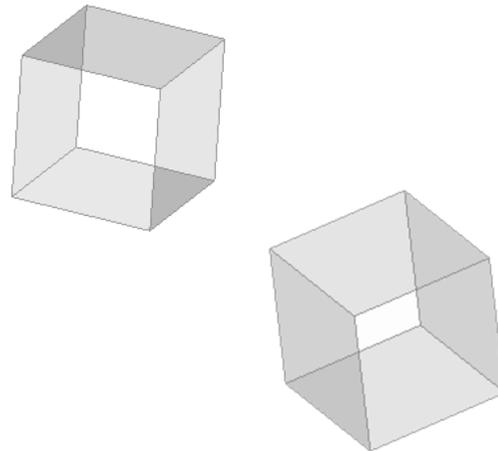
(6) メッシュ要素の適用範囲拡大(六面体, 三角柱)

Ver.10.0.0では, メッシュ要素の適用範囲が拡大され, FlowTetraの解析対象である四面体(テトラ, tetra)要素に加えて, 六面体(ヘキサ, hexa)要素, および三角柱(ウェッジ, wedge)要素で作成したモデルでも解析が可能になりました.

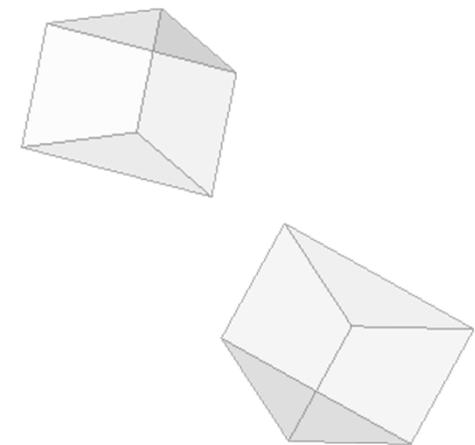
テトラ要素: Flow Tetra 標準



ヘキサ要素

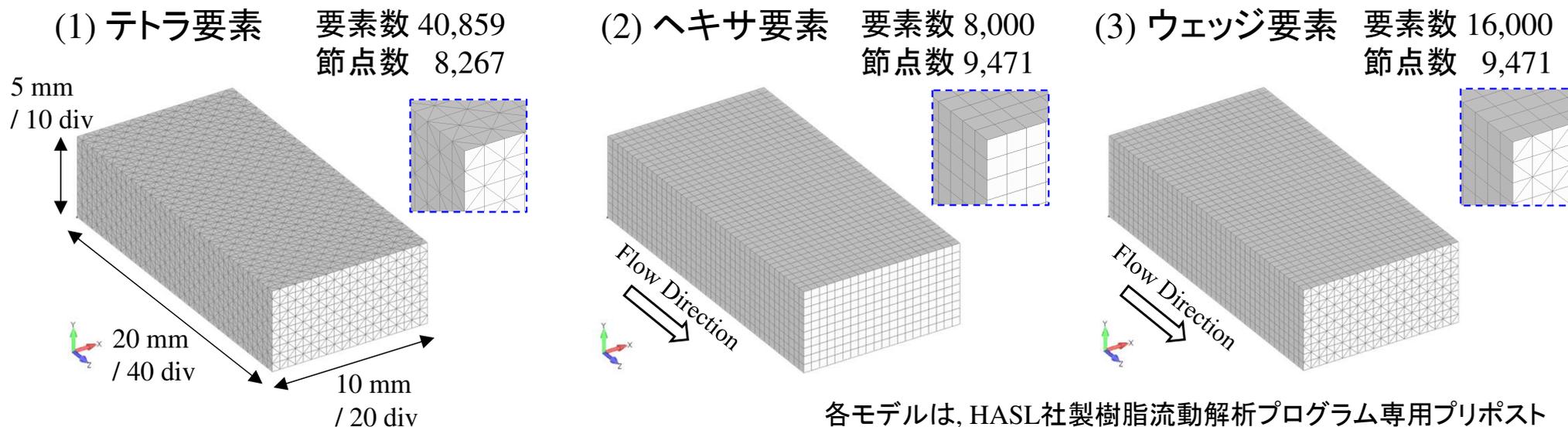


ウェッジ要素



解析事例

・解析モデル: 流路寸法および設定分割数は共通



各モデルは, HASL社製樹脂流動解析プログラム専用プリポストを用いて作成しました.

・境界条件(共通)

樹脂データ:
HDPE_B1
(Materialfit データベース)

流入口
Q=1.0 cm³/sec
T= 200 °C

壁面温度規定
T= 180 °C

流出口
P=0 MPa

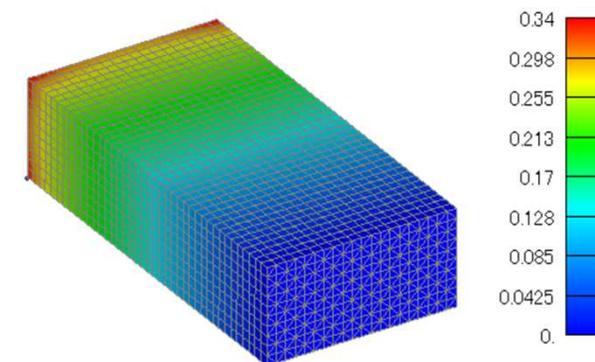
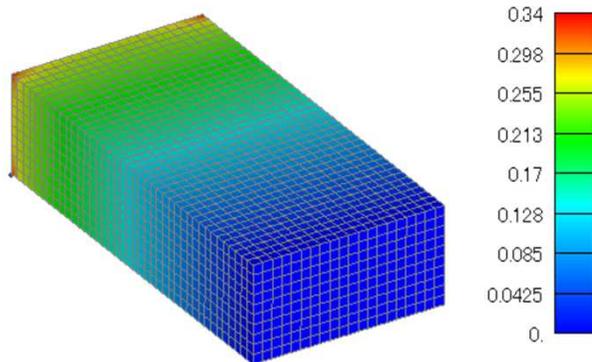
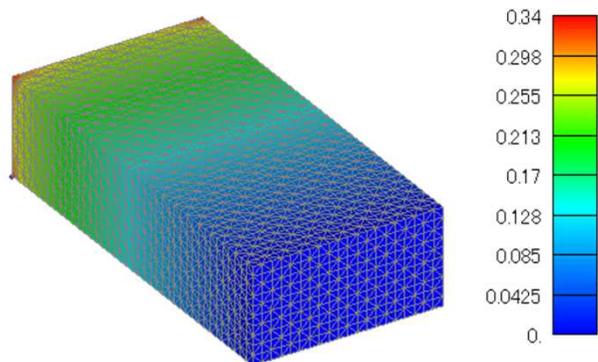
・解析結果

(1) テトラ要素

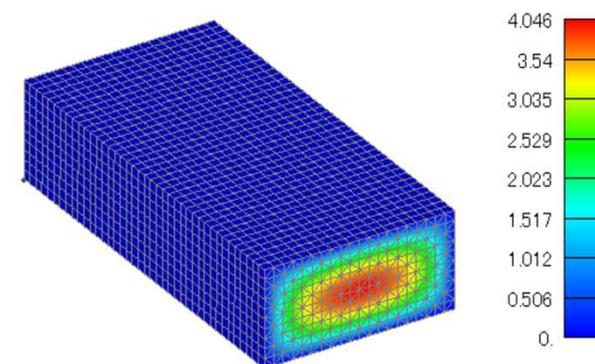
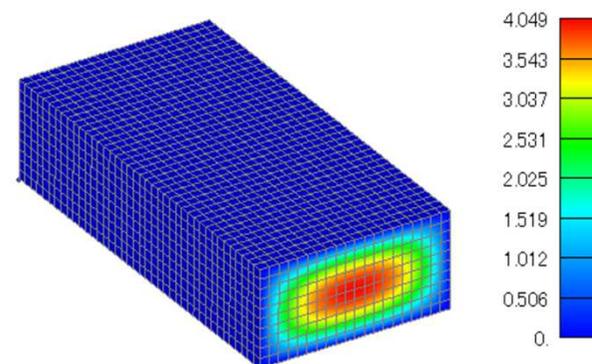
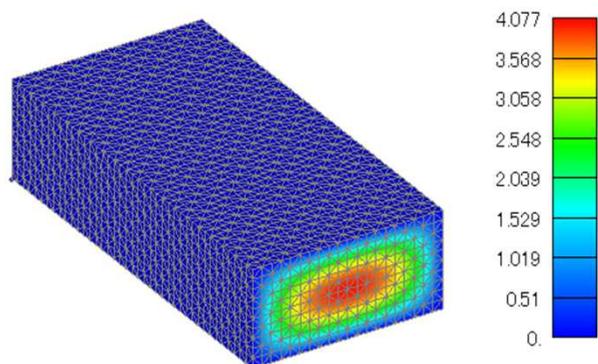
(2) ヘキサ要素

(3) ウェッジ要素

○圧力分布 (MPa)

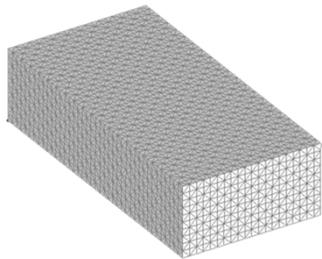
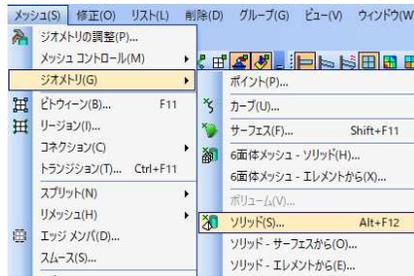
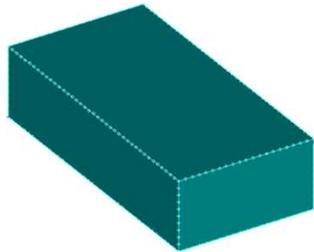


○流速分布 (cm/s)



・HASL社製樹脂流動解析プログラム専用プリポスト(FEMAP)を用いたメッシュ作成方法

(1) テトラ要素(標準) 分割数の指定までは共通



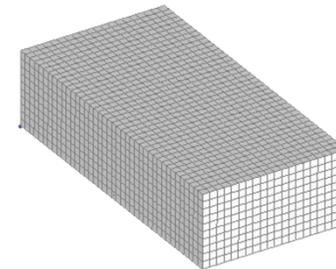
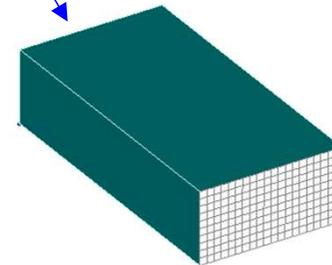
3Dメッシュ作成後, リナンバを行い,
.neuファイル形式で保存.

(2) ヘキサ要素 および (3) ウェッジ要素

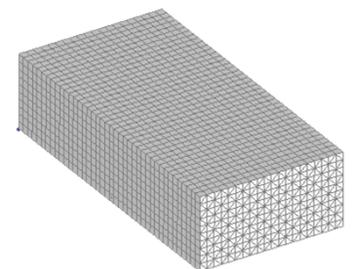
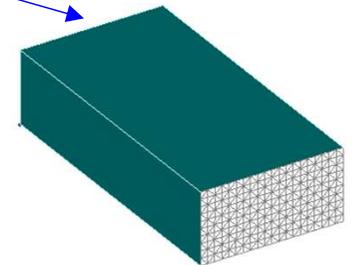
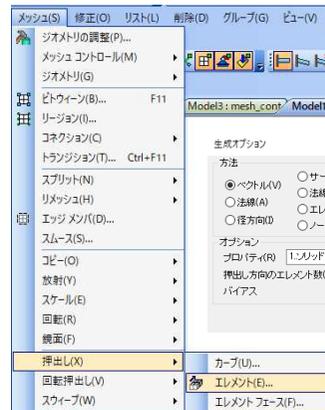
1. メッシュ/ジオメトリ/サーフェスで基準表面に2Dメッシュを作成する



3角形または4辺形を選択



2. メッシュ/押し出し/エレメントで 押し出し方向を指定してメッシュ作成する.

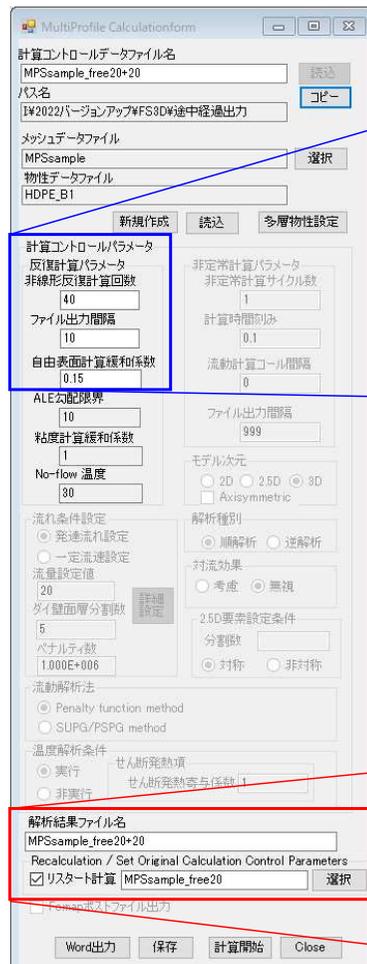


3Dメッシュ作成後, 1.で作成した2Dメッシュを削除
した後にリナンバを行い, .neuファイル形式で保存.

MultiProfileSimulator Ver.10.0.0 改良成果

(1) リスタート解析および途中経過ファイル出力機能

本項では、一度終了した解析結果の続きから再解析ができるリスタート機能と、指定した反復計算の途中経過をファイル出力する機能について説明します。



計算コントロールパラメータ

反復計算パラメータ
非線形反復計算回数

40

ファイル出力間隔

10

自由表面計算緩和係数

0.15

途中経過ファイル出力機能の設定欄
結果ファイルの出力間隔を設定します。
(デフォルトは999, 出力しない)
左図の入力の場合, 反復計算回数40
以外に, 10, 20, 30回目の途中解析結果が,
全ての解析終了後(40回後)に
自動出力されます。

リスタート解析機能の設定欄

- ・リスタート計算チェックボックスをチェック状態にした後(①),
- ②の選択ボタンをクリックし元の解析結果ファイル(A)を設定します。
- ・非線形反復計算回数に, (A)の反復回数よりも大きな値を設定し,
保存および計算開始すると, (A)の続きから解析が開始します。
自由表面計算緩和係数も変更可能です。

解析結果ファイル名

MPSsample_free20+20

Recalculation / Set Original Calculation Control Parameters

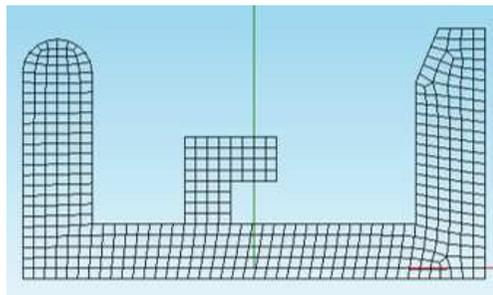
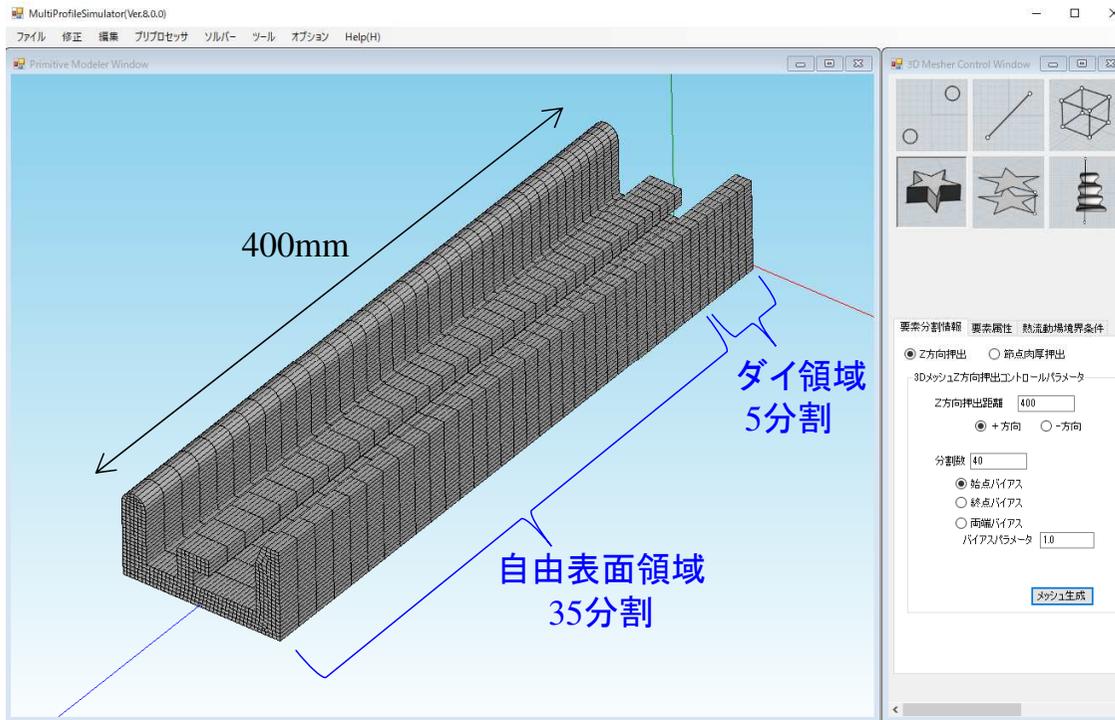
①

リスタート計算 MPSsample_free20

② 選択

解析事例1: 途中経過ファイル出力機能

・解析モデル: 3D異形押出モデル



樹脂データ:
HDPE_B1
(Materialfit データベース)

・解析条件: 共通項

計算コントロールパラメータ

反復計算パラメータ
非線形反復計算回数
20

ファイル出力間隔
5

自由表面計算緩和係数
0.1

ALE勾配限界
10

粘度計算緩和係数
1

No-flow 温度
30

流れ条件設定
 発達流れ設定
 一定流速設定
 流量設定値 (cm³/sec)
20
 ダイ壁面層分割数
5
 ペナルティ数
1.000E+006

先端流れ条件

自由条件
 流速規定条件
 延伸率規定条件(平均流速比)
 設定値 1.2

滑り解析: 滑り係数 0.0001

【条件1-1】順解析

解析種別
 順解析 逆解析

【条件1-2】逆解析

解析種別
 順解析 逆解析

解析結果

【条件1-1】順解析

○解析結果ファイル

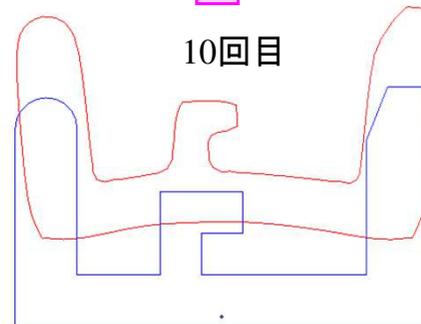
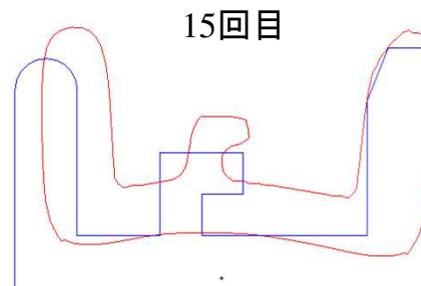
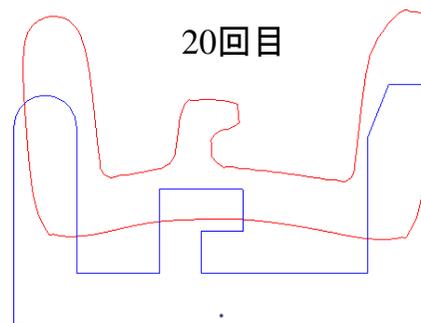
- MPSsample_free20_5step.dxf
- MPSsample_free20_5step.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle5.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycle10.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycle15.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycleend.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycleend.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle15.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle10.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle5.prst
- MPSsample_free20_5step.areainf
- MPSsample_free20_5step.num
- MPSsample_free20_5step.resultinf
- MPSsample_free20_5step.vtk
- MPSsample_free20_5step_cycle5.num
- MPSsample_free20_5step_cycle10.num
- MPSsample_free20_5step_cycle15.num
- MPSsample_free20_5step_cycleend.areainf
- MPSsample_free20_5step_cycleend.num
- MPSsample_free20_5step.recalc
- MPSsample_free20_5step.numc
- MPSsample_free20_5step.pcal

最終結果ファイル
(従来通り)

5, 10, 15, 20回目の
断面形状ファイル
(.dxf)

5, 10, 15, 20回目の
3D解析結果ファイル
(.prst)

○最終結果／断面形状

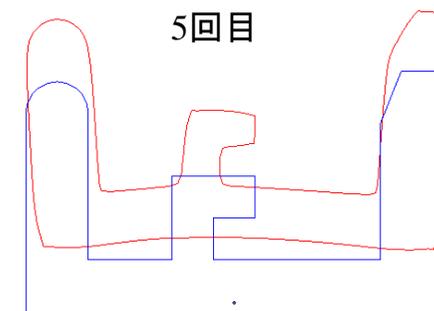
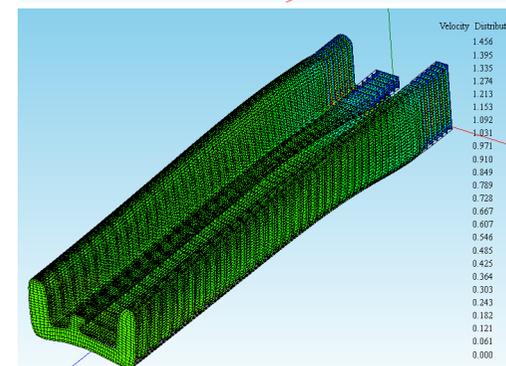
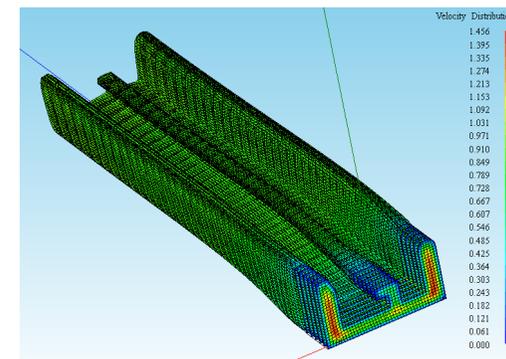


青:ダイ流出断面形状(指定)

赤:押出物断面形状(予測)



○最終結果／流速分布(cm/s)



解析結果

【条件1-2】逆解析

○解析結果ファイル

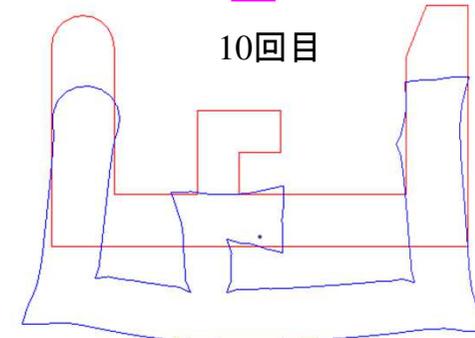
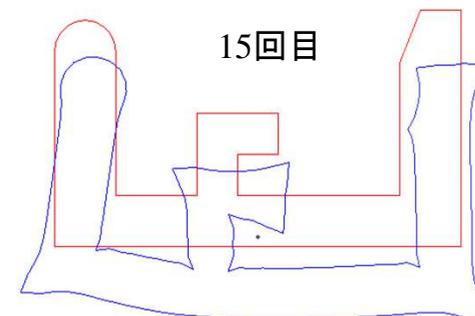
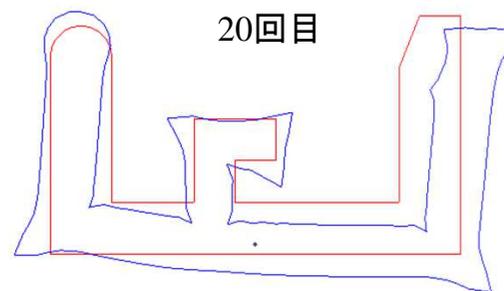
- MPSsample_free20_5step.dxf
- MPSsample_free20_5step.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle5.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycle10.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycle15.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycleend.dxf
- MPSsample_free20_5step_cycleend.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle15.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle10.prst
- MPSsample_free20_5step_cycle5.prst
- MPSsample_free20_5step.areainf
- MPSsample_free20_5step.num
- MPSsample_free20_5step.resultinf
- MPSsample_free20_5step.vtk
- MPSsample_free20_5step_cycle5.num
- MPSsample_free20_5step_cycle10.num
- MPSsample_free20_5step_cycle15.num
- MPSsample_free20_5step_cycleend.areainf
- MPSsample_free20_5step_cycleend.num
- MPSsample_free20_5step.recalc
- MPSsample_free20_5step.numc
- MPSsample_free20_5step.pcal

最終結果ファイル
(従来通り)

5, 10, 15, 20回目の
断面形状ファイル
(.dxf)

5, 10, 15, 20回目の
3D解析結果ファイル
(.prst)

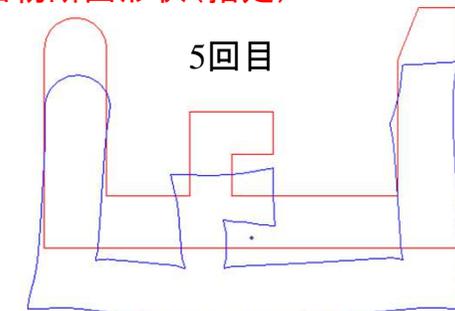
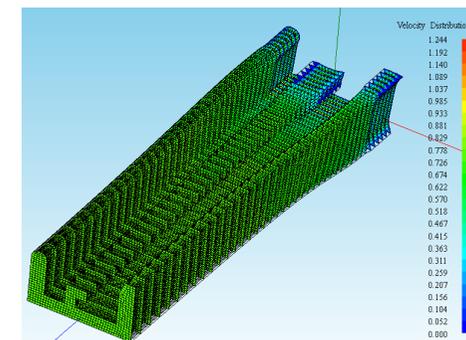
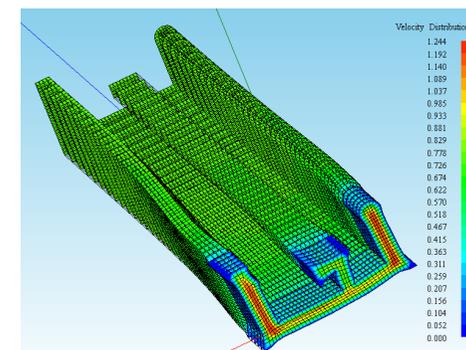
○最終結果／断面形状



青:ダイ流出断面形状(予測)
赤:押出物断面形状(指定)

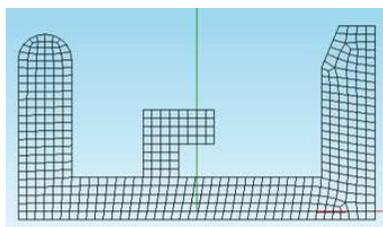
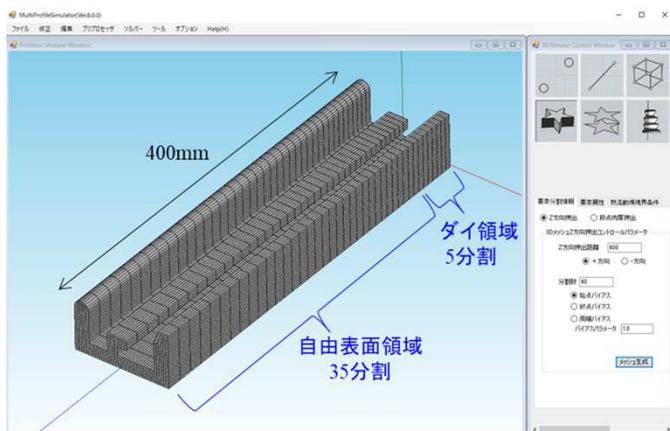


○最終結果／流速分布(cm/s)



解析事例2: リスタート機能

- 解析モデル: 3D異形押出モデル (事例1と同一)



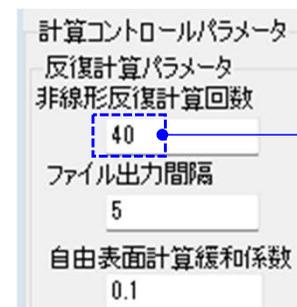
- 解析条件: 事例1の解析結果(20回)に, 20回を追加する ⇒ 合計40回

①元ファイル選択



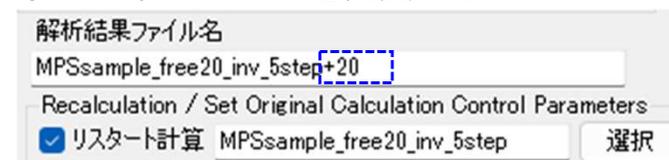
- ①解析事例1の逆解析結果ファイルを選択

②反復計算回数の増加, 解析ファイル名変更



- 非線形反復計算回数を 20→40に変更する。

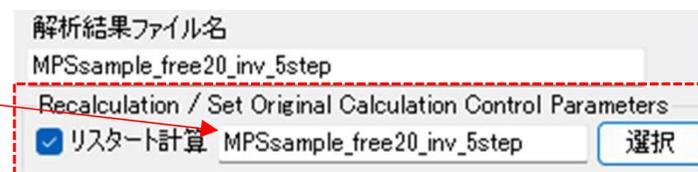
- 解析結果ファイル名を変更する。



- 計算コントロールデータファイル名にコピーする。



- 条件を保存し, 計算開始ボタンをクリックする。



解析結果

○解析経過(コマンドプロンプト)

```

////////////////////////////////////
Multiprofilesimulator start !!!
////////////////////////////////////
Mono-layer calculation
////////////////////////////////////
      1      20      40
Cycle =      1 iteration no. =      20
call lhs
islipnodenumber=      0
ret lhs
call rhs
ret rhs
call solve
LOADING DLL:SMSMFD
<<< call smsmfd all >>> neq :      63870
non0s=      2219019 mtype=      1
RTC=      0 isw=      0
    
```

元ファイルの
最終結果
読み込み

○解析結果ファイル

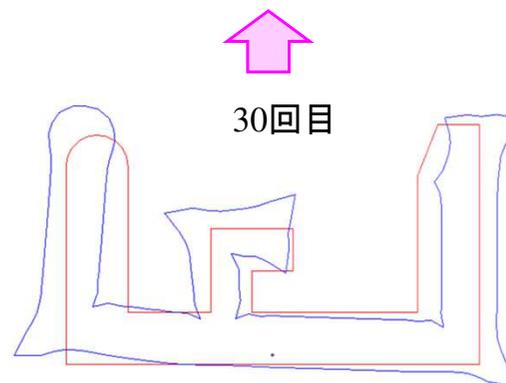
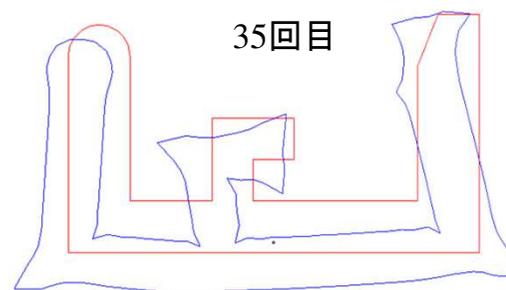
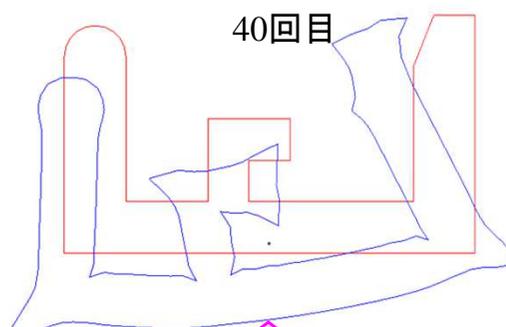
- MPSSample_free20_inv_5step+20.dxf
- MPSSample_free20_inv_5step+20.prst
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycle25.dxf
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycle30.dxf
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycle35.dxf
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycleend.dxf
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycleend.prst
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycle35.prst
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycle30.prst
- MPSSample_free20_inv_5step+20_cycle25.prst
- areainf
- MPSSample_free20_inv_5step+20.areainf

最終結果ファイル
(従来通り)

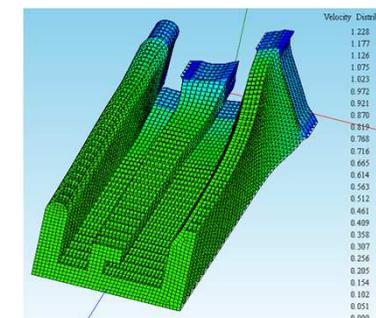
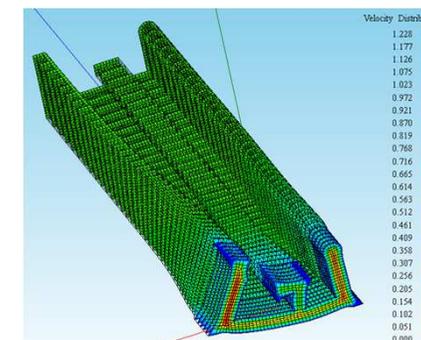
25, 30, 35, 40回目の
断面形状ファイル
(.dxf)

25, 30, 35, 40回目の
3D解析結果ファイル
(.prst)

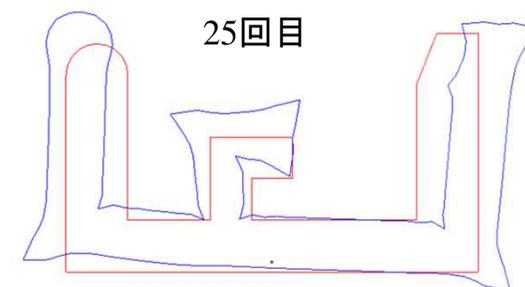
○最終結果/断面形状



○最終結果/流速分布(cm/s)



青:ダイ流出断面形状(予測)
赤:押出物断面形状(指定)



・解析結果

○解析経過ファイル: 解析結果ファイル名 .areainf

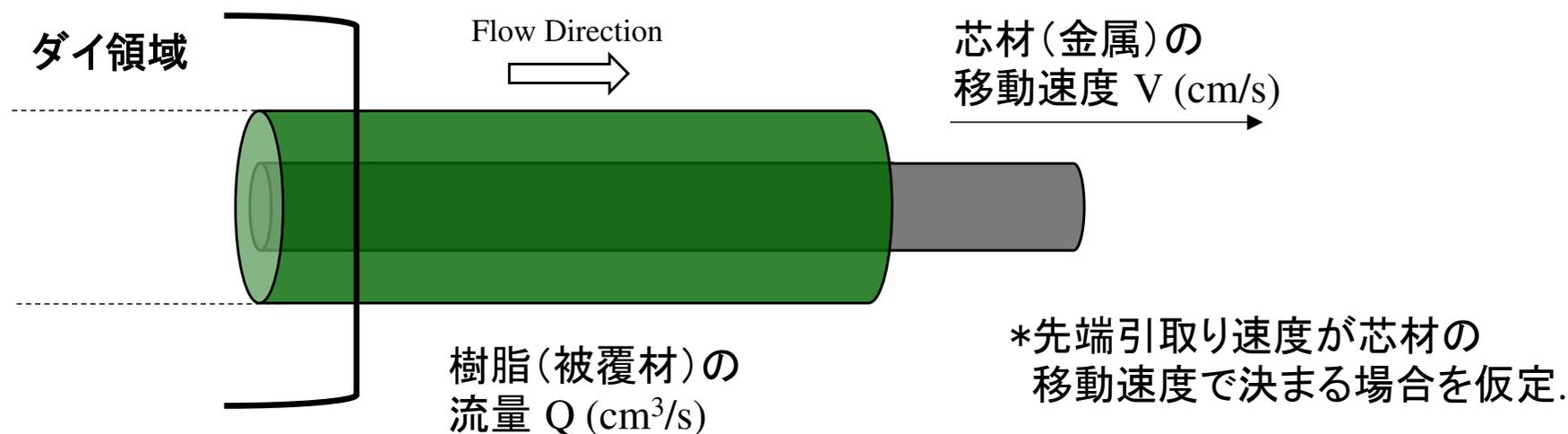
(参考): 元解析結果ファイル .areainf

	回数	緩和係数,	延伸比					
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	iter no.	relaxation	areai	areao	areai/areao	qin	qout	coefv
2	20	0.1	31.61162	28.05662	1.126708231	20	21.38492	0.938924
3	21	0.1	31.72107	28.05662	1.130609406	20	21.30099	0.942175
4	22	0.1	31.73429	28.05662	1.131080311	20	21.22749	0.942567
5	23	0.1	31.84765	28.05662	1.135120767	20	21.21865	0.945934
6	24	0.1	31.95113	28.05662	1.138809096	20	21.14313	0.949008
7	25	0.1	32.07221	28.05662	1.143124578	20	21.07465	0.952604
8	26	0.1	32.17378	28.05662	1.14674466	20	20.99509	0.955621
9	27	0.1	32.24885	28.05662	1.149420405	20	20.92881	0.95785
10	28	0.1	32.27191	28.05662	1.150242477	20	20.88009	0.958535
11	29	0.1	32.2043	28.05662	1.147832502	20	20.86517	0.956527
12	30	0.1	32.24713	28.05662	1.14935925	20	20.90898	0.957799
13	31	0.1	32.32408	28.05662	1.15210193	20	20.8812	0.960085
14	32	0.1	32.37946	28.05662	1.154075557	20	20.83149	0.96173
15	33	0.1	32.45647	28.05662	1.156820441	20	20.79587	0.964017
16	34	0.1	32.58105	28.05662	1.161260952	20	20.74652	0.967717
17	35	0.1	32.75553	28.05662	1.167479663	20	20.66719	0.9729
18	36	0.1	32.95698	28.05662	1.174659774	20	20.55711	0.978883
19	37	0.1	33.16354	28.05662	1.182021904	20	20.43145	0.985018
20	38	0.1	33.35126	28.05662	1.188712935	20	20.3042	0.990594
21	39	0.1	33.50062	28.05662	1.194036266	20	20.18991	0.99503
22	40	0.1	33.59086	28.05662	1.197252593	20	20.09989	0.997711
23	program normal end !!!							

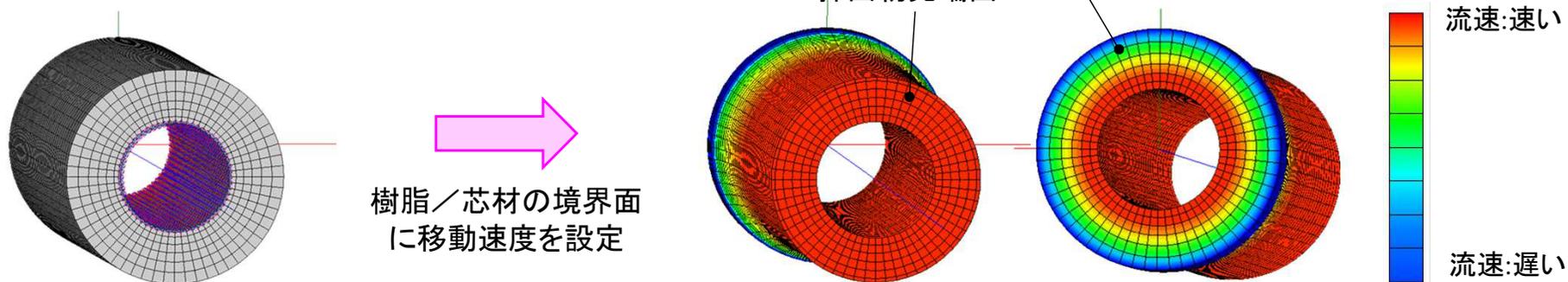
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	iter no.	relaxation	areai	areao	areai/areao	qin	qout	coefv
2	1	0.1	28.29482	28.05661	1.00849041	20	24	0.840409
3	2	0.1	28.69038	28.05661	1.022588702	20	23.79795	0.852157
4	3	0.1	29.01597	28.05662	1.034193652	20	23.46985	0.861828
5	4	0.1	29.31886	28.05662	1.044989308	20	23.20649	0.870824
6	5	0.1	29.5951	28.05662	1.0548351	20	22.96674	0.879029
7	6	0.1	29.84914	28.05662	1.063889646	20	22.75237	0.886575
8	7	0.1	30.08375	28.05662	1.072251544	20	22.55873	0.893543
9	8	0.1	30.29507	28.05662	1.079783541	20	22.38281	0.89982
10	9	0.1	30.46513	28.05662	1.08584463	20	22.22668	0.904871
11	10	0.1	30.58634	28.05662	1.090165166	20	22.10261	0.908471
12	11	0.1	30.68344	28.05662	1.093625975	20	22.01501	0.911355
13	12	0.1	30.75243	28.05662	1.096084894	20	21.94534	0.913404
14	13	0.1	30.83508	28.05662	1.099030768	20	21.89611	0.915859
15	14	0.1	30.9854	28.05662	1.104388313	20	21.83742	0.920324
16	15	0.1	31.10004	28.05662	1.108474355	20	21.73148	0.923729
17	16	0.1	31.18634	28.05662	1.111550228	20	21.65138	0.926292
18	17	0.1	31.27341	28.05662	1.114653732	20	21.59146	0.928878
19	18	0.1	31.37252	28.05662	1.118186303	20	21.53135	0.931822
20	19	0.1	31.48756	28.05662	1.12228641	20	21.46333	0.935239
21	20	0.1	31.61162	28.05662	1.126708342	20	21.38491	0.938924
22	program normal end !!!							

(2) 樹脂／金属被覆成形の解析機能

当機能では、押出被覆成形などで、樹脂が制約を受けて流動する場合を想定し、境界条件に移動速度を設定して押出解析をすることができます。



解析イメージ

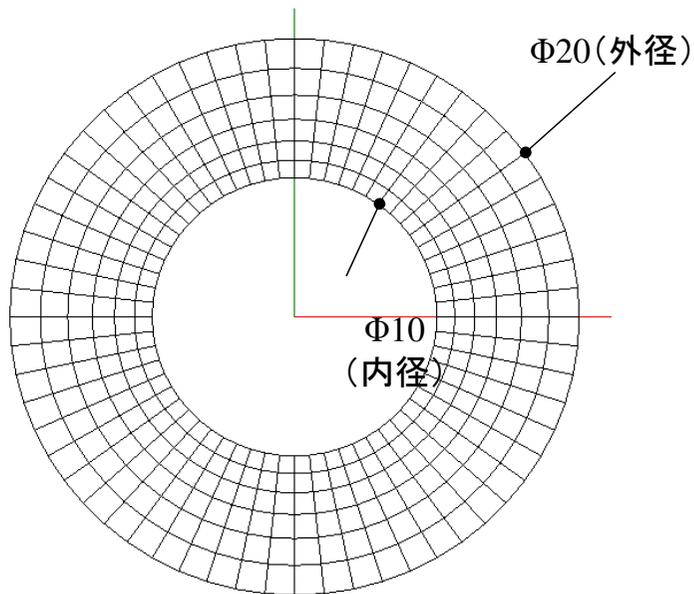


【使用方法および解析事例】

1. 樹脂側の流路断面形状を作成し, 2Dメッシュモデルを作成します(従来操作).

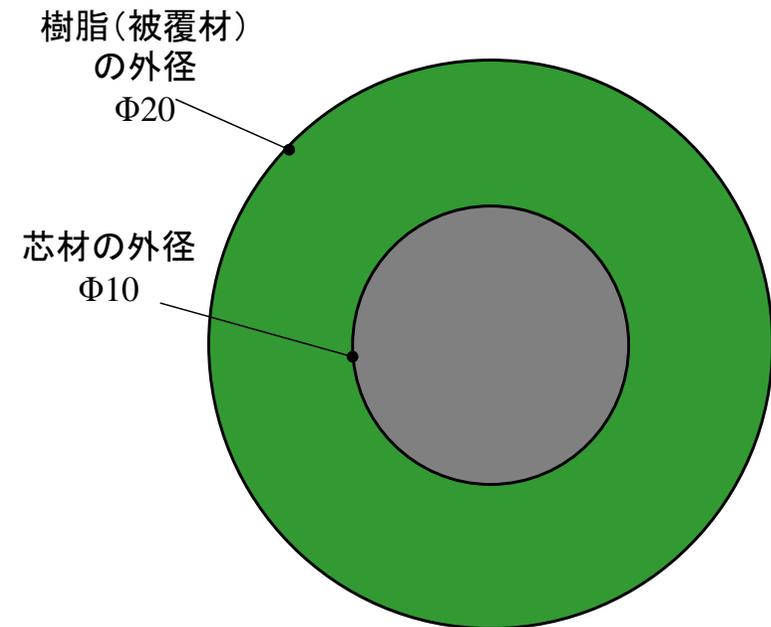
2Dメッシュモデル

専用プリポスト(Femap)で作成し, MPSのメッシュファイルインポートから読み込み



要素数: 360
(円周方向 60分割, 径方向 6分割)

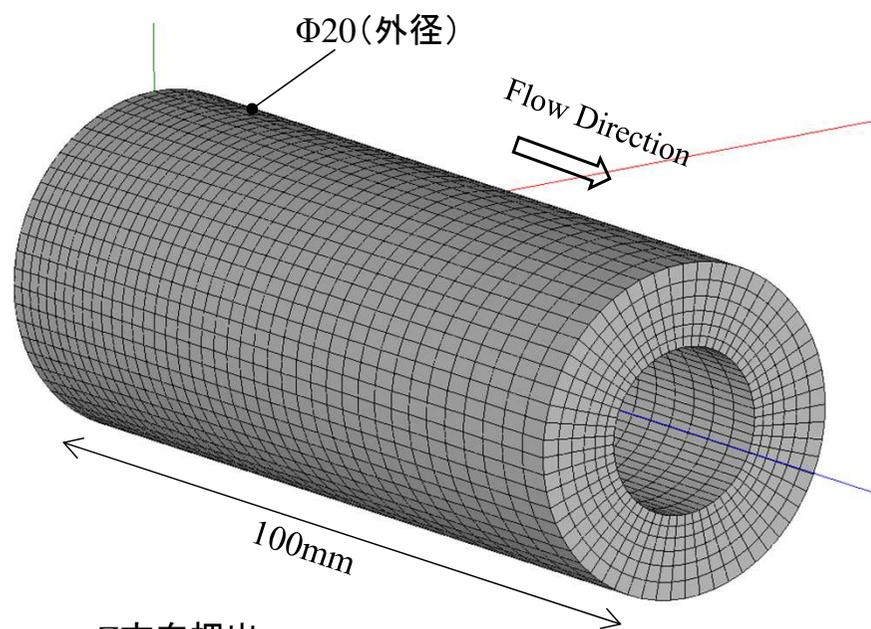
モデル想定図



【使用方法および解析事例】

2. プリプロセッサ/3D Mesherをクリックし, 3Dメッシュモデルを作成します(従来操作).

3Dメッシュモデル



Z方向押出

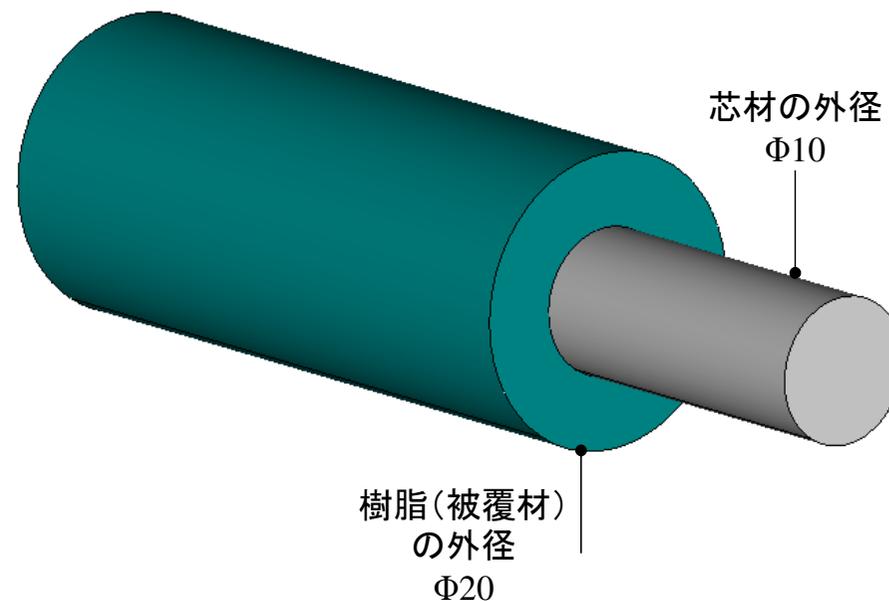
押出距離: 100 mm

Z方向分割数: 40

始点バイアス: 1.0

ダイ領域分割数: 5 (解析条件で指定)

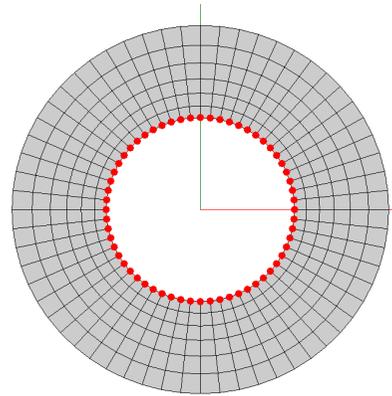
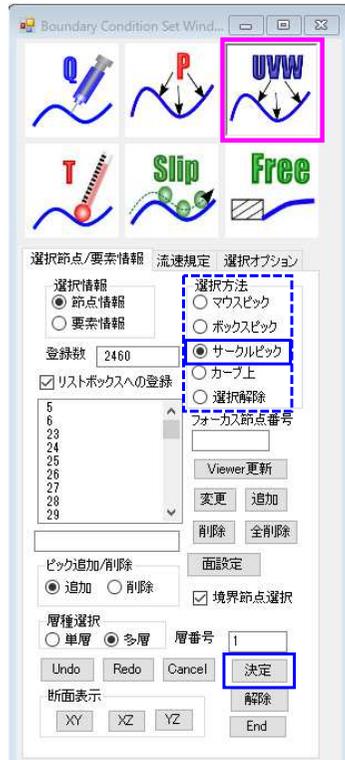
モデル想定図



【使用方法および解析事例】

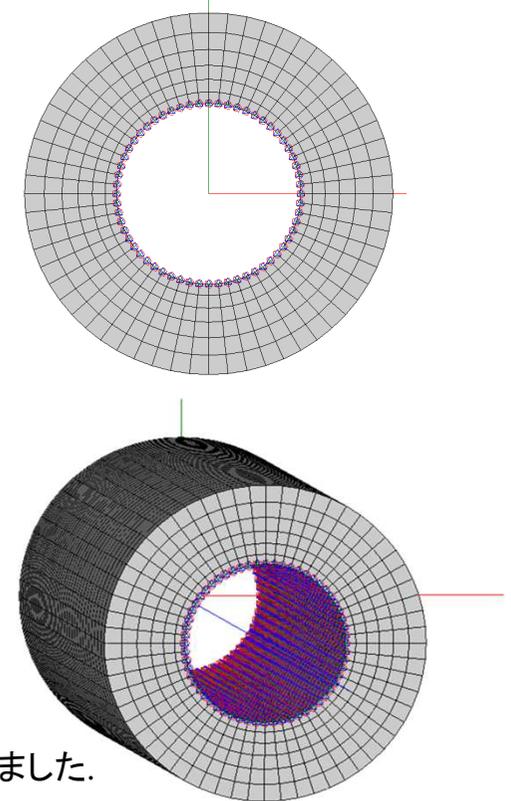
3. プリプロセッサ/Boundary Condition Set をクリックし、樹脂と芯材の界面に移動速度の境界条件を設定します(新規操作)。設定後、メッシュファイルエクスポートで保存します。

3-1. UVWアイコンをクリックし、境界面を選択する。



- ・円周境界の場合には、サークルピックを使うと効率よく選択できます。
- ・XY断面表示で整列してから選択すると、全Z方向の節点を選択できます。(周方向 61 × Z方向 40 = 2460)

3-2. Z(押出)方向に芯材の移動速度 W を設定する。



- ・本例では、W=2.0 cm/sを設定しました。(断面方向は流速 0.0 cm/s)

【使用方法および解析事例】

4. ソルバ/MultiProfileSimulatorをクリックし、フォームから解析条件を設定します。
設定後、保存ボタンをクリックして条件を保存してから計算開始ボタンをクリックします。

解析条件設定フォーム

上段

計算コントロールデータファイル名
instest_v2_q12 読込

パス名
I:\2022\バージョンアップ\F3D\Ver10\tests\sample\Mu

メッシュデータファイル
coattest 3. で作成したメッシュを選択 選択

物性データファイル
HDPE_B1

新規作成 読込 多層物性設定

計算コントロールパラメータ
反復計算パラメータ
非線形反復計算回数 10
ファイル出力間隔 999
自由表面計算緩和係数 0.1
ALE勾配限界 10
粘度計算緩和係数 1
No-flow 温度 30

非常計算パラメータ
非常計算サイクル数 1
計算時間刻み 0.1
流動計算コール間隔 0
ファイル出力間隔 999
モデル次元
 2D 2.5D 3D
 Axisymmetric

下段

流れ条件設定
 発達流れ設定
 一定流速設定
流量設定値 (cm³/sec) 12 詳細設定

解析種別
 順解析 逆解析

対流効果
 考慮 無視

2.5D要素設定条件
分割数
 対称 非対称

流動解析法
 Penalty function method
 SUPG/PSPG method

温度解析条件
 実行
 非実行
せん断発熱項
せん断発熱寄与係数 1

解析結果ファイル名
instest_v2_q12

Recalculation
 リスタート計算
 Femapポストファイル出力

Word出力 保存 計算開始 Close

発達流れ設定にすると、芯材の移動速度を考慮した流動分布が計算されます。

先端引取り速度が芯材の移動速度で決まる場合を想定し、先端流れ条件は自由条件を選択しました。

異型押出用詳細設定

先端流れ条件
 自由条件
 流速規定条件
 延伸率規定条件(平均流速比)

FlowTetra/ダイ流入温度連成解析 (順解析のみ流速も連成)

温度条件
流入温度 200 °C

壁面境界条件
 温度規定 温度規定値 180 °C
 熱伝達規定

自由表面境界条件
 温度規定 温度規定値 30 °C
 熱伝達規定 (*) 熱伝達係数 30 W/m²/K

発泡生成率 0.0

滑り解析: 滑り係数 0

Cancel 設定/閉じる

(*) 移動境界面の温度境界条件には断熱条件(熱伝達係数 0)が設定されます。

・樹脂データ:

HDPE_B1 (Materialfit データベース)

・樹脂押出量:

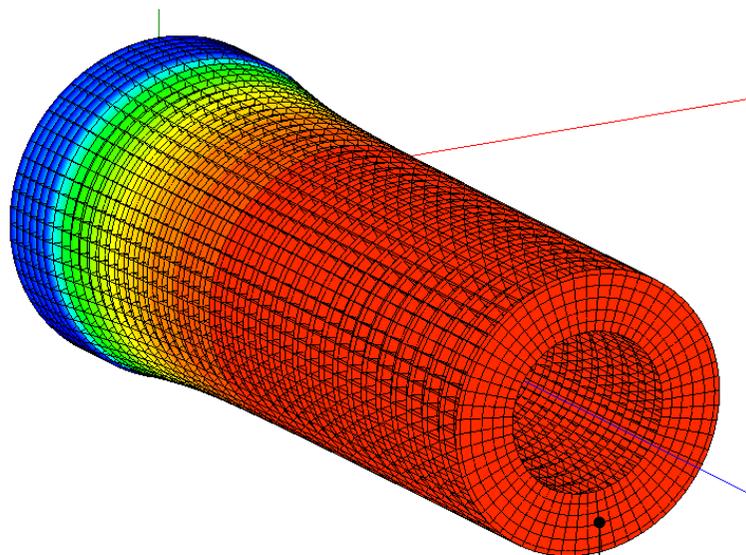
12cm³/sec(低流量)と30cm³/sec(高流量)の2条件で解析を行いました。

解析結果1(低流量): 順解析

解析条件: 樹脂流量: 12cm³/sec
 芯材の移動速度: 2.0 cm/s

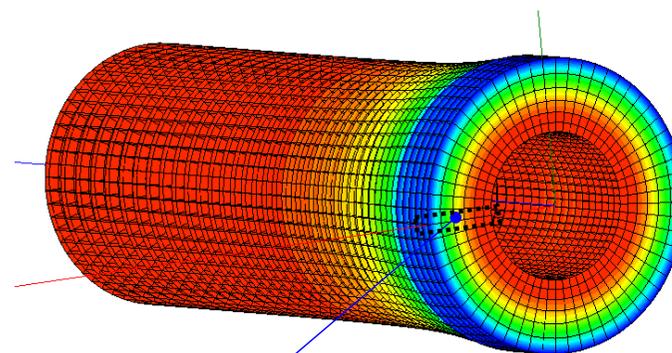
当条件では、インサート金属の移動に伴う牽引流れが支配的となり、樹脂成形品はダイ流出後に縮小する傾向を示しました。

○流速分布 (cm/s)

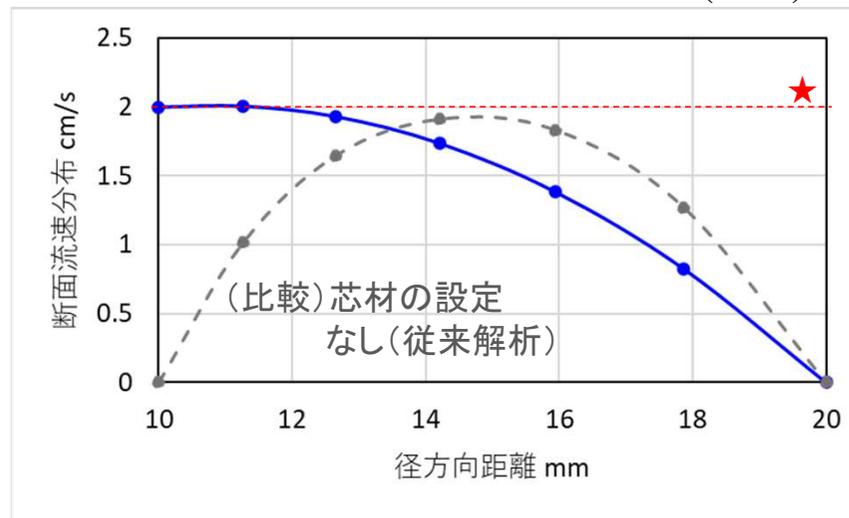


押出物先端の速度:
2.0cm/s 一定(★)

2.008
1.924
1.841
1.757
1.673
1.590
1.506
1.422
1.339
1.255
1.171
1.088
1.004
0.920
0.837
0.753
0.669
0.586
0.502
0.418
0.335
0.251
0.167
0.084
0.000



○ダイ流出断面(径方向)の流速分布(cm/s)

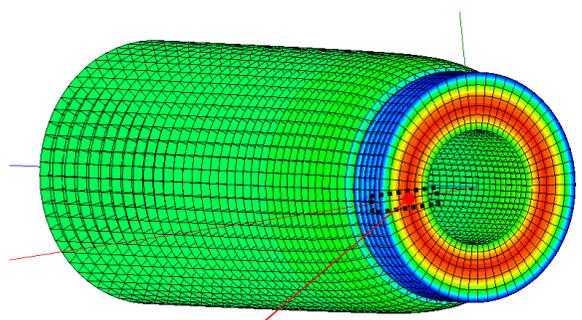
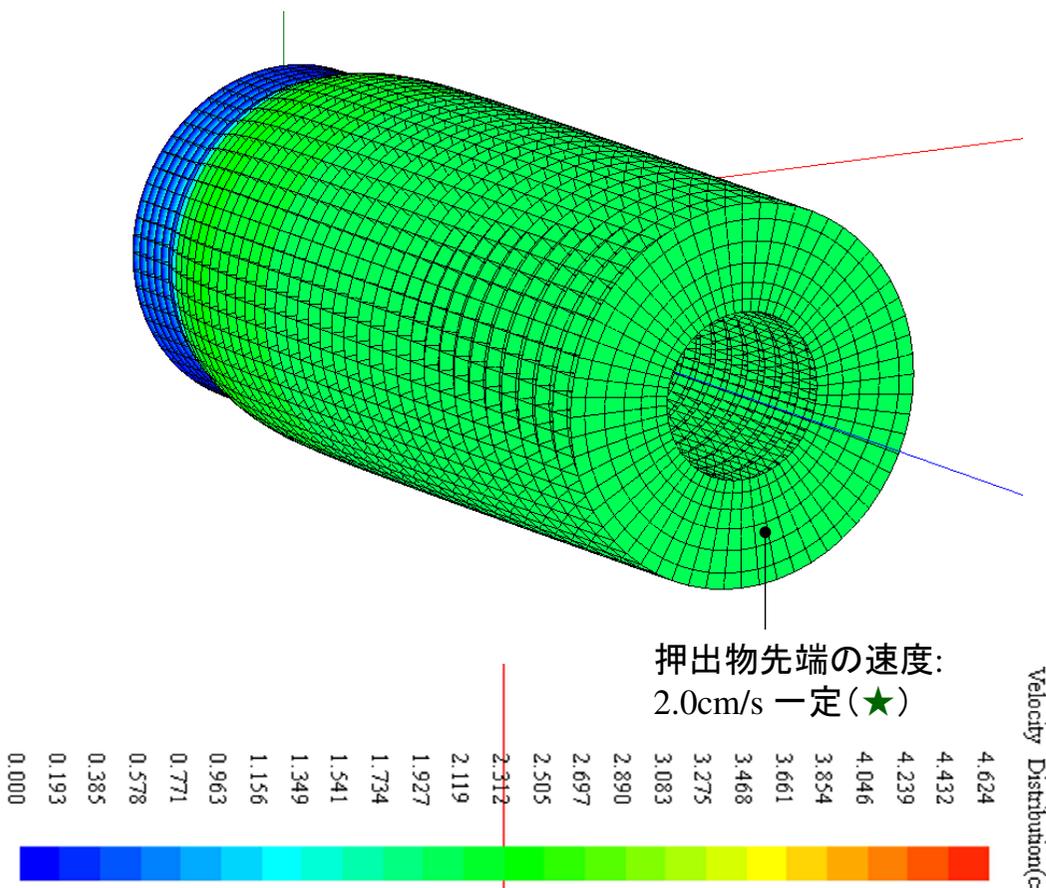


解析結果2(高流量): 順解析

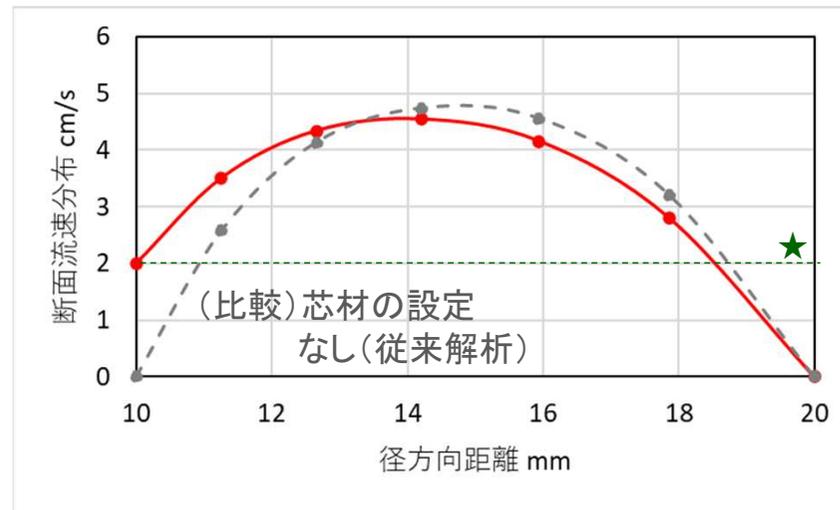
解析条件: 樹脂流量: 30cm³/sec
 芯材の移動速度: 2.0 cm/s

当条件では, 樹脂流動が支配的となり, 芯材が樹脂流動を減速させる方向に働くため, 樹脂材はダイ流出後に膨張(スウェル)する傾向を示しました

○流速分布 (cm/s)

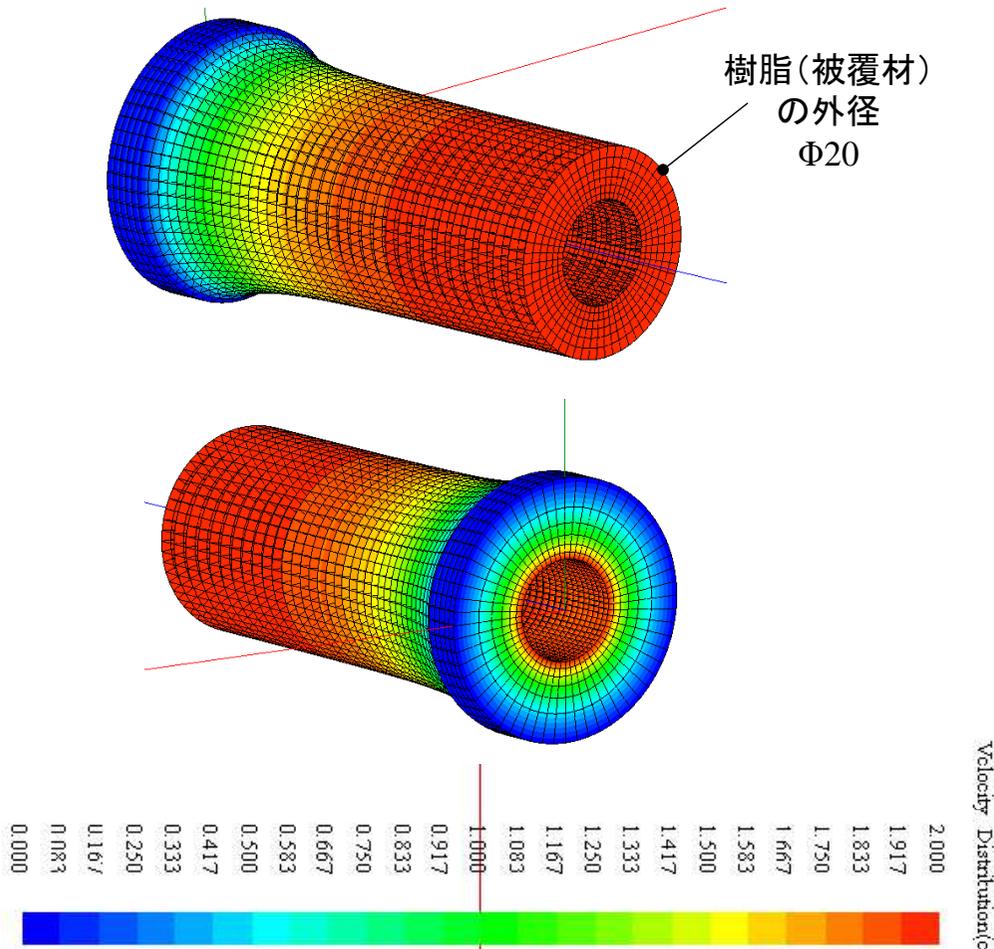


○ダイ流出断面(径方向)の流速分布(cm/s)

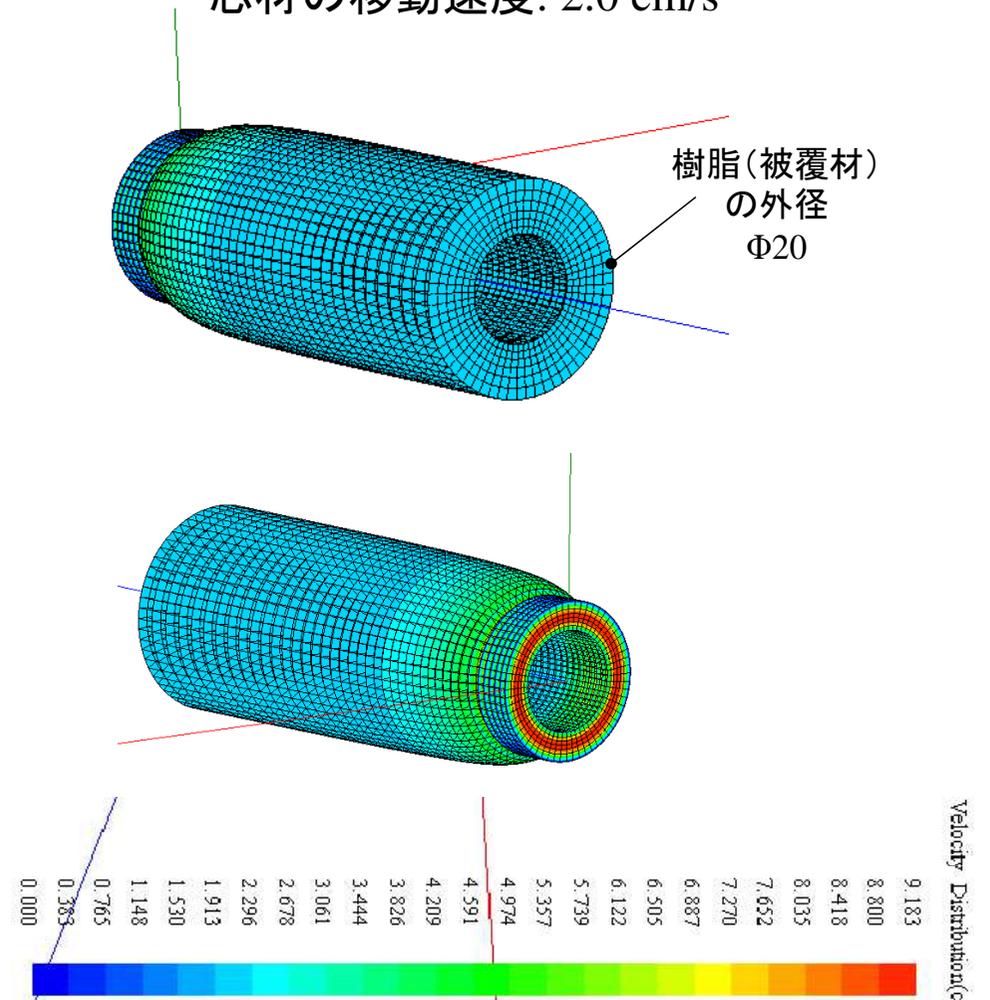


・解析結果1(低流量), 2(高流量): 逆解析

解析条件: 樹脂流量: 12cm³/sec
 芯材の移動速度: 2.0 cm/s



解析条件: 樹脂流量: 30cm³/sec
 芯材の移動速度: 2.0 cm/s



MultiProfileSimulator Ver.10.0.0 改良成果

(3) 自由表面領域の溶融粘度設定機能 (No-flow温度)

当機能では、溶融温度未満の解析領域を粘性流体で表現することによる計算異常を避けるため、粘性流体と見なせない最低温度(No-flow温度)を設定する項目を追加しました。

【使用方法】

MultiProfile Calculationform

計算コントロールデータファイル名
MPSsample_free20_noflow 読込

パス名
I#2022バージョンアップ#FS3D#Ver10testsample#Mu

メッシュデータファイル
MPSsample 選択

物性データファイル
HDPE_B1

新規作成 読込 多層物性設定

計算コントロールパラメータ

反復計算パラメータ

非線形反復計算回数
20

ファイル出力間隔
999

自由表面計算緩和係数
0.1

ALE勾配限界
10

粘度計算緩和係数
1

No-flow 温度
100

非定常計算パラメータ

非定常計算サイクル数
1

計算時間刻み
0.1

流動計算コール間隔
0

ファイル出力間隔
999

モデル次元
 2D 2.5D 3D
 Axisymmetric

新規追加された、No-flow温度欄に設定された温度(°C)以下の領域では、溶融粘度はNo-flow温度のフローカーブにしたがって決定されます。(デフォルト値 30°C)

温度計算の収束性が悪い場合には、本項の係数を1以下にすることによって収束性が改善する方向に働きます。(デフォルト値1, 0~1の範囲)

(注記) No-flow温度 設定欄の追加に伴い、滑り解析使用時に設定する滑り係数は、異形押出用詳細設定フォームに移動しました。

異形押出用詳細設定

先端流れ条件

自由条件

流速規定条件

延伸率規定条件(平均流速比)
設定値 1.2

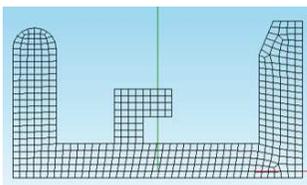
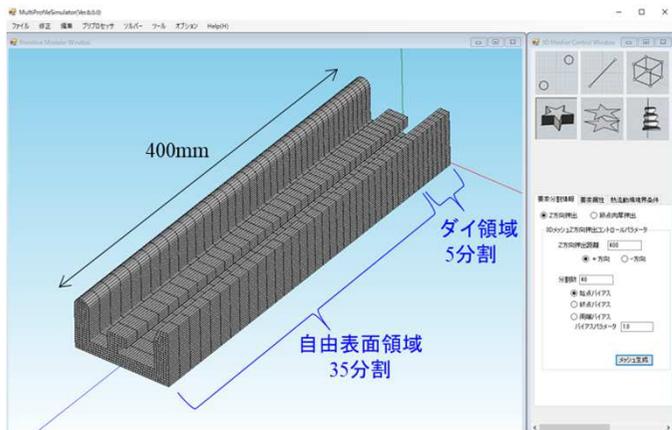
滑り解析: 滑り係数 0.0001

ダイリップの断面形状維持(逆解析)

発泡生成率
0.0

【解析事例】

- ・解析モデル: 3D異形押出モデル
(改良成果(1)と同一)



解析条件(共通)

- ・流量 20 cm³/sec
- ・非線形反復計算回数 20回
- ・温度条件: 右図

温度条件

流入温度 200 °C FlowTetra/ダイ流入温度達成解析
(川解析のみ流速も達成)

壁面境界条件

温度規定 温度規定値 200 °C

熱伝達規定

自由表面境界条件

温度規定 温度規定値 60 °C

熱伝達規定 熱伝達係数 30 W/m²/K

【条件3-1】 No-flow温度 30°C
(デフォルト)

計算コントロールパラメータ

反復計算パラメータ

非線形反復計算回数 20

ファイル出力間隔 999

自由表面計算緩和係数 0.1

ALE勾配限界 10

粘度計算緩和係数 1

No-flow 温度 30

【条件3-2】 No-flow温度 100°C
(変更)

計算コントロールパラメータ

反復計算パラメータ

非線形反復計算回数 20

ファイル出力間隔 999

自由表面計算緩和係数 0.1

ALE勾配限界 10

粘度計算緩和係数 1

No-flow 温度 100

樹脂データ(共通):
HDPE_B1
(データベース)

非線形粘度モデル

Cross

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau}\right)^{1-c}}$$

$$\eta_0 = a \exp\left(\frac{T_b}{T + 273.15}\right)$$

モデルパラメータ

Crossモデル

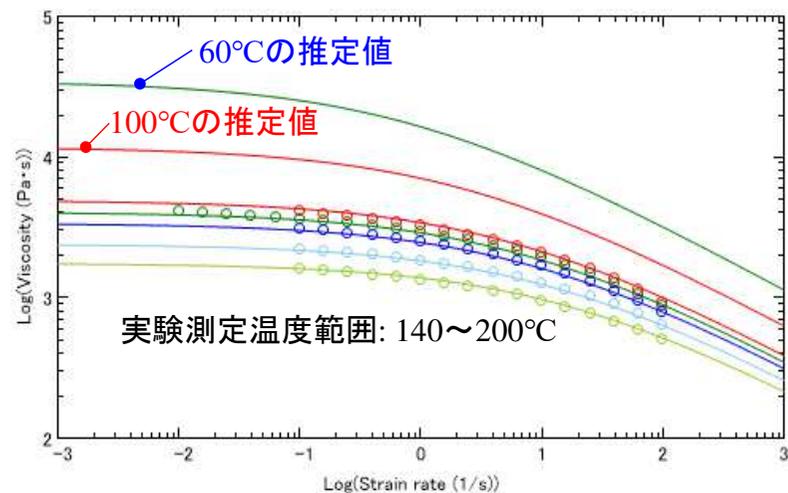
粘度a 1.446942 Pa·s

温度係数Tb 3358.683 K

指数c 0.5249246

臨界せん断応力τc 27779.2 Pa·s

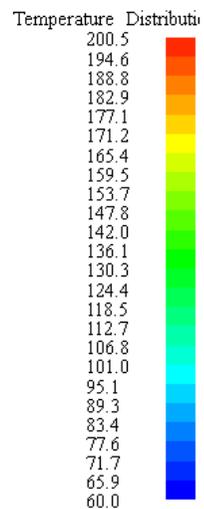
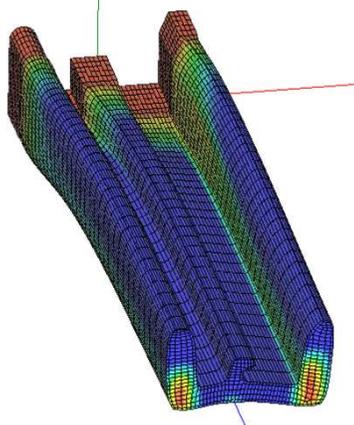
○HDPE_B1 のフローカーブ, Crossモデル/ Materialfit



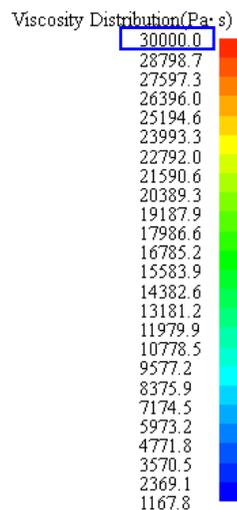
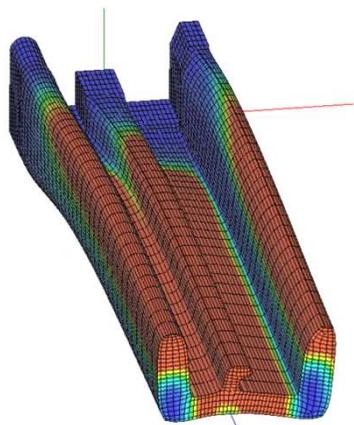
解析結果

【条件3-1】 No-flow温度 30°C(デフォルト)

○温度分布 (°C)

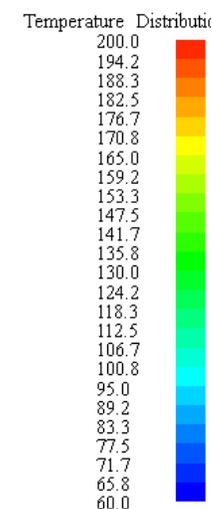
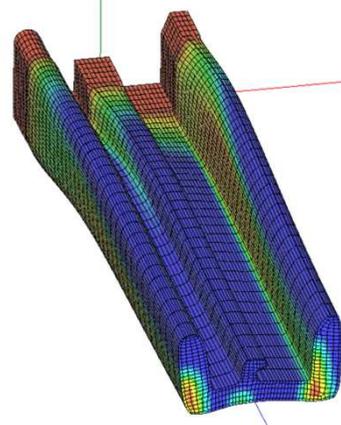


○粘度分布 (Pa·s)



【条件3-2】 No-flow温度 100°C(変更)

○温度分布 (°C)



○粘度分布 (Pa·s)

