
HyperBLow(Ver.3.0.0)

改良成果資料(発表用ダイジェスト版)



2015/11/25

株式会社HASL

本資料では、HyperBlow (Ver.3.0.0)の下記改良成果についてご報告します。

- ① 滑り解析機能の実装
- ② 肉厚最適化機能の実装
- ③ Super Matrix Solver Multi Frontalの導入

① 滑り解析機能の実装

当機能は、ブロー/熱成形素材と金型間の滑りを定量化する機能です。従来、金型と接触した成形素材は、固着として取り扱っていましたが、当機能を利用することにより、隣接未接触の成形素材の張力を受けて、接触部が金型面に沿って運動する挙動を評価可能です。ブロー成形品のコーナー部や熱成形におけるプランジャー接触部に観察される高延伸時の成形素材の変形挙動がより現実的に捉えられます。

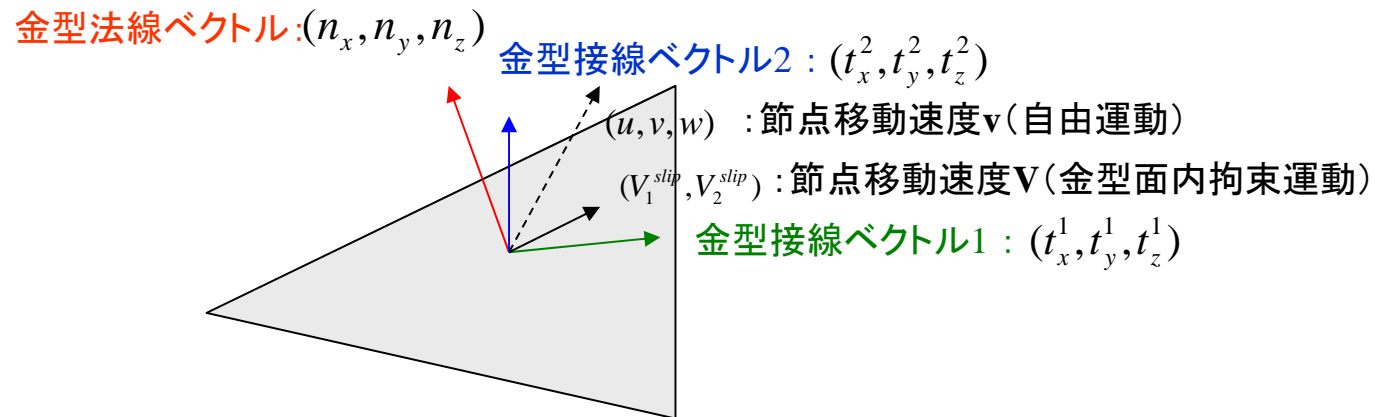


図1 金型壁面上に拘束される節点運動

滑り定量化モデル:

Coulomb Friction Model

$$F_f = \mu_k F_n$$

F_f : 金型接触面の接線方向に作用する摩擦力,

μ_k : 動摩擦係数,

F_n : 金型接触面に垂直に作用する抗力

滑り運動の解析法(Multi Profile Simulatorの滑り流れの解析法と類似)

1)金型面の法線方向と2つの接線方向ベクトルを利用して、デカルト座標系内流速ベクトルを金型面内ベクトルに変換

$$\mathbf{rv} = \begin{pmatrix} t_x^1 & t_y^1 & t_z^1 \\ t_x^2 & t_y^2 & t_z^2 \\ n_x & n_y & n_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1^{slip} \\ V_2^{slip} \\ 0 \end{pmatrix}$$

2)有限要素離散化方程式の係数行列、未知量ベクトル、荷重ベクトルに以下の変換を施す。

$$\mathbf{Av} = \mathbf{B} \quad \Rightarrow \quad (\mathbf{RAR}^T)\mathbf{Rv} = \mathbf{RB},$$
$$\mathbf{A}'\mathbf{v}' = \mathbf{B}'$$

3) Aが対称行列であれば、A'も対称行列になる。v'に含まれる滑り節点未知量の第3成分は、金型法線方向の速度成分となり、0に拘束して未知量から省く。B'に含まれる滑り節点の荷重ベクトルの第1、第2成分は、接線方向作用する応力、第3成分は抗力を表す。Coulomb friction modelに従って、第3成分の抗力と動摩擦係数で評価される摩擦係数を接線方向の応力になる第1,2成分に反映させる。

滑り定量化の為の実装機能

1) 境界条件/滑り条件設定機能

成形素材に対する境界条件と滑り条件を設定する機能を新規に実装しました。当機能を利用して、滑り条件を課せる節点やクランプ(変形拘束)する節点を選択します。

成形素材を作成後、あるいは成形素材をインポート後にメインメニュー/ツールのプルダウンメニューで境界条件設定を選択します。

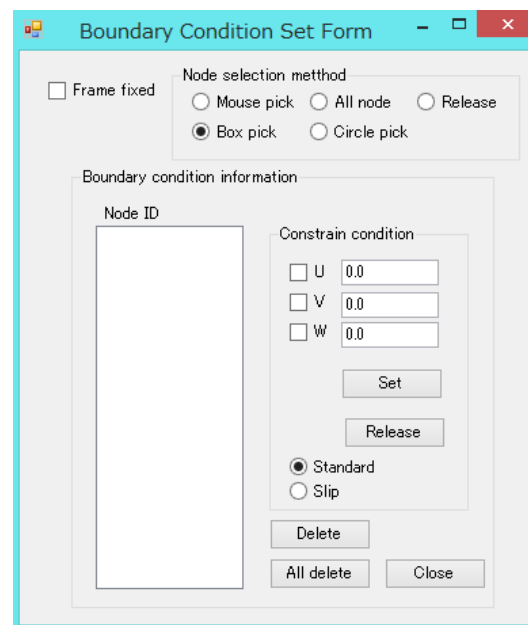
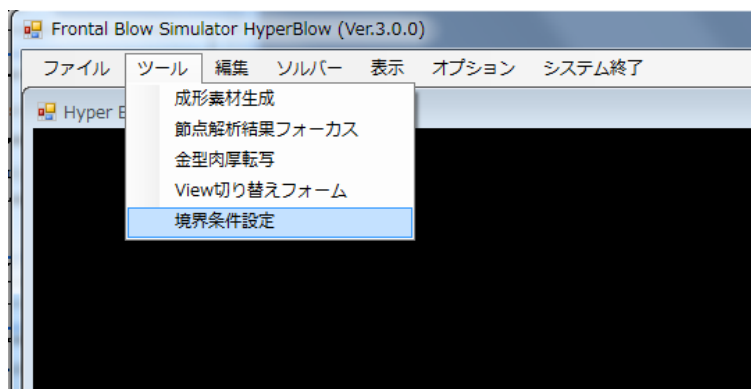
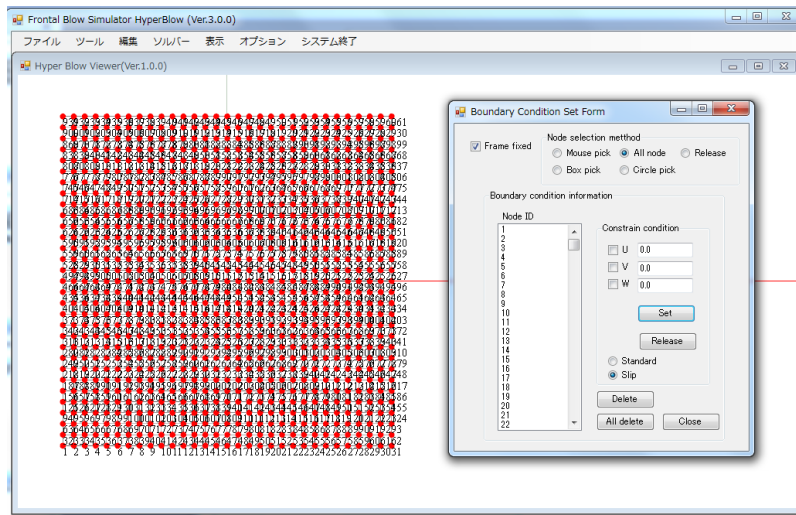
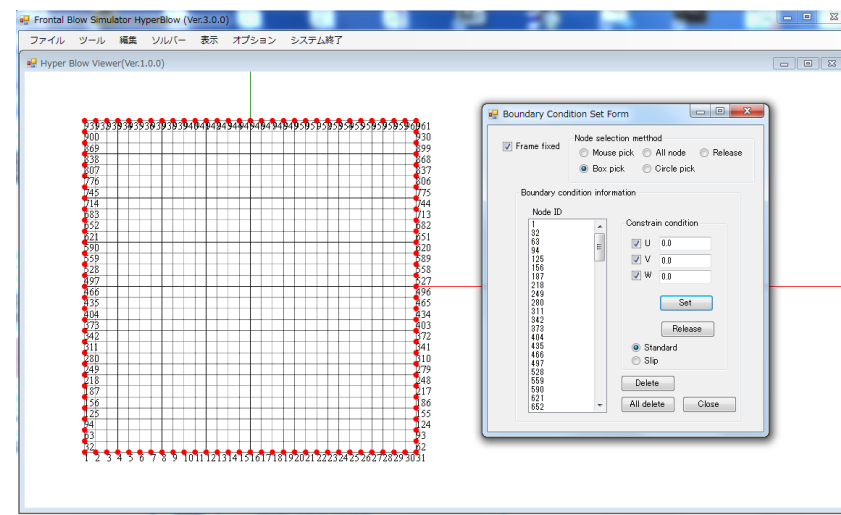


図2 新規実装された境界条件設定フォーム



全節点を選択し、Slipラジオボタンに切り替えて滑り条件を設定。



エッジランク部の節点を選択し、Standardラジオボタンに切り替えて滑り無し条件を設定。
(u,v,w)を0に設定。

図3 境界条件設定例

2) 金型節点のマージ機能

滑り節点は、金型壁面に接触した後、金型壁面の構成要素上に束縛されて運動します。最初に接触した要素より他の要素に移動する可能性があり、その判定のために、金型壁面の構成要素の隣接関係の情報が必要になります。STLファイルで構成される三角形情報は、各々独立しており、隣接関係を有しません。金型壁面の構成要素の隣接情報を得るには、独立した三角形を縫合する必要があります。三角形は、金型節点をマージすることにより縫合可能です。この金型節点のマージ機能を新規に実装しました。

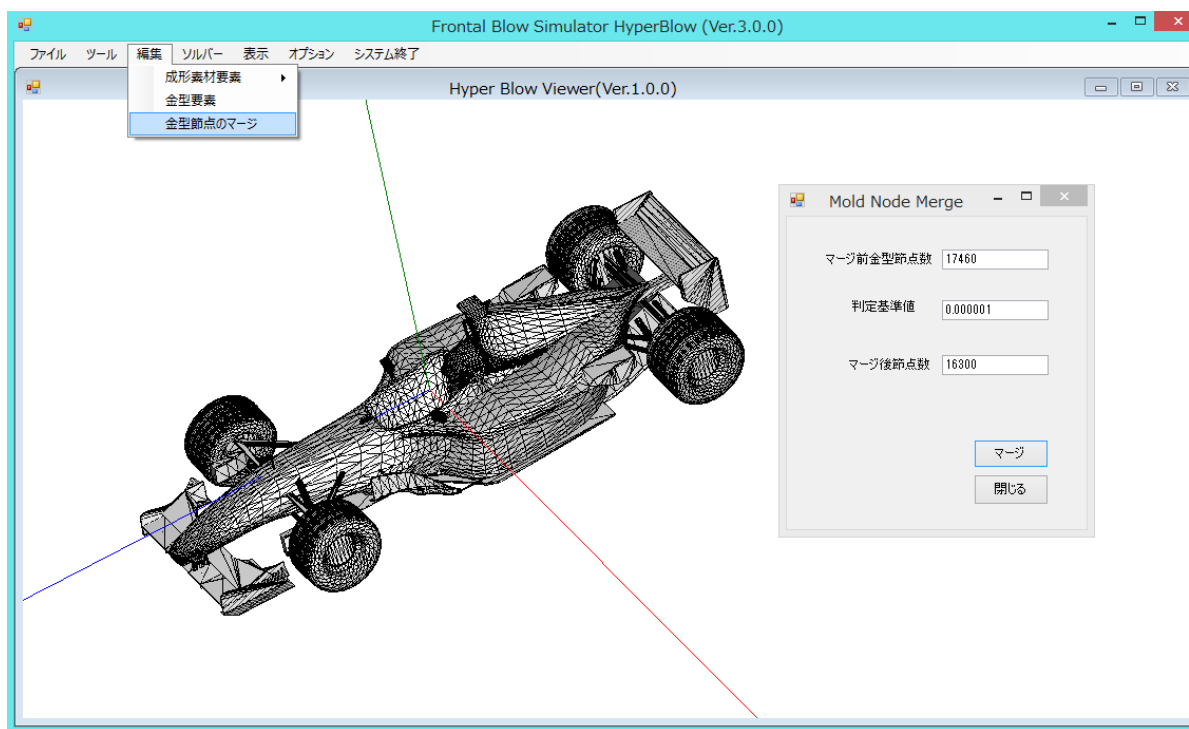


図4 新規実装された境界条件設定フォーム

3) 計算コントロール追加項目

Calculation Control Formに滑りパラメータパネルを追加しました。当パネル内で滑りに関するパラメータを設定します。

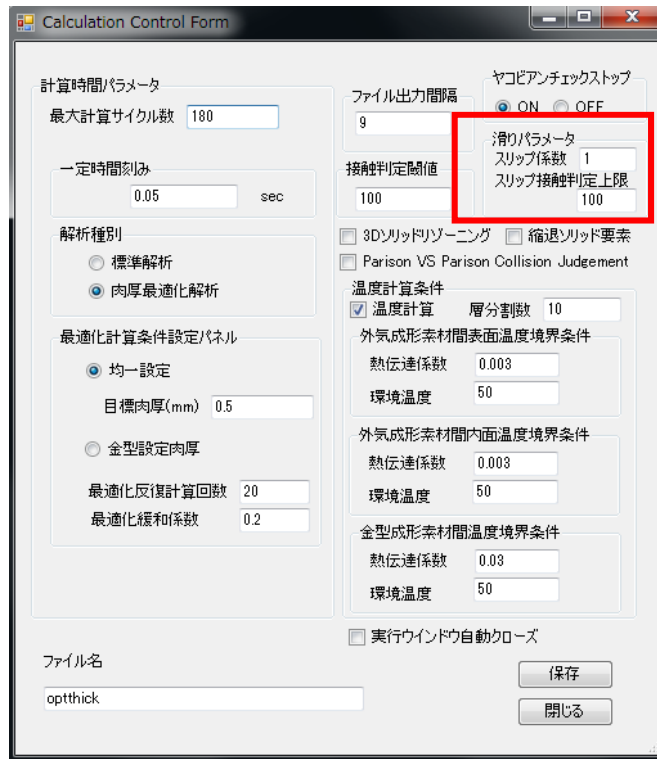


図5 計算コントロールデータに追加された滑り解析用入力パラメータ

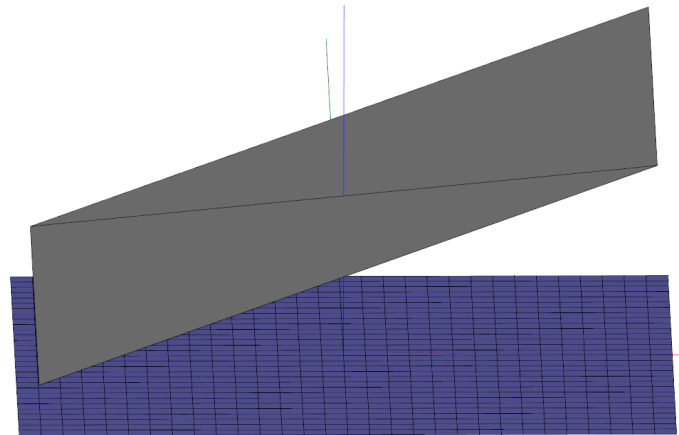
スリップ係数:1.0が動摩擦係数0.0に相当します。即ち、力学的に完全滑り状態に対応します。0.0としても滑りは発生します。この状態は、無応力状態ですが、連続条件によって運動が発生します。1.0より大きい値を設定することで、人工的に滑り効果が高められます。

スリップ接触判定上限:

成形素材の金型接触率が当パラメータの設定値を上回った際に、金型接触の滑り節点を固着拘束条件に切り替えます。クランプを除く、全ての節点を滑り節点とすると、接触率が高まるにつれて、解析が不安定になる場合があります。その不安定性を解消するために設定するパラメータです。100とすると100%接触まで、切り替えは行わないこととなります。解析上は、前述したように成形素材の最終金型接触領域に滑り条件を設定せずに、このパラメータを100に設定する方法を推奨します。

テスト解析

下図に示す単純な解析モデルに対して、滑りの影響について検討しました。



モデル:

Case1 滑りなし(test1nonslip)

Case2 滑り(test1slip(sp1.0))

解析結果

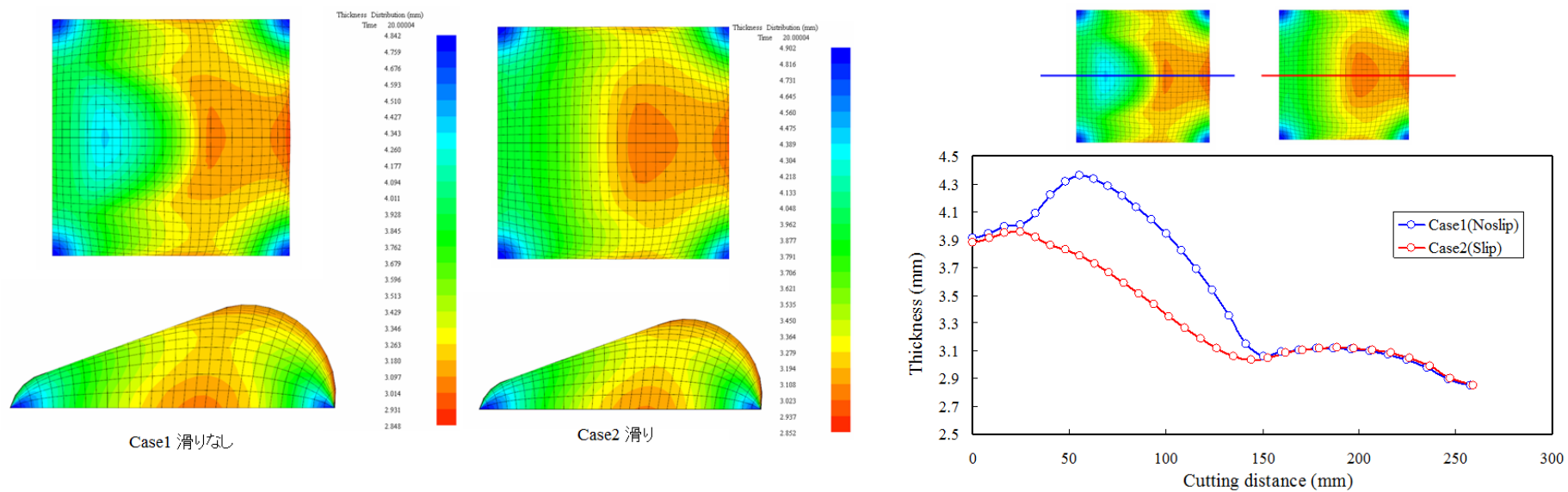


図6 肉厚分布の比較

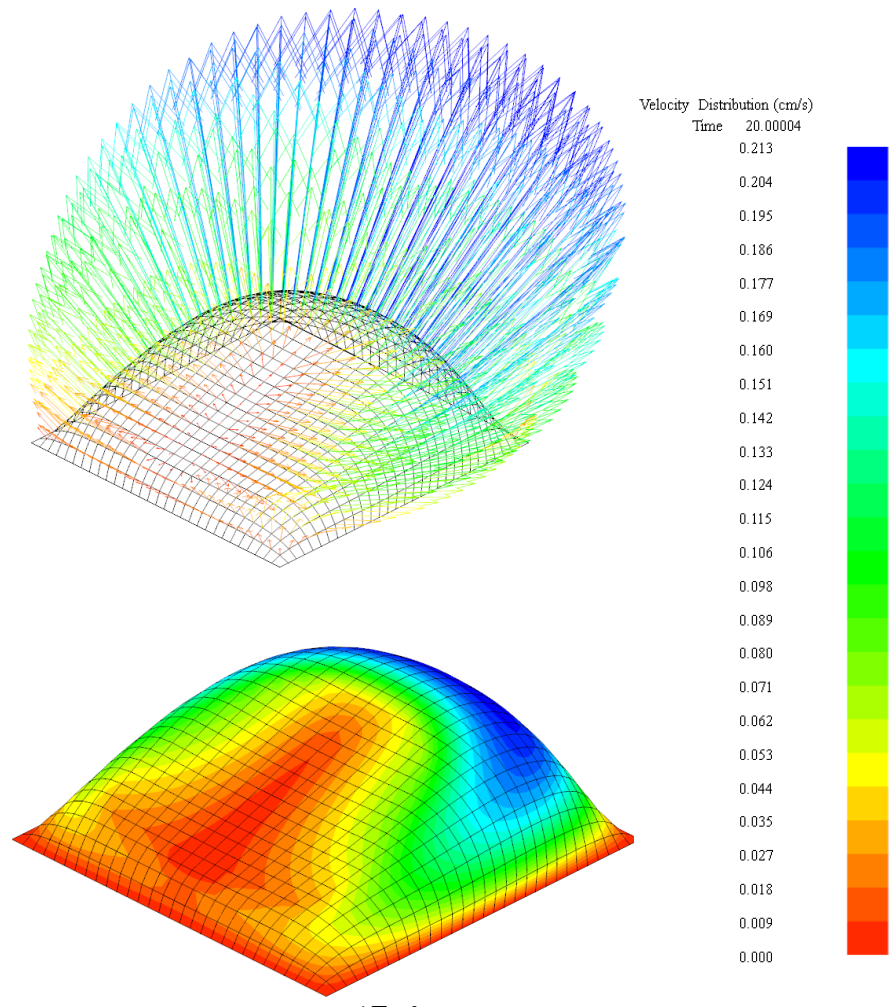
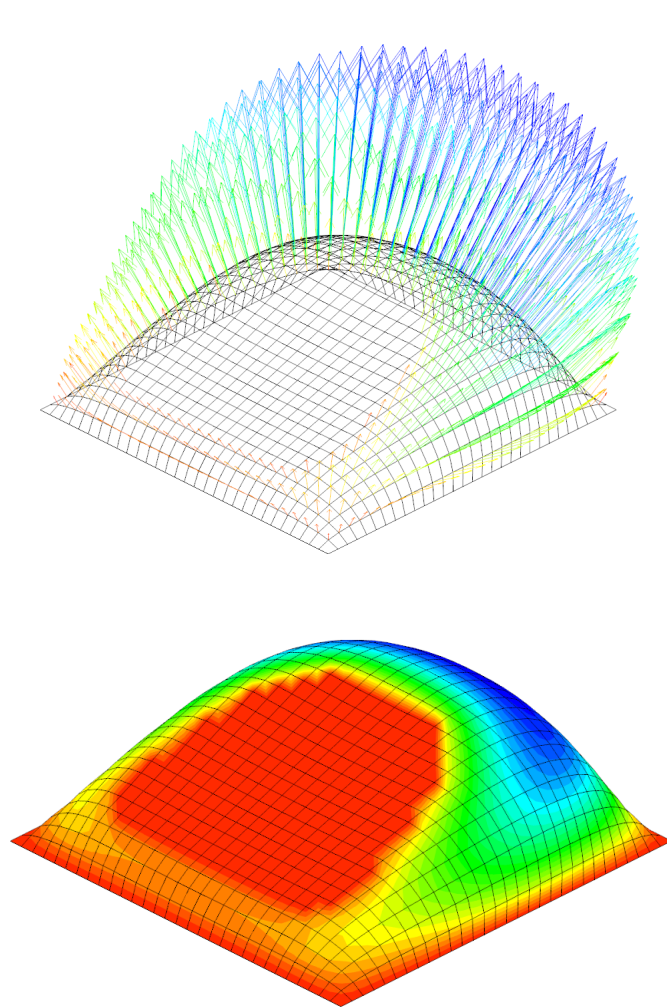


図7 流速ベクトルの比較

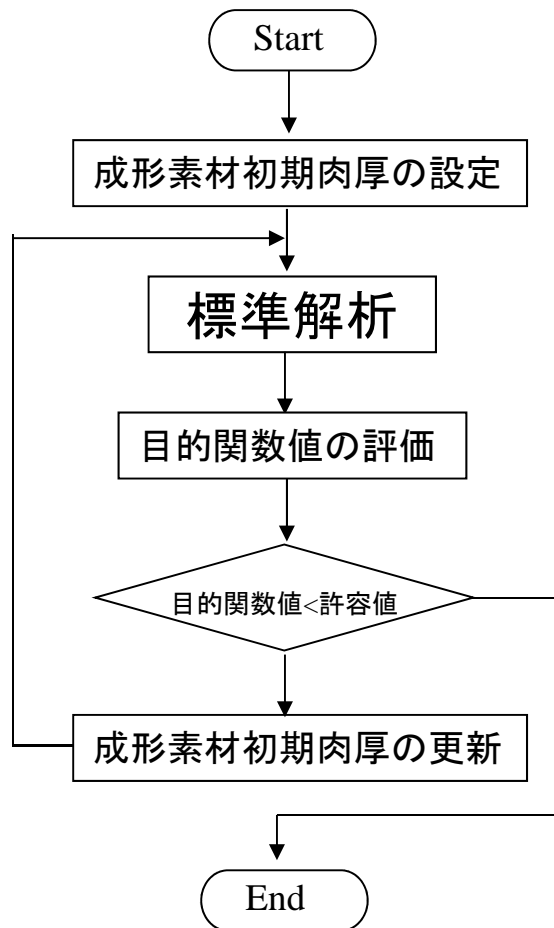
② 肉厚最適化機能の実装

標準解析：
成形素材の初期肉厚を指定して
最終成形品の肉厚を予測

肉厚最適化解析：
最終成形品の肉厚を指定して
成形素材の初期肉厚を予測

図8 計算コントロール設定フォームに追加された解析種別パネルと最適化計算条件設定パネル

肉厚最適化解析法:



$$Thick.initial_e^{n+1} = \omega Thick.new_e + (1 - \omega) Thick.initial_e^n,$$

$$Thick.new_e = \left(\frac{Thick.assign_e}{Thick.cal_e^n} \right) Thick.initial_e^n$$

$Thick.initial_e^n$: 最適化反復計算回数nにおける要素eの初期肉厚,

ω : 最適化反復計算の緩和係数,

$Thick.assign_e$: 要素eの目的(所定)肉厚,

$Thick.cal_e^n$: 最適化反復計算回数nで計算された要素肉厚

図9 肉厚最適化計算アルゴリズム

テスト解析

肉厚最適化解析のテスト問題として、PETボトルの射出ブロー成形プロセスを題材としました。本最適化解析は非線形性が強く、緩和係数を0.2、反復計算数を20に設定しました。成形素材の初期肉厚は5mm均一、最終成形品の所定肉厚は、0.5mm均一を想定しています。当条件下においては、前述の目的関数は、下図に示すように反復計算の増加に伴って単調に減少します。

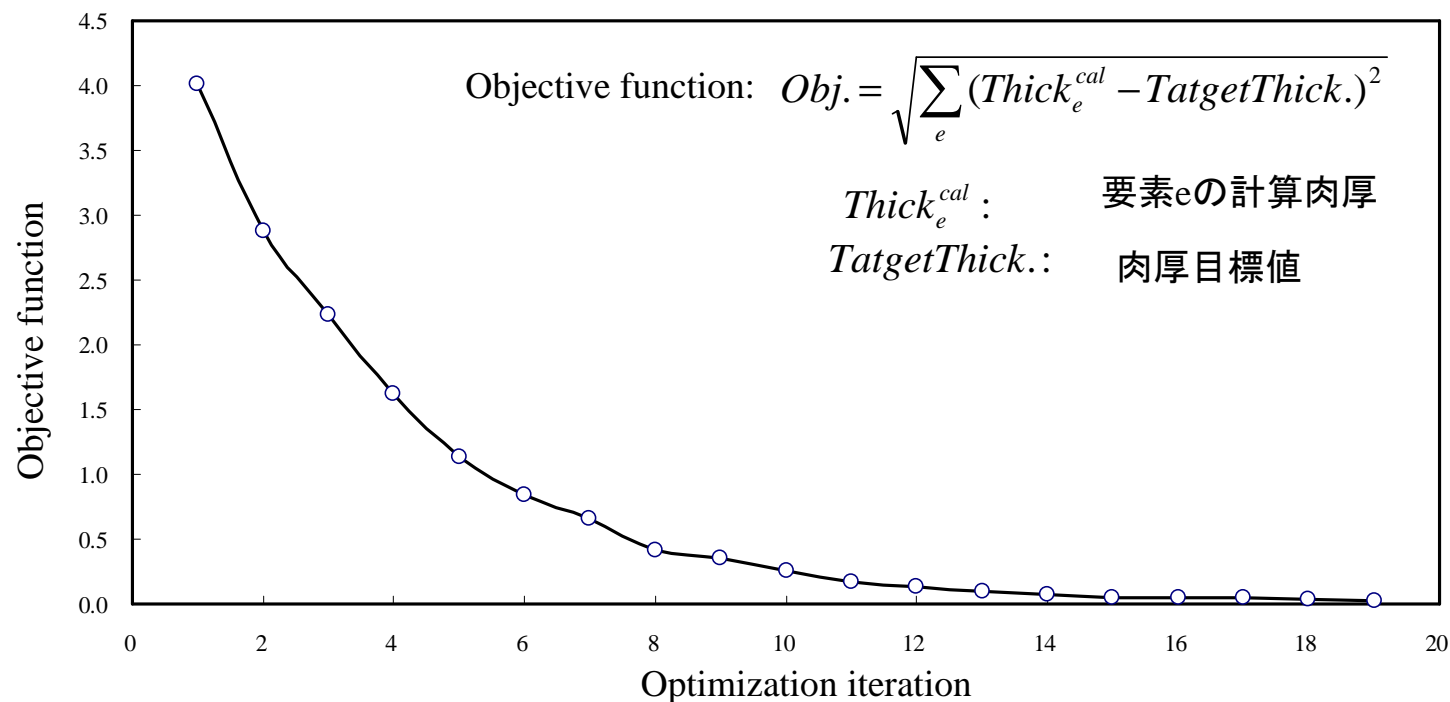


図10 目的関数の反復計算回数依存性

標準解析結果(青色○:初期値、×最終計算値)と肉厚最適化解析(赤色○:初期値、×最終計算値)の比較を示します。均一プリフォーム初期肉厚条件を採用した標準解析では、最終成形品の肉厚変動量が大きくなります。一方、肉厚最適化解析では、プリフォームの最適化初期肉厚条件を採用することで、最終成形品の肉厚分布の均一性が向上することが示されています。

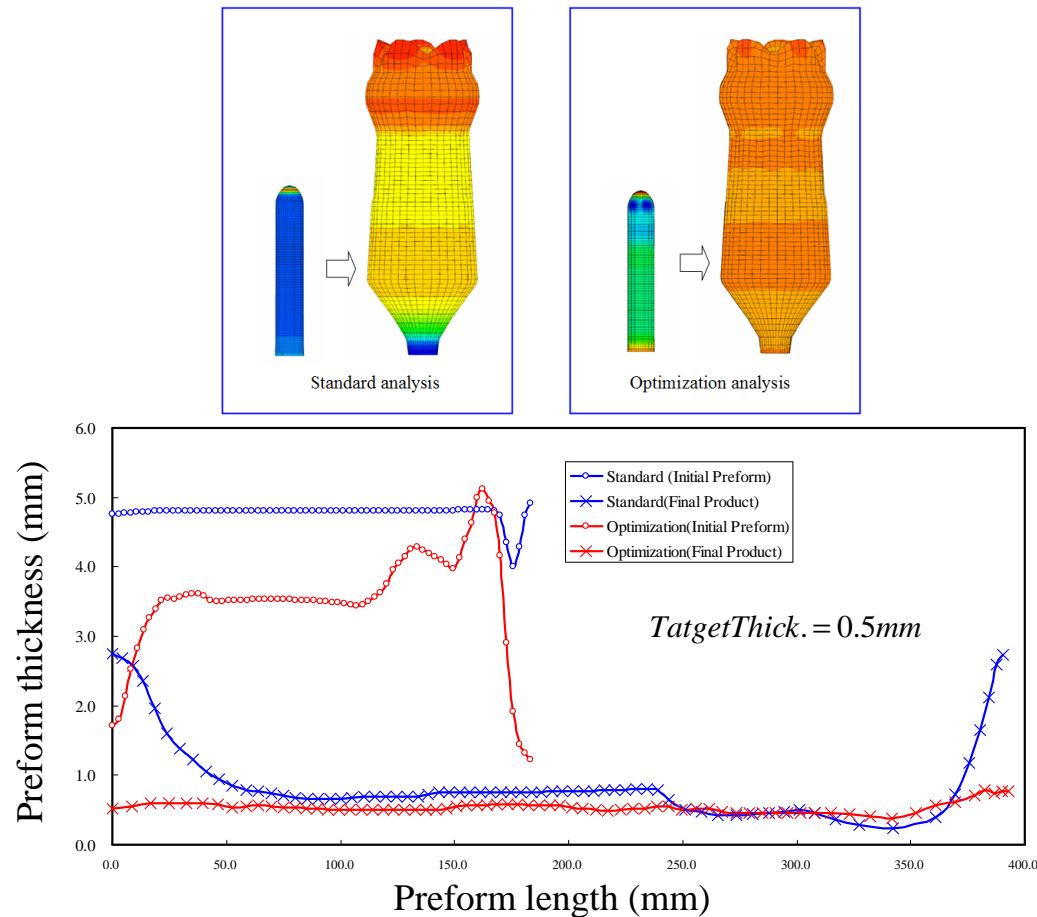
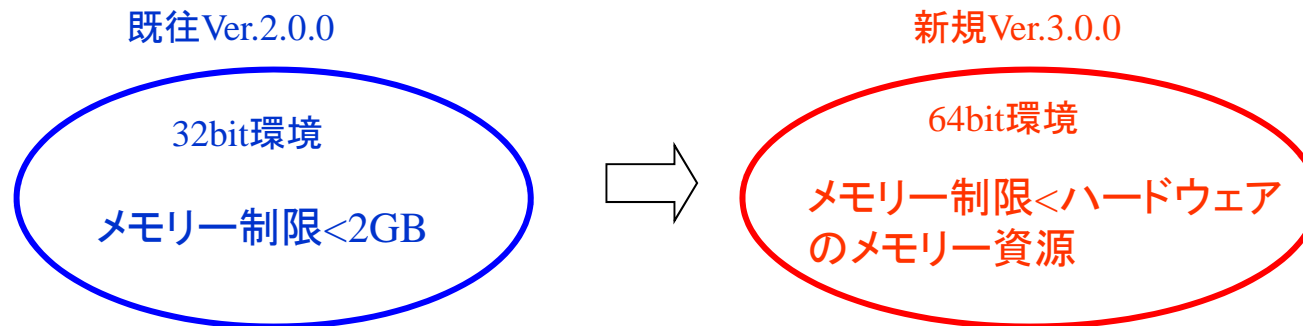


図11 標準解析結果と肉厚最適化解析結果の比較

③ Super Matrix Solver Multi Frontal*)の導入

- ・直接法ソルバーのため、汎用性と安定性に優れる (Saddle point problemに対応可能)。
- ・Multi Frontal法採用により、演算速度が速い。
- ・大規模問題対応時の並列計算や、外部記憶装置を利用するオプションが整備されている。



*)当ソフトはVINAS社の製品です。

<http://www.vinas.com/>