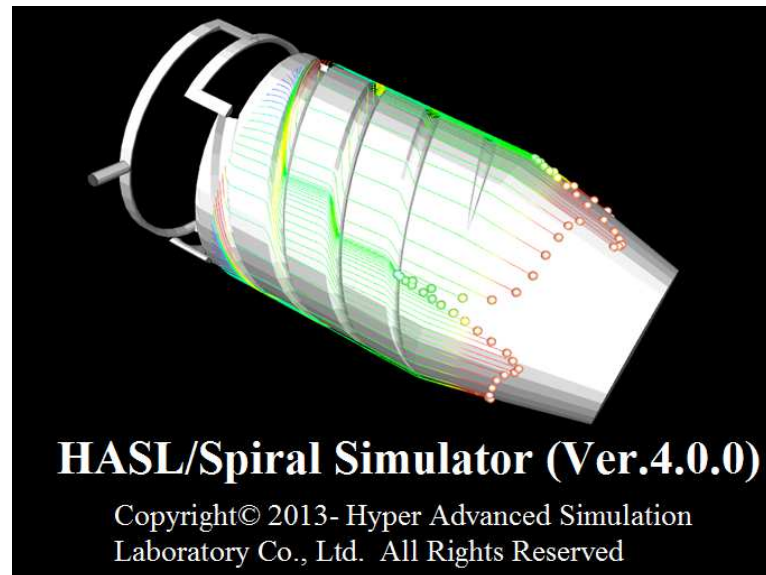


---

# Spiral Simulator(Ver.4.0.0)

## 改良成果資料(発表用ダイジェスト版)



2014/11/21

株式会社HASL

---

本資料では、Spiral Simulator (Ver.4.0.0)の下記改良成果についてご報告します。

- ①Zatloukal-Vleck model フィルムインフレーション解析機能の整備
- ②要素情報編集機能の強化
- ③報告書自動作成機能

---

## ①Zatloukal-Vleck model フィルムインフレーション解析機能の整備

Ver.3.0.0で提案したフィルムインフレーション解析モデル(ZV: Zatloukal-Vleckモデル)の運用性の向上を目的として、当解析モデルに対するプリポストの整備とモデル特性を把握するためのケーススタディに取り組みました。以下にその成果について要約します。

Kolarik等らは、変分原理に基づく数学理論を利用して、下図に示すようなインフレーションブロー成形で問題視される様々な不安定現象を回避するための成形条件を推定しています。

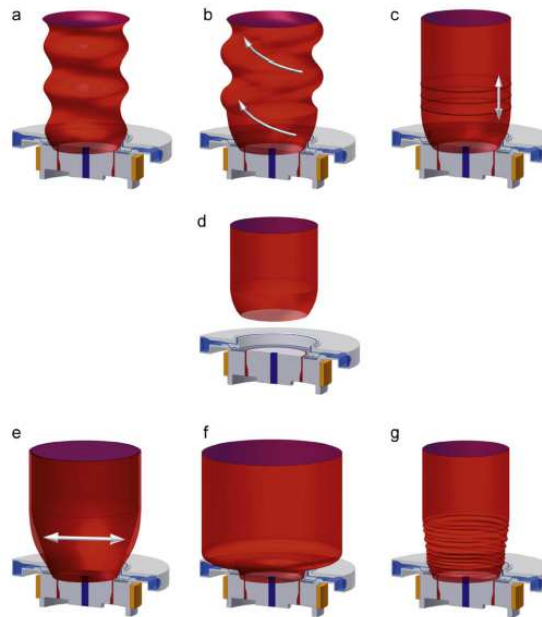


Fig. 2. Different types of bubble instabilities in film blowing process: (a) draw resonance, (b) helical instability, (c) FLH instability, (d) bubble tear, (e) bubble breathing, (f) bubble sag and (g) bubble flutter.

Roman Kolarik, Martin Zatloukal and Costas Tzognakis : ‘Stability analysis of non-isothermal film blowing process for non-Newtonian fluids using variational principles’, *Chemical Engineering Science*, Vol.73,439-453(2012)

---

Kolarik等らが提案する理論によれば、下記無次元パラメータAの絶対値が1以下の条件が安定条件とされています。

Dimensionless key parameter:

$$A = \frac{pJ - R_0}{pJ - B_{up}R_0}$$

ここで、

$p$  : フィルム内部荷重(Pa・m)

$J$  : 膜コンプライアンス(Pa<sup>-1</sup>)

$R_0$  : スパイラルダイ流出断面半径(m)

$B_{up}$  : ブロー比

です。

彼等の理論に基づき、Spiral Simulator(Ver.4.0.0)(以下略称SS)では、安定条件下でのインフレーションフィルムの形態やフィルム肉厚、フィルム速度／温度分布を予測する機能を実装しました。以下に入出力項目を示します。

### 入力項目

Blow up ratio:ブロー比,  
Take up ratio:引き取り比,  
流量(一貫解析の場合、上流側条件と同一),  
流出温度(一貫解析の場合、上流側解析結果の平均値を設定),  
固化温度(フリーズライン位置での温度),  
外気温度,  
ブロー圧力,  
安定化係数(-1以上、1未満)  
フリーズライン長さ(メッシュ生成時に設定)  
ダイ出口の形状:口径、クリアランス(メッシュ生成時に設定)

Film blow計算パラメータ

Blowup ratio	2
Take up ratio	20
流量(cc/sec)	100
流出温度(°C)	200
固化温度(°C)	92
インフレーションブロー圧力(Pa)	85
外気温度(°C)	25
安定化係数	-0.95

SpiralDieとの一貫解析

↑  
SS解析タブメニューのフィルムブロー解析情報設定例

### 出力項目

フィルム張力,  
外気／フィルム間熱伝達係数,  
インフレーションブローフィルムの口径／肉厚／温度分布

図1 ZVインフレーション解析モデルの入出力項目

以下に示す解析モデルに対してケーススタディを実施しました。引取比を共通として、ブロー比と安定係数の変化が解析結果に及ぼす影響を検討しています。

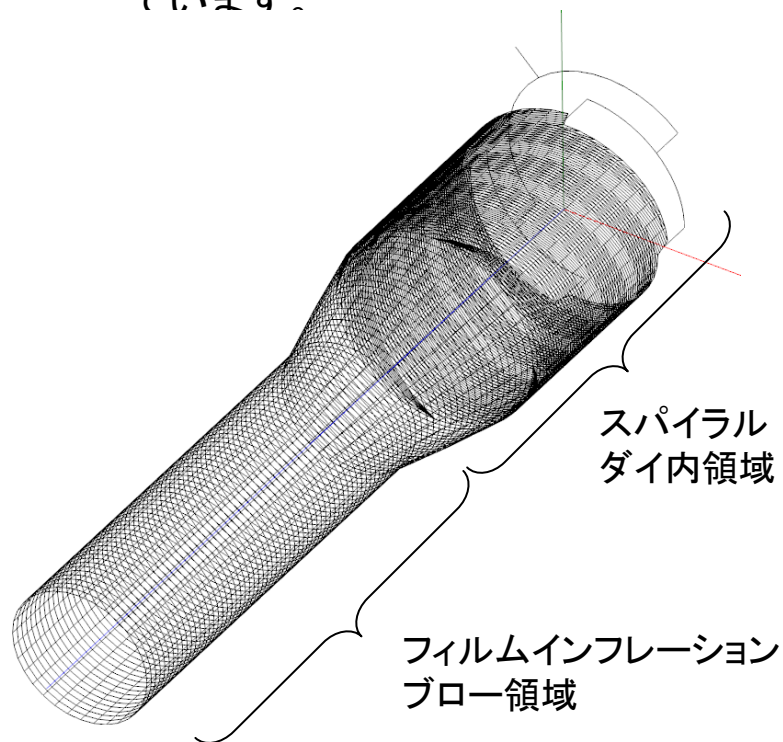
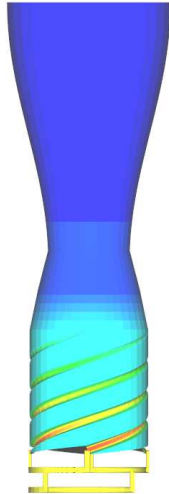


図2 解析モデル

表1 ケーススタディ一覧

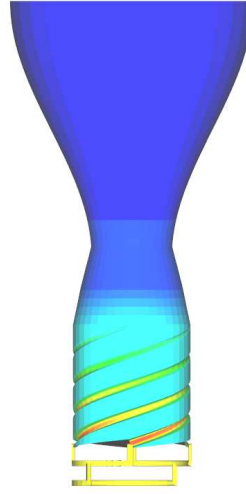
Case	BUR ブロー比	TUR 引取比	A 安定係数
1	2.0	20.0	-0.99
2	3.0		-0.99
3			0.0
4			0.99
5	4.0		-0.99

Min. Thick. 0.063mm



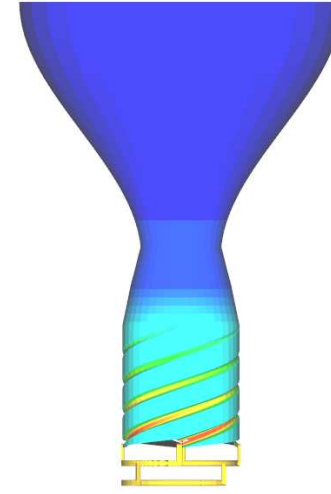
Case1 BUR:2.0

Min. Thick. 0.042mm



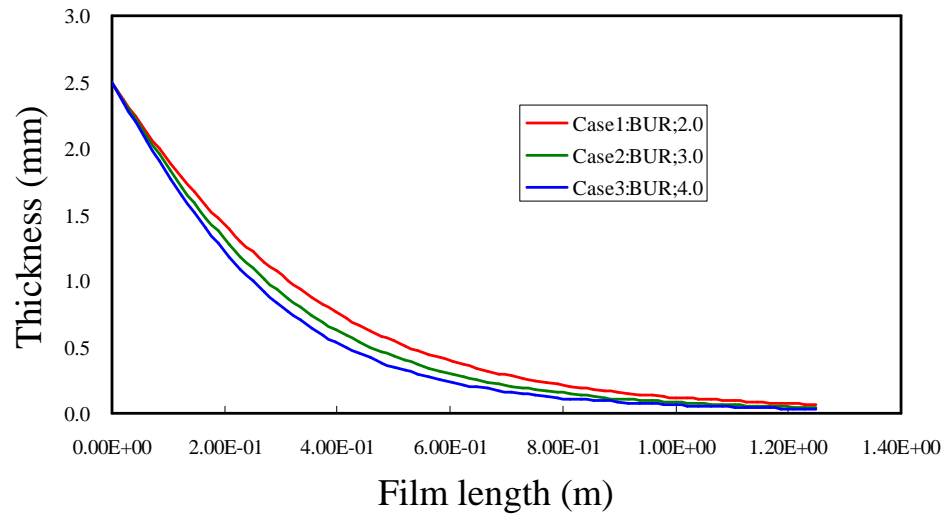
Case2 BUR:3.0

Min. Thick. 0.031mm



Case5 BUR:4.0

Thickness distribution



Case	BUR	F (N)
1	2	4.804
2	3	4.811
5	4	4.816

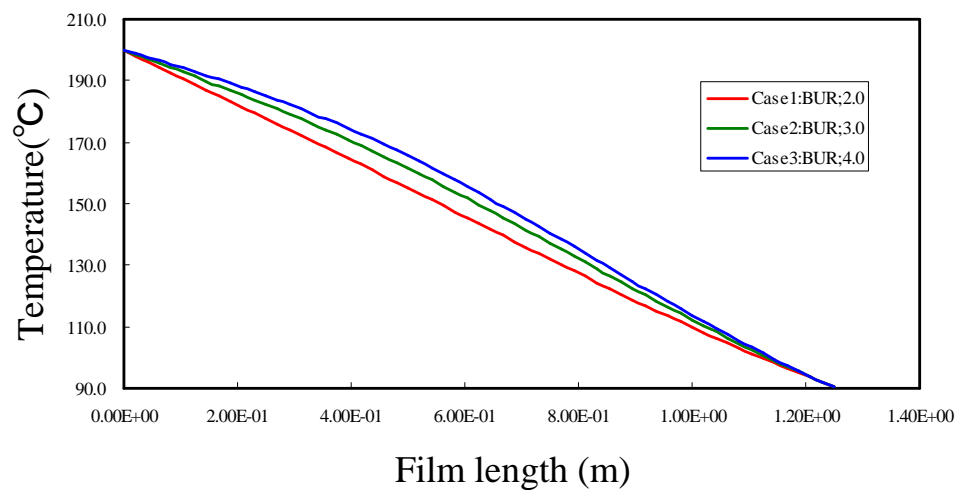
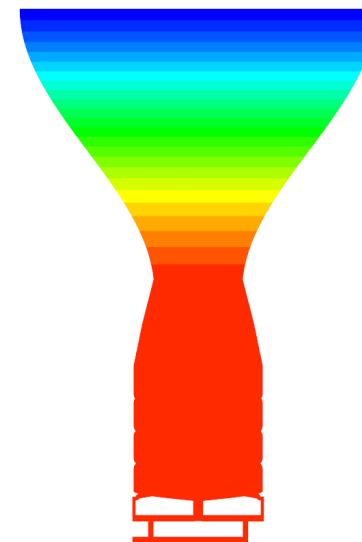
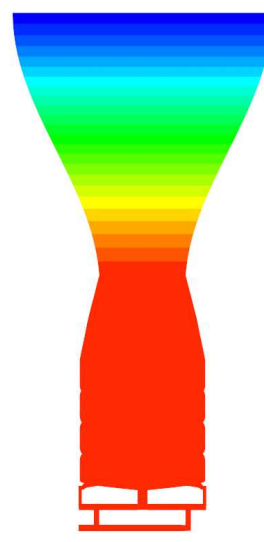
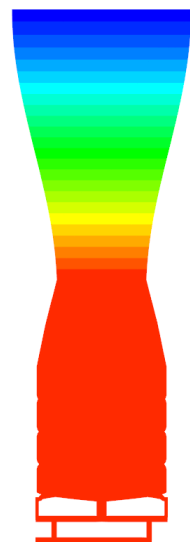
- ・引取率を一定としたため、フィルム先端の肉厚比は、ブロー比逆数の比率と当然一致している。
- ・僅かではあるが、ブロー比を増加させると張力が増加する。

参考: TURを20から30に増加させると張力は5.46Nに増加。

図3 ブロー比が肉厚分布とフィルム張力に与える影響の検討結果



Temperature distribution

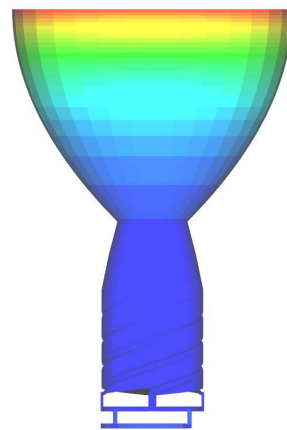
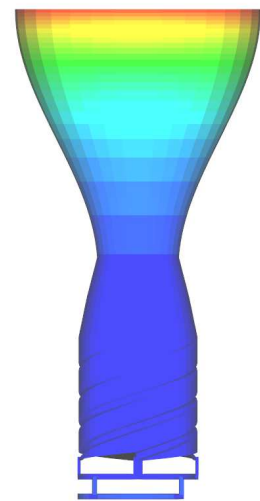


Case	BUR	HTC (W/m <sup>2</sup> /K)
1	2	81.836
2	3	61.749
5	4	49.578

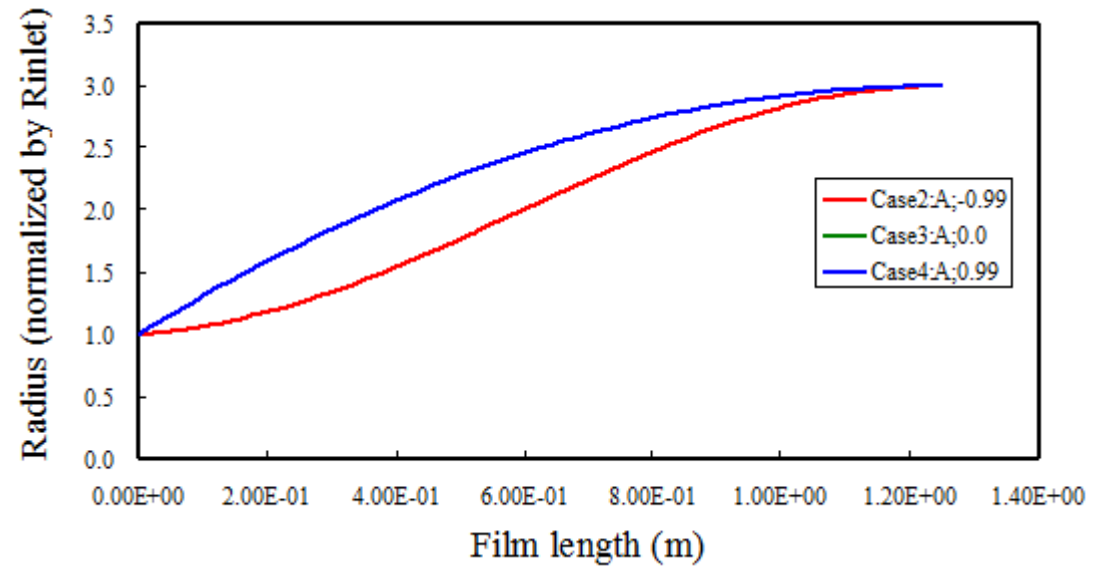
・フリーズライン位置でのフィルム温度(92°C)を共通としたため、ブロー比を増加させると表面積が増加することで外気の冷却を受け易くなるため、熱伝達係数は見かけ上減少する。

図4 ブロー比が温度分布と熱伝達係数に与える影響の検討結果

Max. Vel. 63.267 cm/s



Velocity distribution



Case3,4の口径分布の差は僅かです。Case2,3の比較から安定係数Aを負に設定すると変極点が現れてネックイン傾向にあることが解ります。正に設定すると口径分布は、上に凸の単調増加傾向を示します。

図5 安定係数Aがフィルム形態と流速分布に及ぼす影響の検討結果

---

従来のフィルムインフレーションブロー解析機能は、Shooting methodを利用した収束計算を要し、妥当な解を得るための張力やブロー比等の設定が難しいという問題点がありました。今回導入したZV (Zatloukal-Vleck) model は、変分学に立脚した近似モデルの一種であり、運用が容易であるという利点を有します。ZVモデルの長所や特長について以下に要約します。

- 1)ブロー比や引取比、フリーズライン長さ、流量等の実際の運用で設定される基本情報を利用して解析が可能です。
- 2) フリーズライン位置における固化温度を指定することで、測定の難しいフィルム／外気間の熱伝達係数が逆に推定されます。
- 3)引取比を満足するように張力が計算されます。

## ②要素情報編集機能の強化

基本形状の解析モデルを利用し、MD方向の口径／肉厚分布を自在に変更することが可能な要素情報の編集機能を実装しました。当機能は、展開モデルの2.5Dメッシュ加工の修正フォームに追加された分布設定オプションボタンを押すことで呼び出されます。ポップアップ表示されるフォームで口径／肉厚分布を区分線形補間情報で定義します。

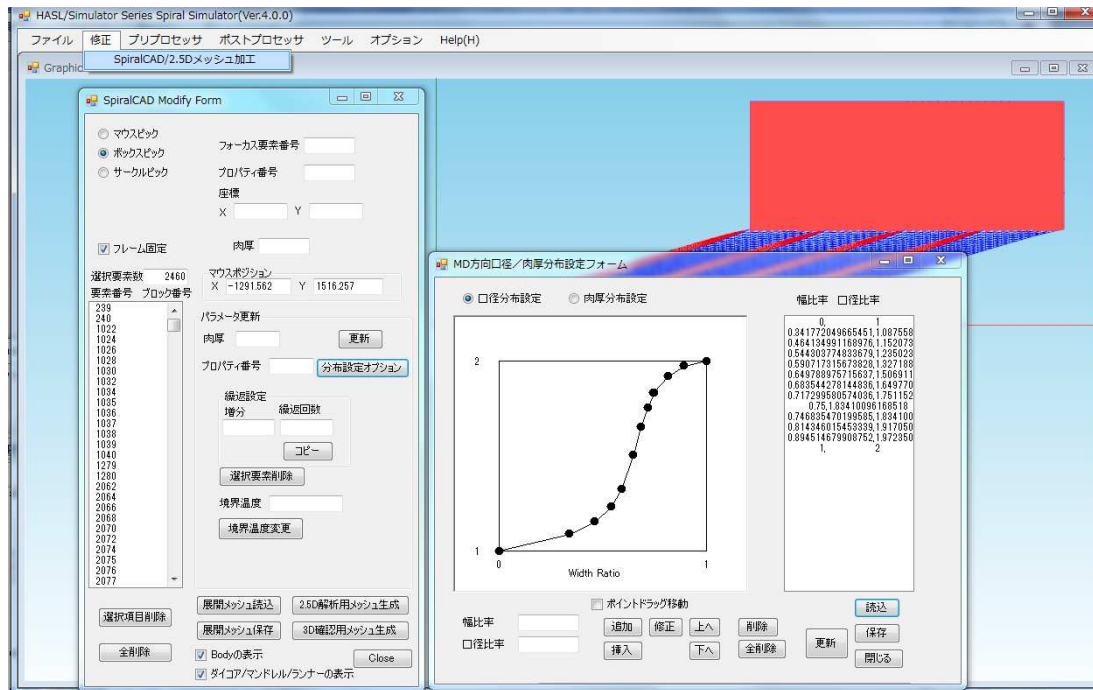


図6 MD方向口径／肉厚分布の任意設定機能

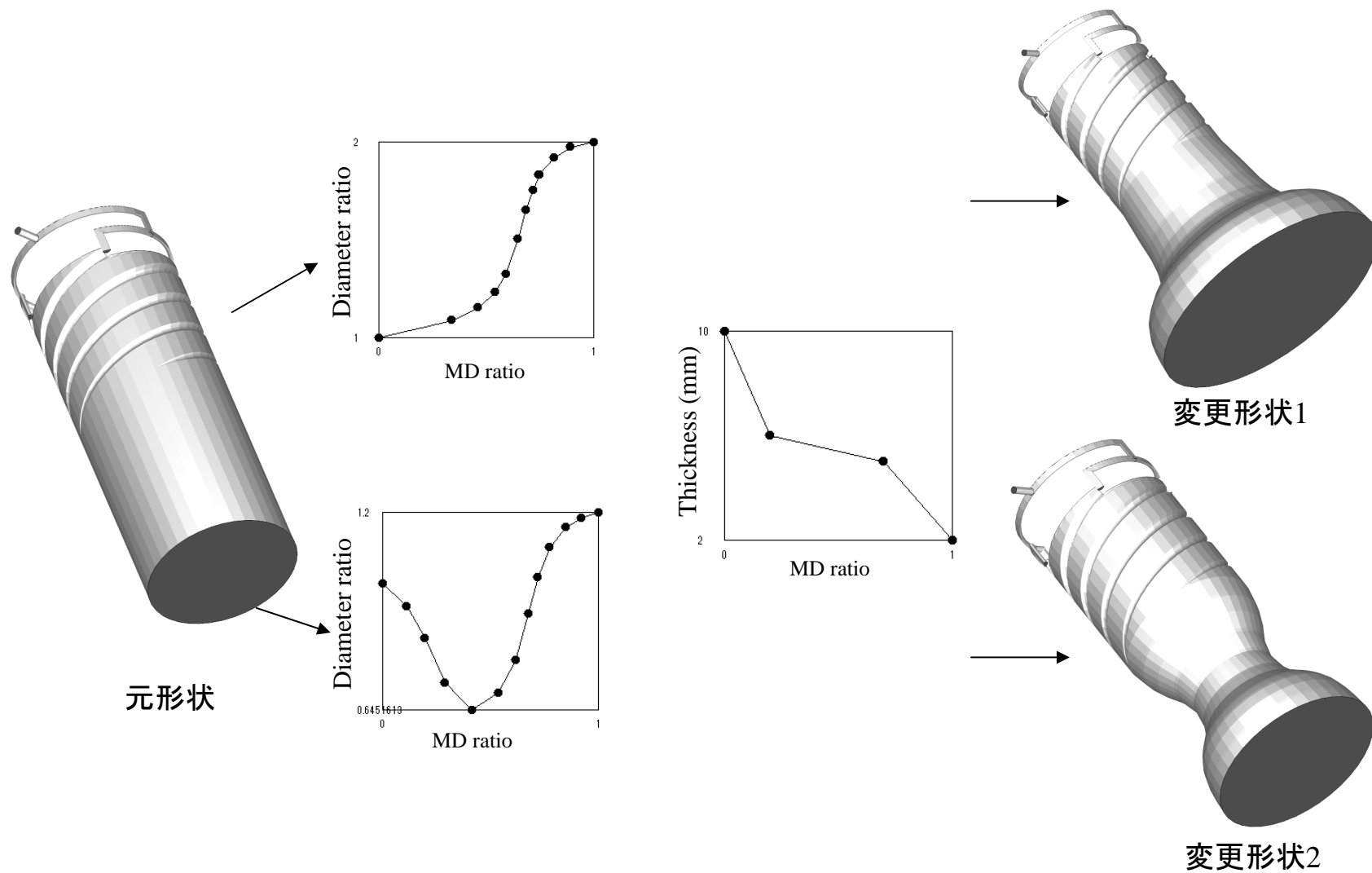
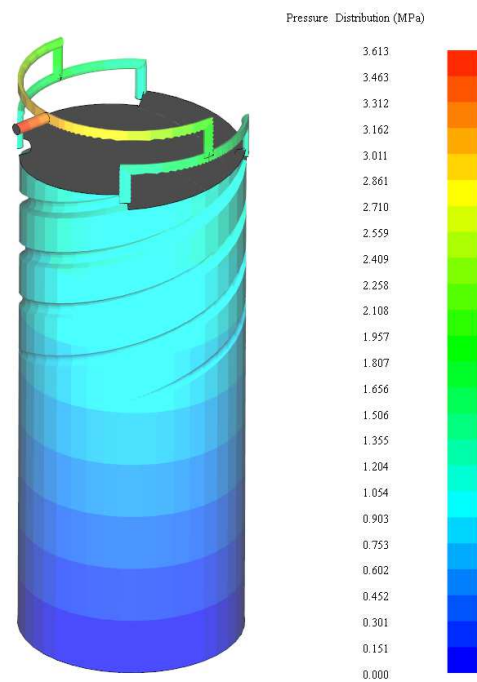


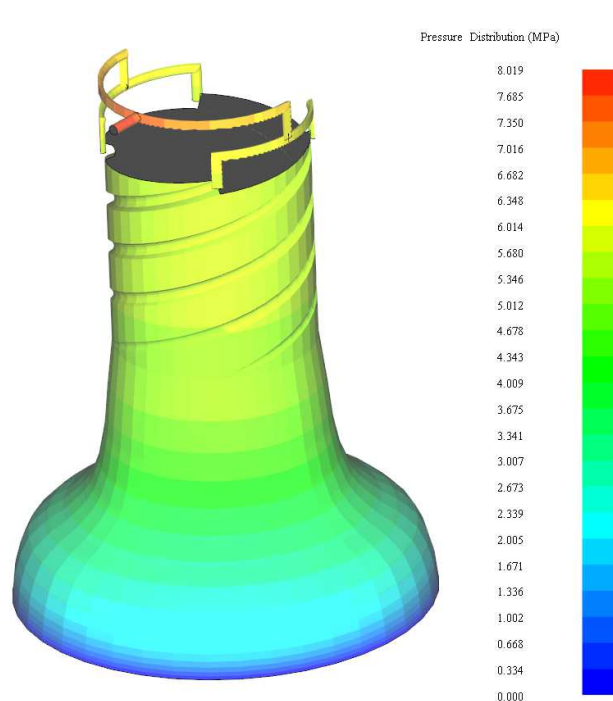
図7 MD方向口径／肉厚分布設定機能の適用例

Max. Press.:3.613MPa



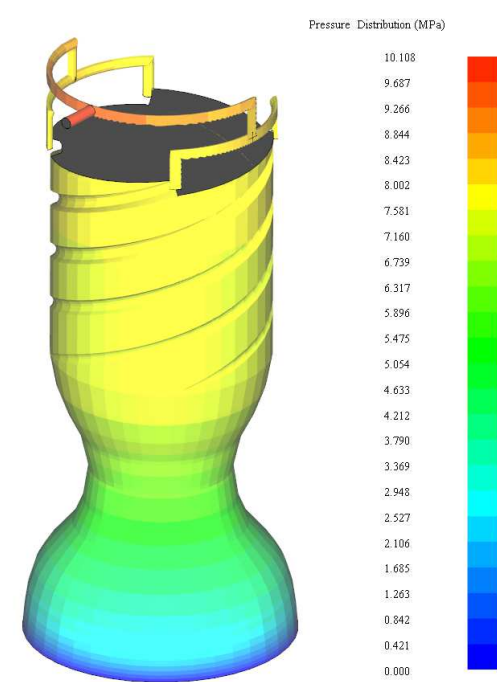
元形状

Max. Press.:8.019MPa



変更形状1

Max. Press.:10.108MPa



変更形状2

図8 MD方向口径／肉厚分布設定機能を利用したテスト解析結果(圧力分布の比較)

### ③自動報告書作成機能

解析者がポスト処理を行った際に作画した各種情報を利用し、解析報告書を自動的に作成する機能を実装しました。

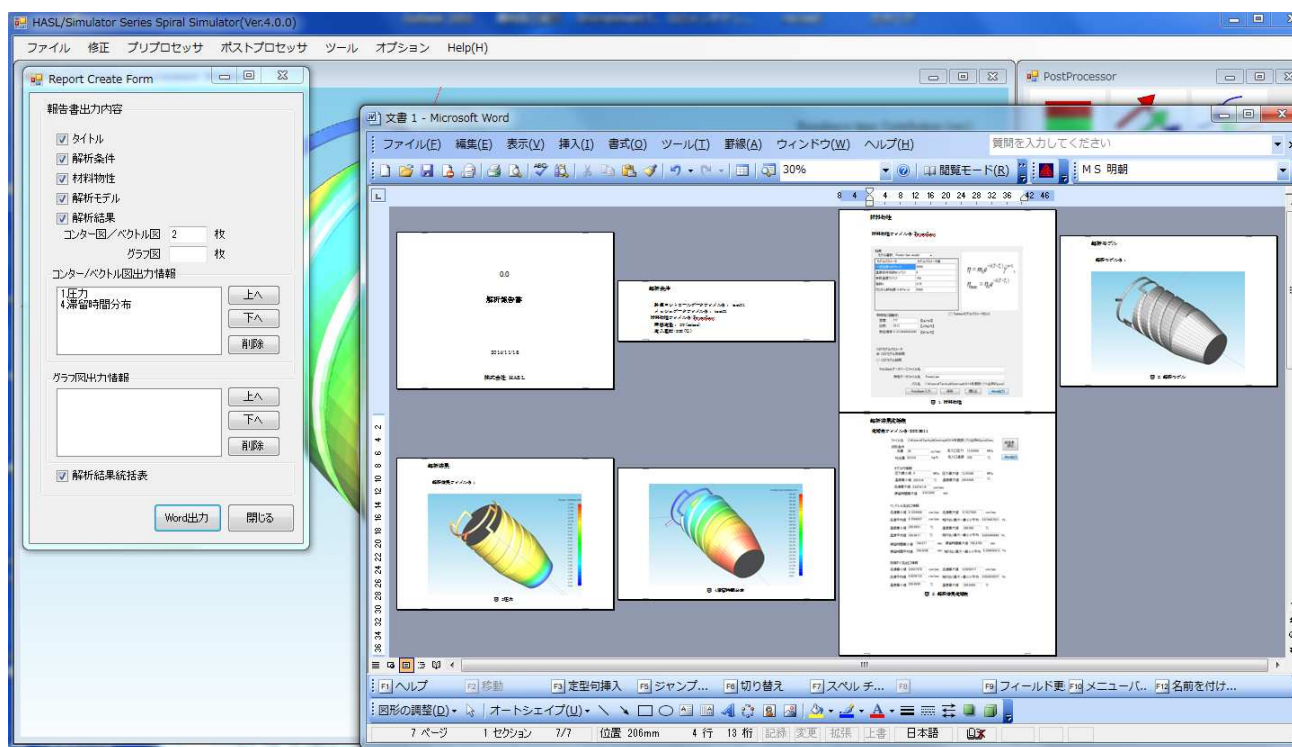


図9 解析結果の自動報告書作成機能



---

## 改良成果：

- ・ZV(Zatloukal-Vleck model)モデルの導入に伴い、従来、運用が難しかったフィルムインフレーションブローの解析機能が容易に運用可能になりました。
- ・要素編集機能を強化し、選択した領域のMD方向に対する口径／肉厚分布を自在に変更可能になりました。
- ・報告書を効率的に作成可能な自動報告書作成機能を実装しました。

## 今後の課題：

- ・最適化技術の実装(マンドレル形状、物性、成形条件、etc.を変化させた自動感度解析機能)
- ・伸長粘度特性を表現可能な非ニュートン純粘性モデルのフィルムインフレーションブロー解析モデルへの組み込み(現状、上流側と同じ粘度モデルを利用しています)