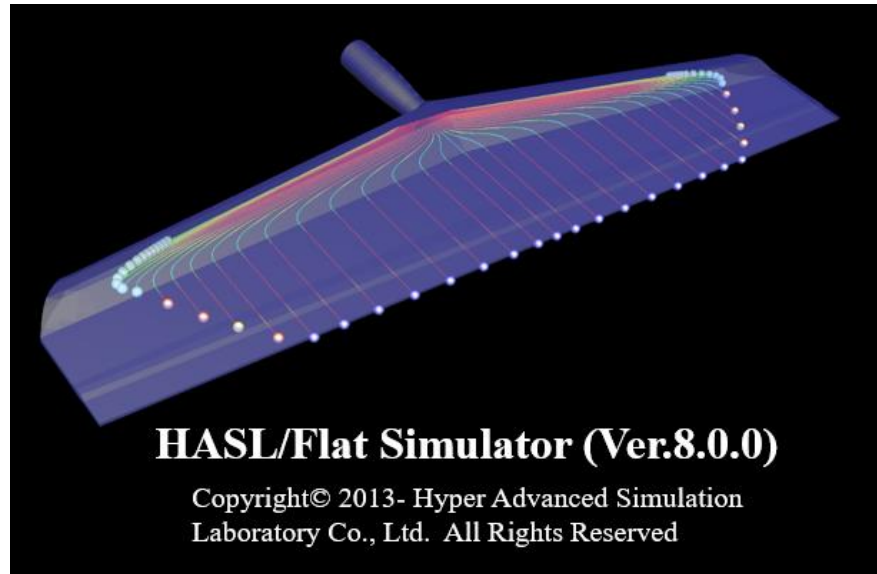

Flat Simulator(Ver.8.0.0)

改良成果資料(発表用ダイジェスト版)



2018/11/15

株式会社HASL

溶融樹脂の定常非等温非ニュートン純粘性 多層流動に関する2.5D FEM 定式化

2.5D FEM formulation
for steady non-isothermal non-Newtonian viscous
multi-layer flow of polymer melt

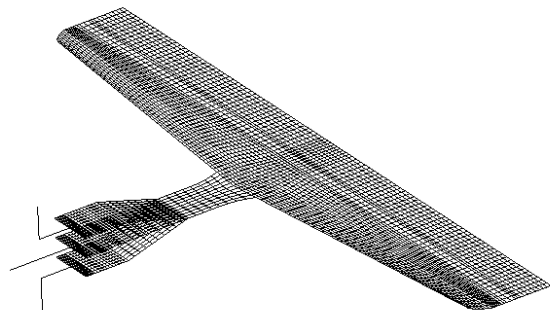
特許出願中

出願日 2018/10

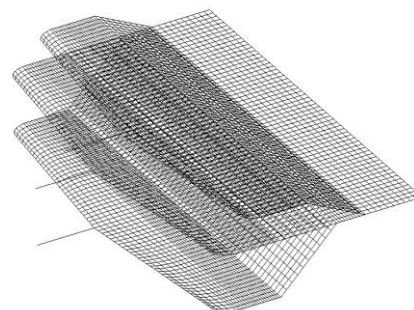
出願人 株式会社HASL 谷藤眞一郎

開発目的

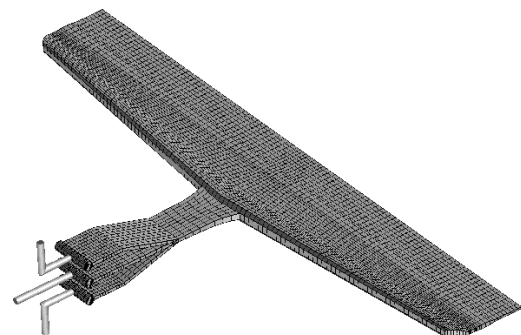
フィードブロックタイプ多層ダイ及びマルチマニフォールド多層ダイの2.5D FEM全域解析
(従来, 多層流動解析には3D FEMあるいは2D FEMのみ限定利用)



2.5D FEM model

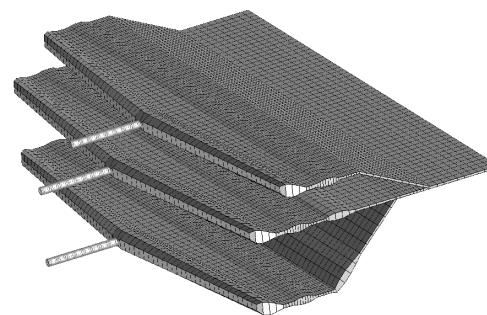


2.5D FEM model



3D visualization model

Feed block type multilayer die



3D visualization model

Multi-manifold die

多層流動2.5D FEM 定式化ブレークスルー

既往2.5D FEM定式化の前提条件

発達状態のせん断流動を仮定

多層界面境界条件

流速連続性: $V_I = V_{II}$

せん断応力連続性: $\eta_I \dot{\gamma}_I = \eta_{II} \dot{\gamma}_{II}$

圧力連続性: $P_I = P_{II}$

新規2.5D FEM定式化の前提条件

未発達状態を含むせん断流動を仮定

多層界面境界条件

流速連続性: $V_I = V_{II}$

せん断応力連続性: $\eta_I \dot{\gamma}_I = \eta_{II} \dot{\gamma}_{II}$

法線応力連続性:

$$-P_I + \frac{2\eta_I}{H_I} \frac{DH_I}{Dt} = -P_{II} + \frac{2\eta_{II}}{H_{II}} \frac{DH_{II}}{Dt}$$

多層流動2.5D FEM 離散化方程式

圧力方程式

$$S_{\alpha\beta}^l P_{\beta}^l + Q_{\alpha}^l + F_{\alpha}^l = 0 \text{ for } l = 1 \sim n$$

層毎に圧力方程式を解析＝
層毎の流入出収支を保証

$$S_{\alpha\beta}^l = \gamma^l \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \phi_{\alpha,i} \phi_{\beta,i} J_{\xi\eta} d\xi d\eta, \quad \alpha^l = \int_0^{h^l} \frac{1}{\eta_{vis}^l} dh, \quad \beta^l = \int_0^{h^l} \frac{h}{\eta_{vis}^l} dh, \quad \gamma^l = \int_0^{h^l} \frac{h^2}{\eta_{vis}^l} dh$$

$$Q_{\alpha}^l = \int_{\Gamma_e} \phi_{\alpha} q_i^l n_i^l d\Gamma,$$

$$F_{\alpha}^l = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \phi_{\alpha,i} f_i^l J_{\xi\eta} d\xi d\eta$$

$$f_i^l = A_i^l \beta^l - h^l B_i^{l+1} \text{ for } l = 1 \sim n-1,$$

$$f_i^n = A_i^n \beta^n$$

多層流動の壁面境界条件と界面上せん断応力、 流速の連続性を保証する連立方程式系

Condition	Equation number	Simultaneous conditional equation
Lower wall non-slip	3	$B_i^1 = 0$
Velocity continuity on interface	$3(n-1)$	$-A_i^l \alpha^l - B_i^l + B_i^{l+1} = p_{,i}^l \beta^l$
Shear stress continuity on interface	$3(n-1)$	$-A_i^l + A_i^{l+1} = p_{,i}^l h^l$
Upper wall non-slip	3	$-A_i^n \alpha^n - B_i^n = p_{,i}^n \beta^n$
	Total $6n$	

界面捕捉輸送方程式：多層界面上法線応力つり合い式

$$H_{\alpha\beta}^{l,k-1} h_{\beta}^{l,k} = H_{\alpha\beta}^{l+1,k-1} h_{\beta}^{l+1,k-1} + D_{\alpha\beta} (p_{\beta}^{l,k-1} - p_{\beta}^{l+1,k-1}) \text{ for } l = 1 \sim n-1$$

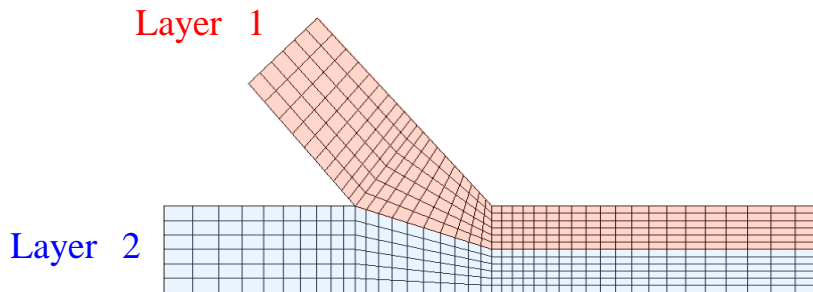
n層の多層流動が形成するn-1層の界面を法線応力
連続性条件より算出

$$H_{\alpha\beta}^{l,k} = 2 \frac{\eta_{vis}^{l,k}}{\hat{h}^{l,k}} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \phi_{\alpha} \left[U^{l,k} \frac{\partial \phi_{\beta}}{\partial \xi} + V^{l,k} \frac{\partial \phi_{\beta}}{\partial \eta} \right] J_{\xi\eta} d\xi d\eta,$$

$$D_{\alpha\beta} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \phi_{\alpha} \phi_{\beta} J_{\xi\eta} d\xi d\eta$$

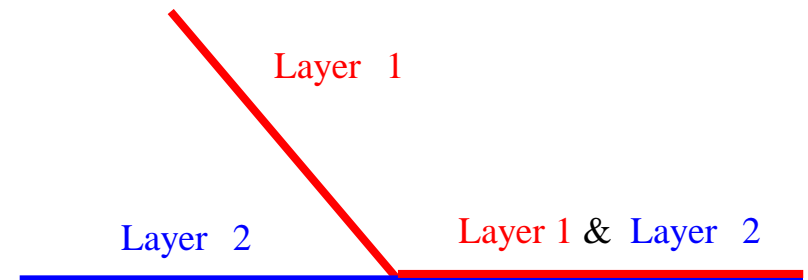
多層流動2.5D FEM 離散化モデル

- 1) 層構造を意識した要素生成.
- 2) 合流部の整合性を保証.
- 3) 形状変更時にはモデルの作り直し.



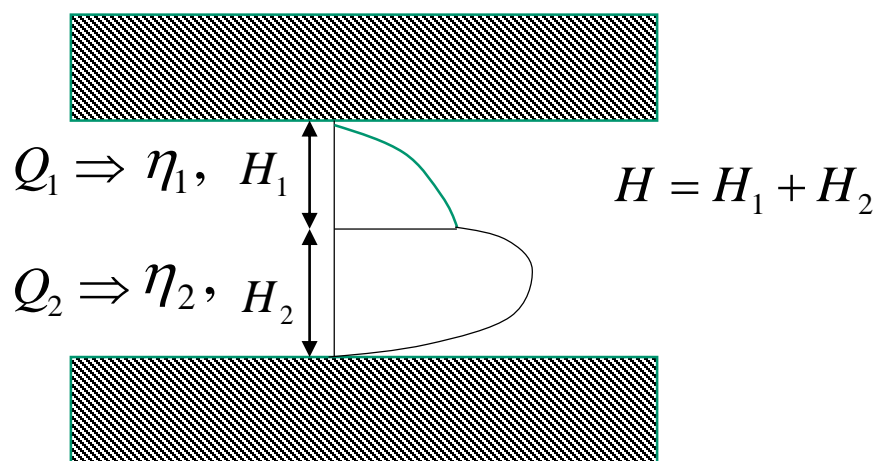
既往多層FEM解析モデル

- 1) 要素付帯情報として層構造を管理.
- 2) 結線による合流部の表現.
- 3) リメッシュ(モデルの切り直し)を行うことなく肉厚情報の更新で様々な流路形状を表現可能.



新規多層2.5D FEM解析モデル

多層流動2.5D FEM 定式化理論檢証



$$\chi_h = \frac{H_2}{H_1} \quad \text{: 層比}$$

$$\chi_q = \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{: 流量比}$$

$$\chi_\eta = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad \text{: 粘度比}$$

平行平板間二層定常粘性流動

$$\chi_h^4 = -4\chi_\eta\chi_h^3 - 3(\chi_\eta - \chi_q\chi_\eta)\chi_h^2 + 4\chi_q\chi_\eta\chi_h + \chi_q\chi_\eta^2$$

Layer 1



$Q_1, \eta_1, H_1 = 2 \text{ mm}$

Layer 2



$Q_2, \eta_2, H_2 = 5 \text{ mm}$

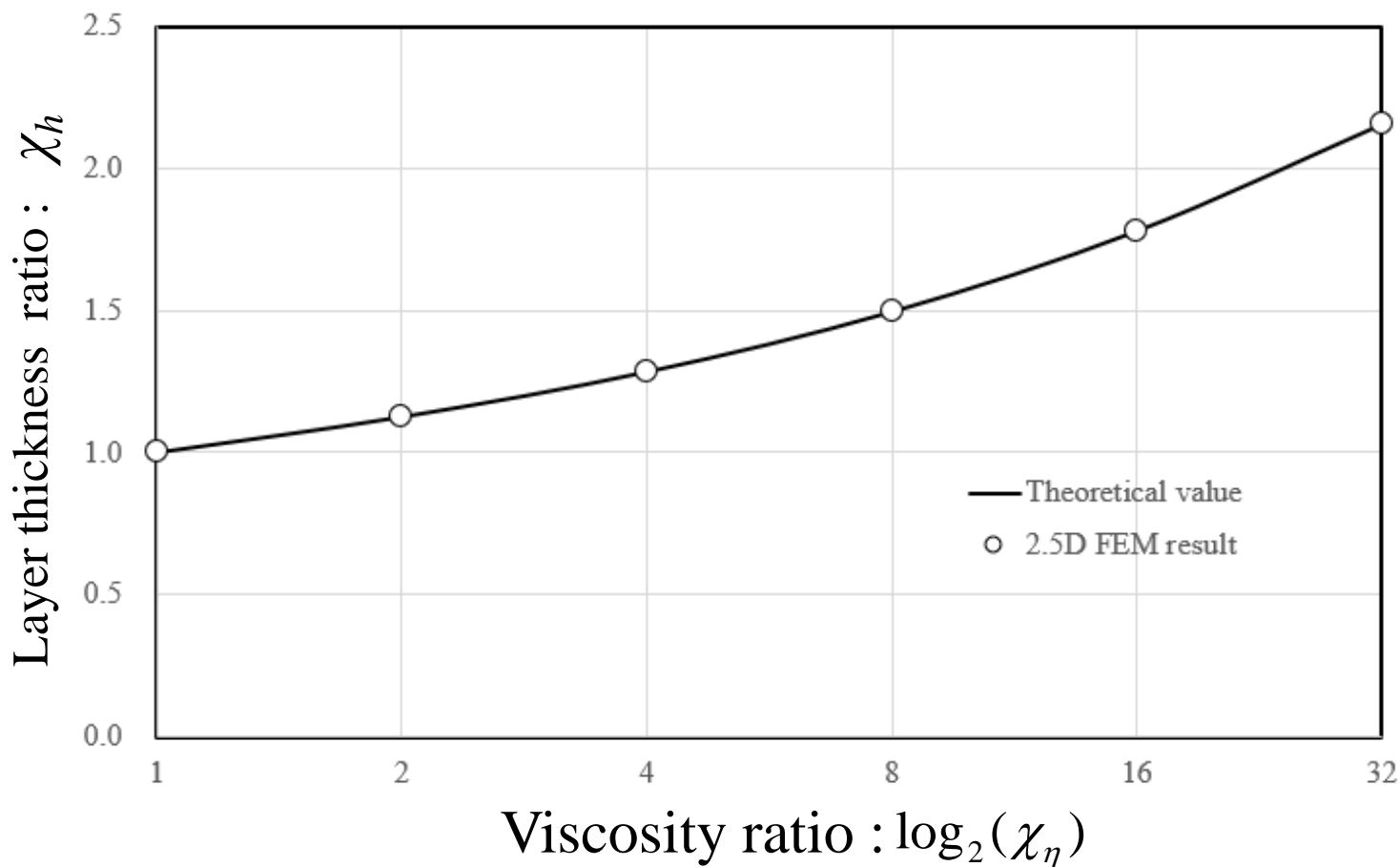
合流位置

Layer 1, 2

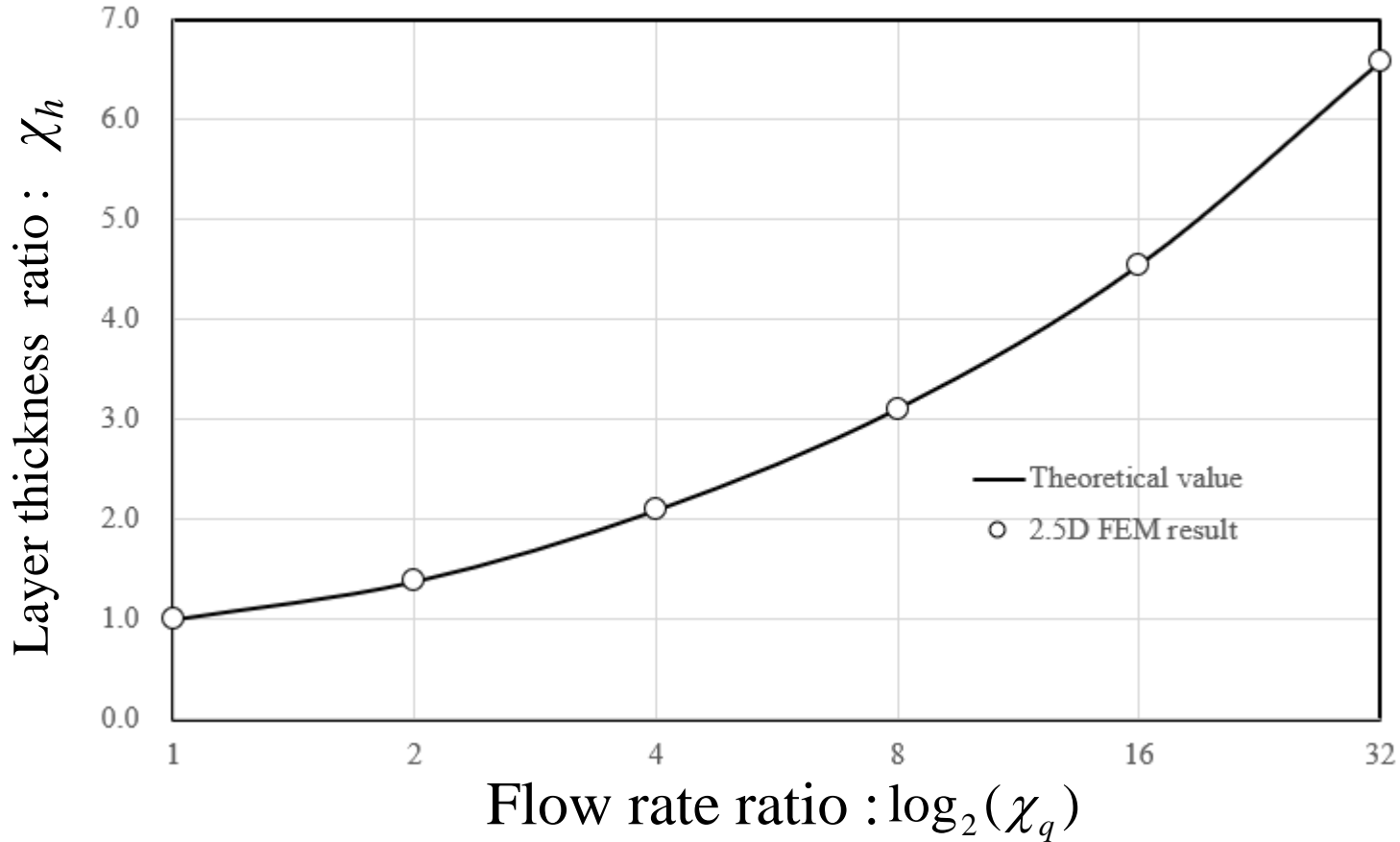


$H_1 + H_2 = 5 \text{ mm}$

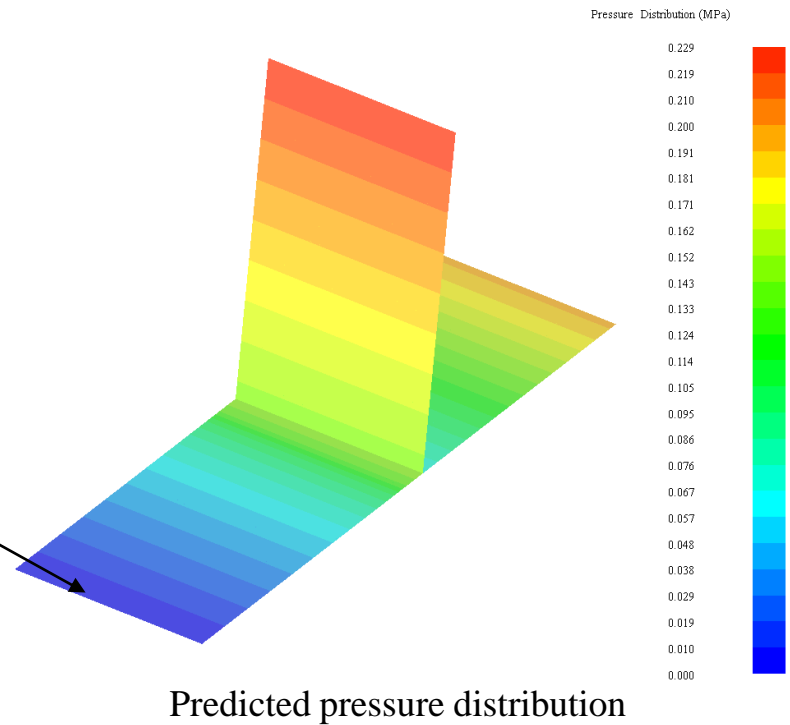
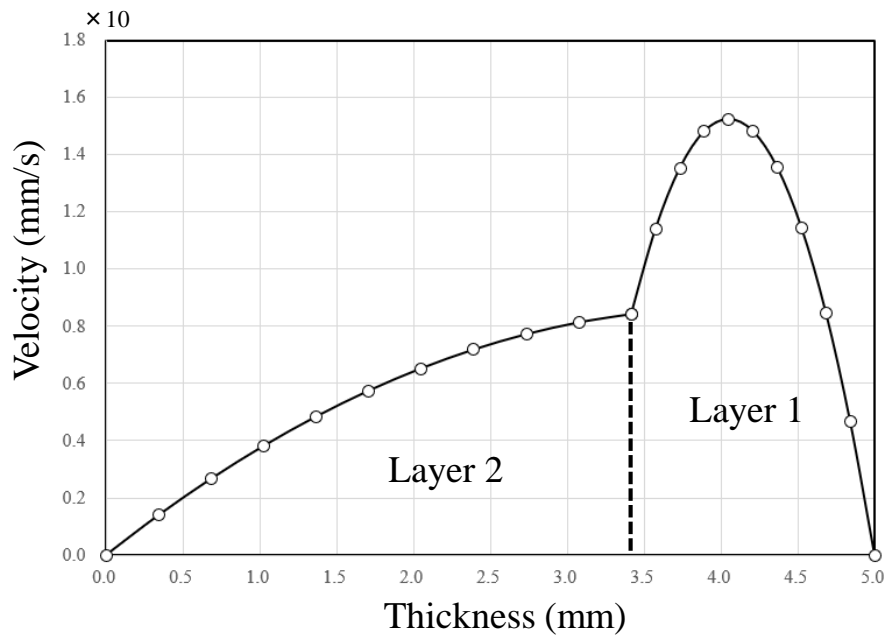
理論検証用 2.5D FEM 解析モデル



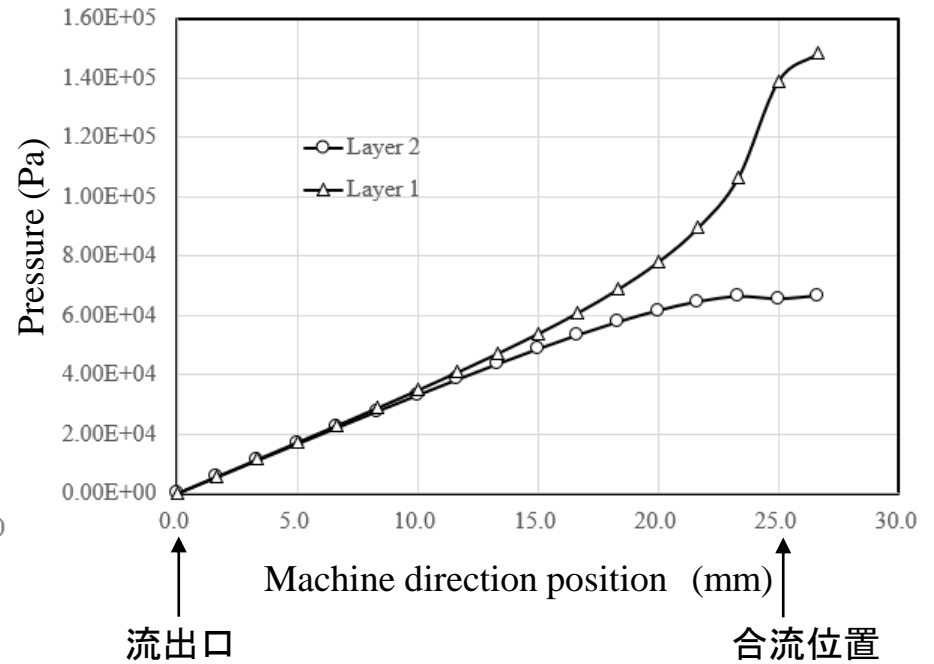
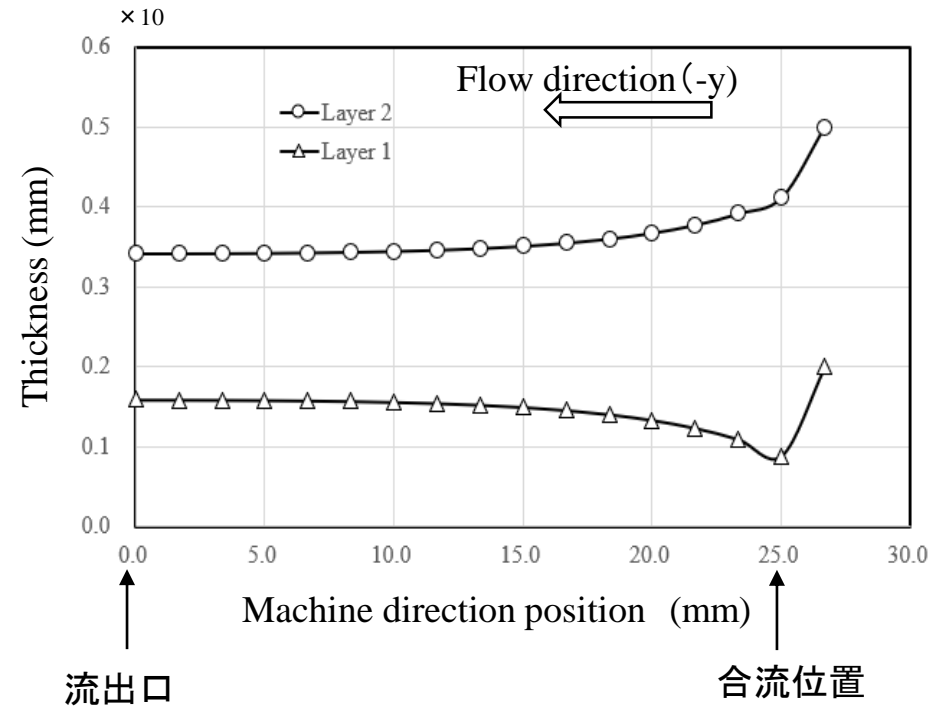
粘度比 vs. 層厚比 (流量比: $\chi_q=1$)



流量比 vs. 層厚比 ($\chi_\eta=0.5$)

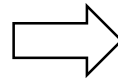


流出口肉厚方向に対する流速分布と圧力分布解析結果 ($\chi_q=1, \chi_\eta=32$)



$$\frac{\partial H_1}{\partial y} < 0, \quad v_1 = v_2 < 0$$

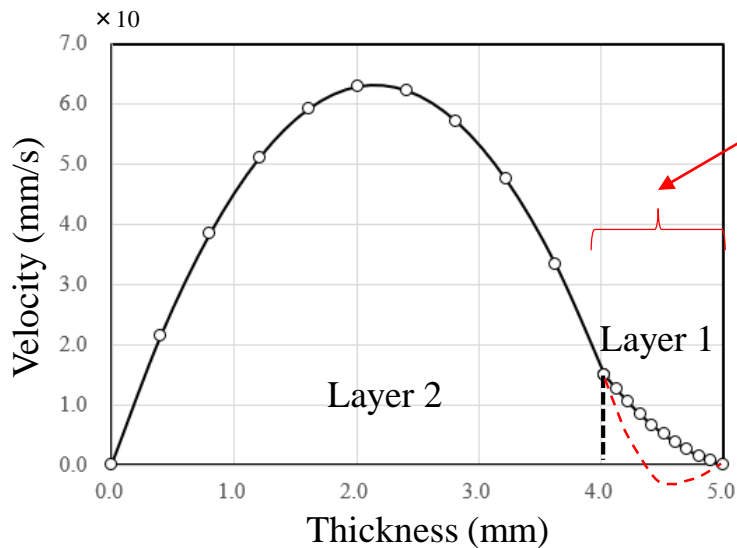
$$\frac{\partial H_2}{\partial y} > 0$$



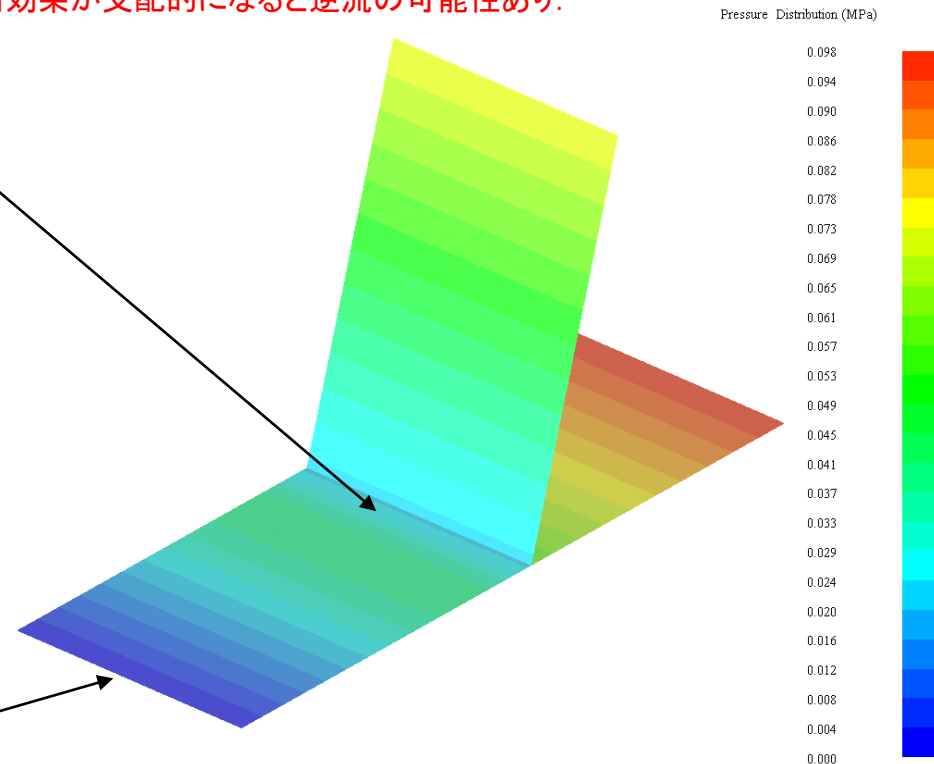
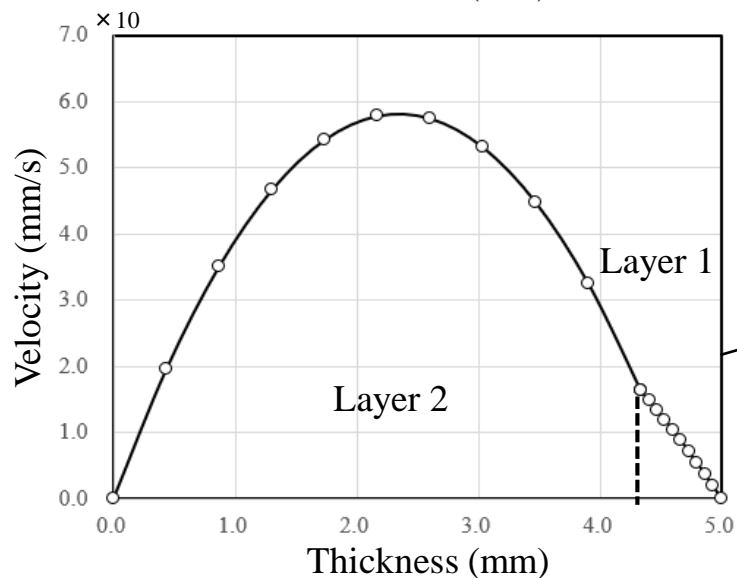
$$2 \frac{\eta_2}{h_2} v_2 \frac{\partial H_2}{\partial y} - 2 \frac{\eta_1}{h_1} v_1 \frac{\partial H_1}{\partial y}$$

$$= P_2 - P_1 < 0$$

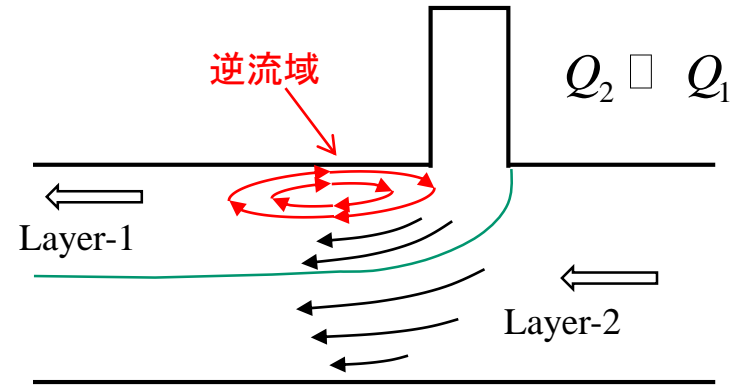
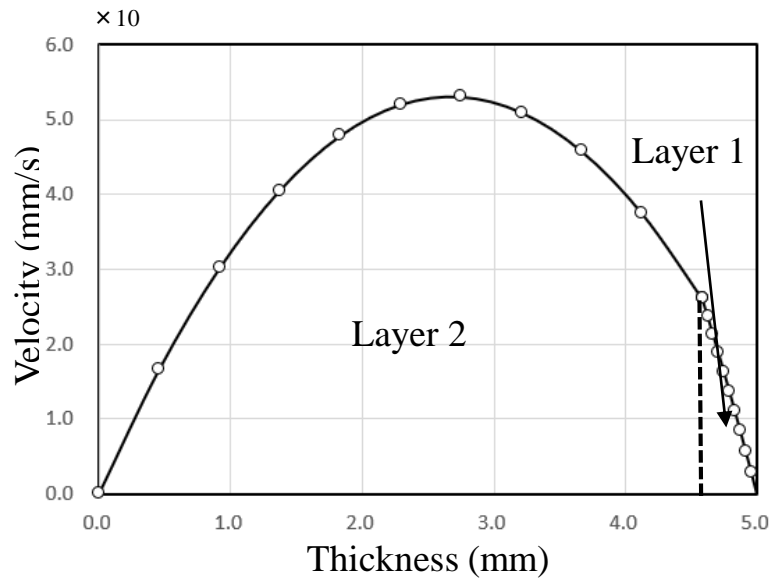
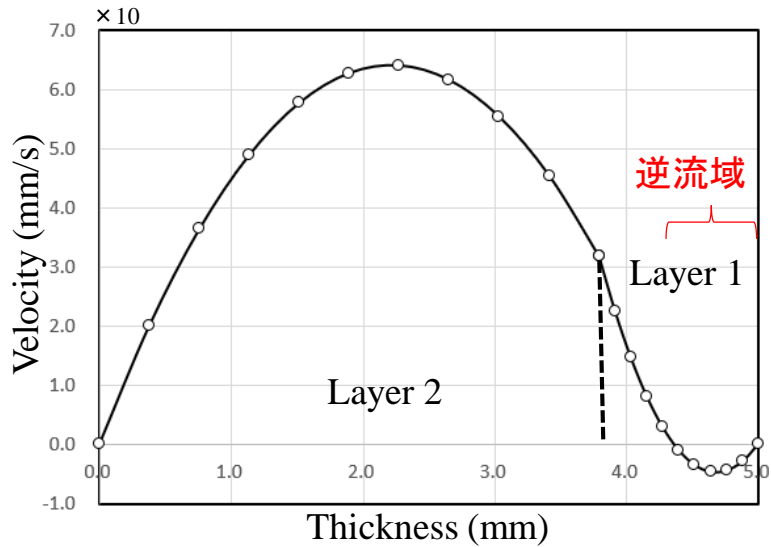
解析モデルMD方向に対する層厚/圧力分布解析結果 ($\chi_q=1, \chi_\eta=32$)



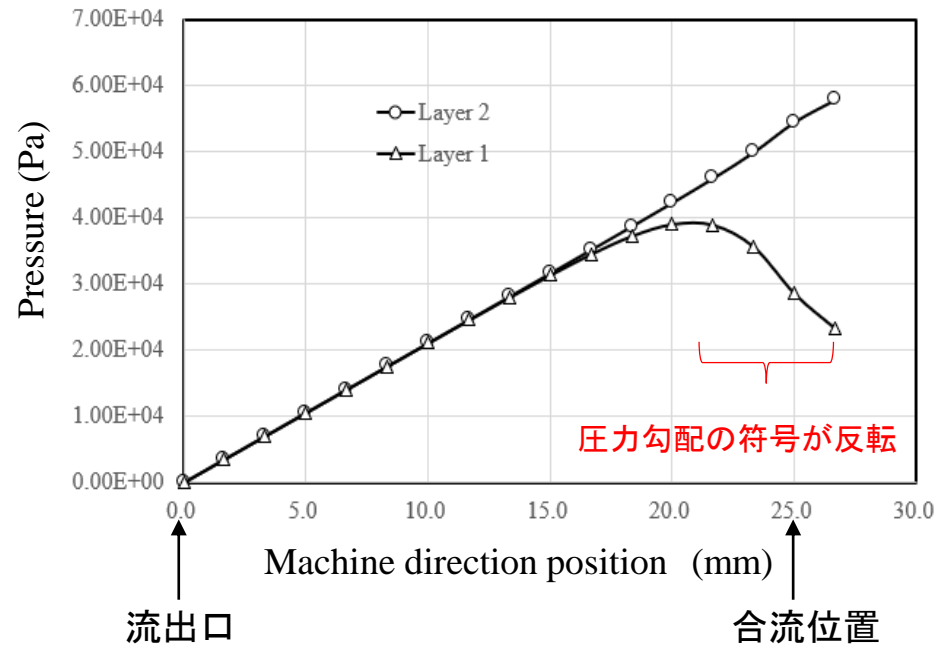
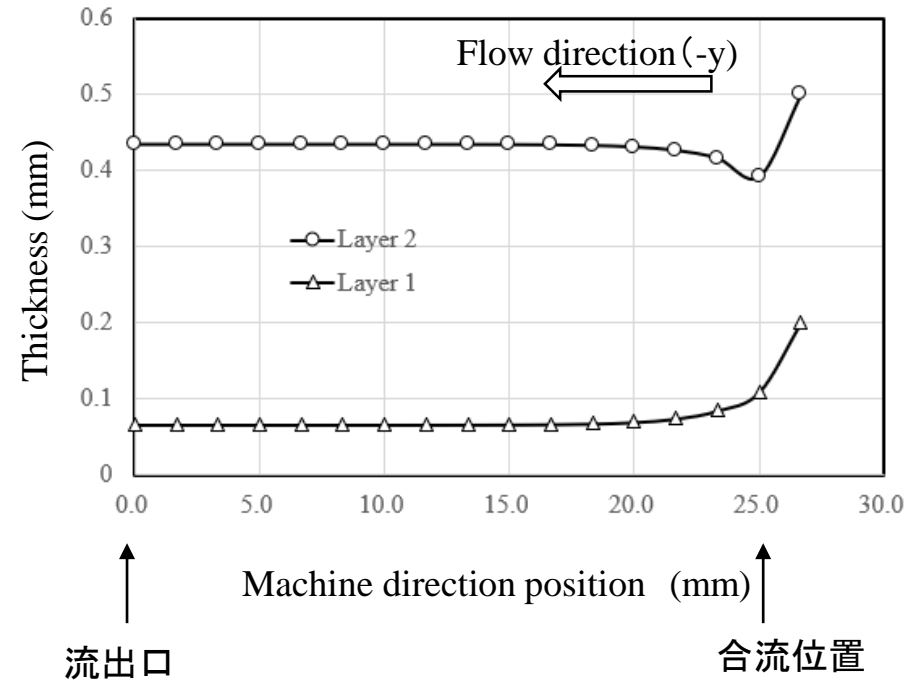
圧力勾配の反転領域では、Layer 1の流速分布の曲率が反転(下に凸):
 Layer 1は、流量の多いLayer 2に牽引されて運動. 更に牽引効果が支配的になると逆流の可能性あり.



流出口, 合流部の肉厚方向に対する流速分布と圧力分布解析結果($\chi_q=32, \chi_\eta=0.5$)

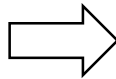


流出口，合流部の肉厚方向に対する流速分布
 解析結果 ($\chi_q=32, \chi_\eta=2.0$)



$$\frac{\partial H_1}{\partial y} > 0, \quad v_1 = v_2 < 0$$

$$\frac{\partial H_2}{\partial y} < 0$$



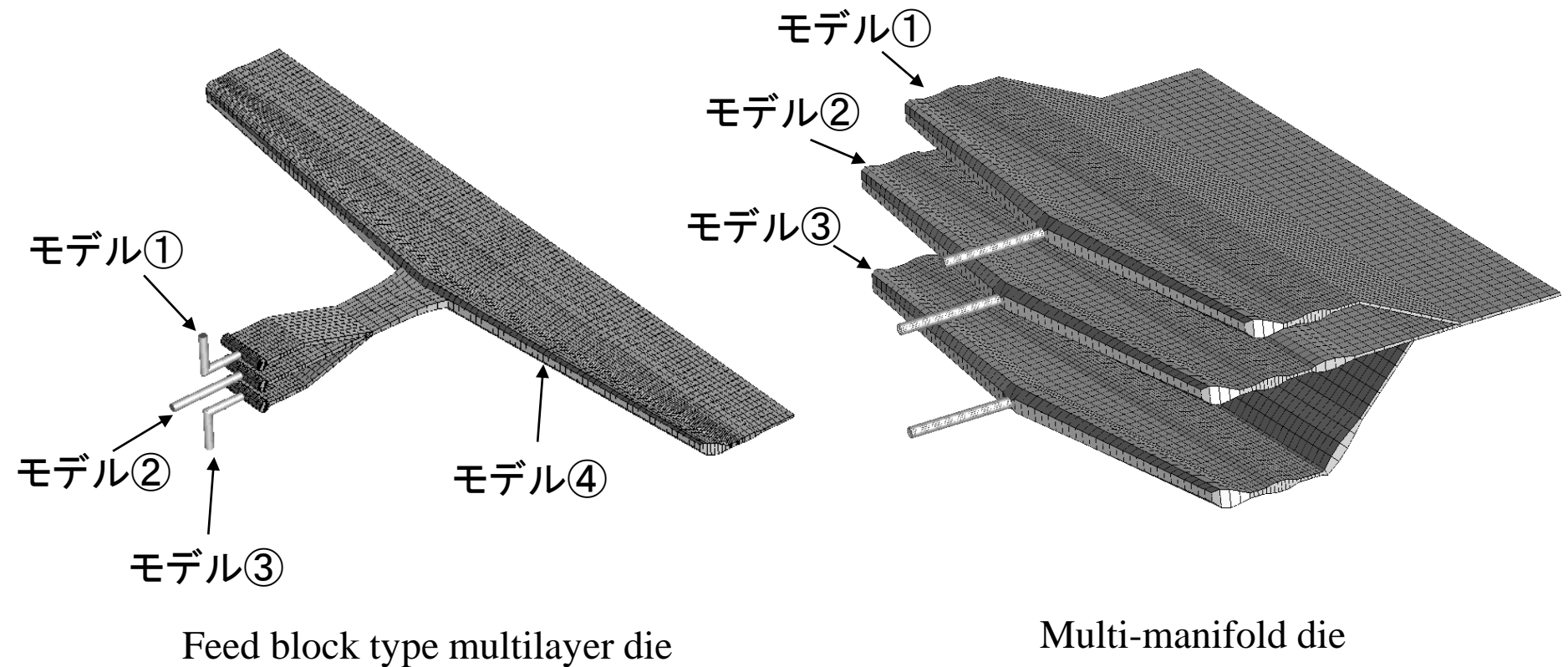
$$2 \frac{\eta_2}{h_2} v_2 \frac{\partial H_2}{\partial y} - 2 \frac{\eta_1}{h_1} v_1 \frac{\partial H_1}{\partial y}$$

$$= P_2 - P_1 > 0$$

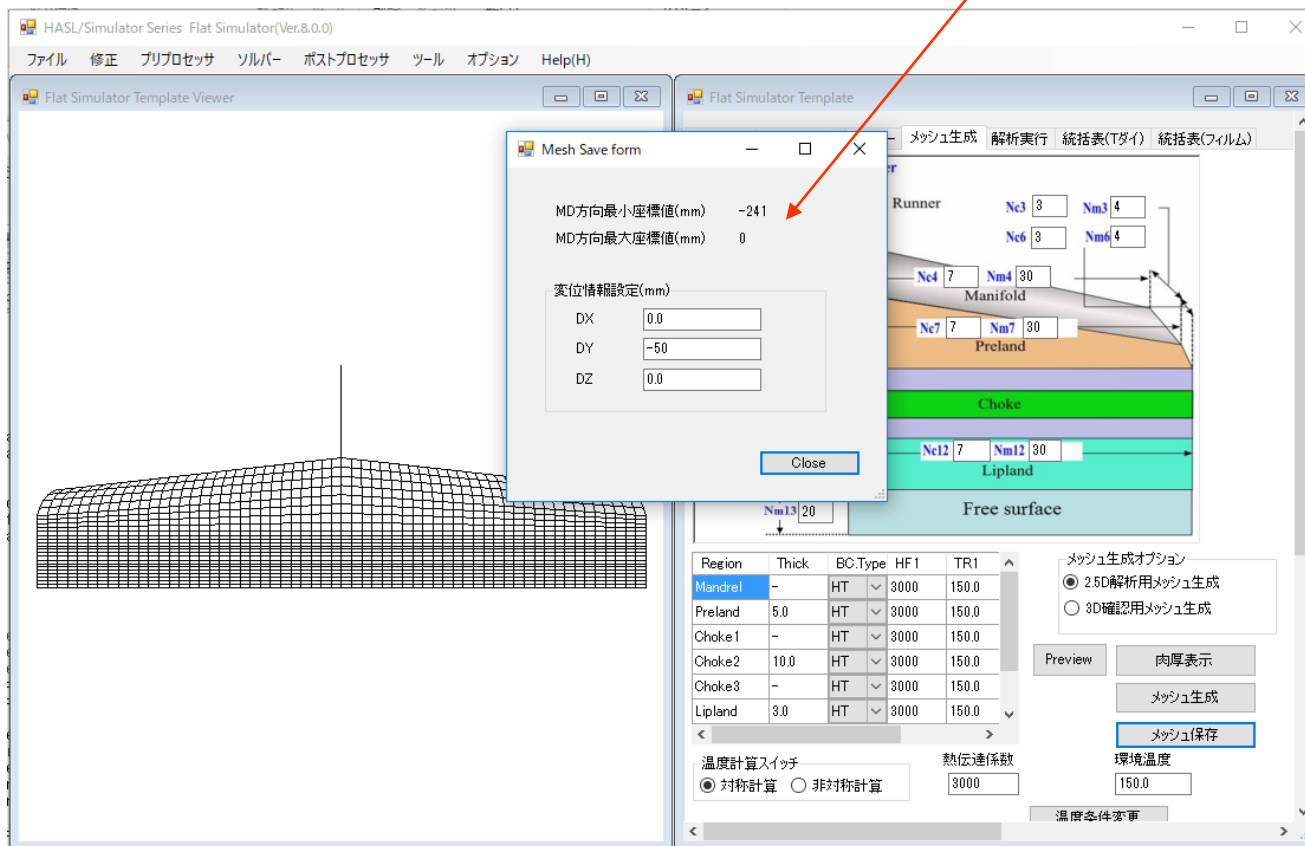
解析モデルMD方向に対する層厚/圧力分布解析結果 ($\chi_q=32, \chi_\eta=0.5$)

多層流動2.5D FEM 離散化モデル作成手順

① FlatSimulator Templateを利用した多層ダイ構成要素のモデリング

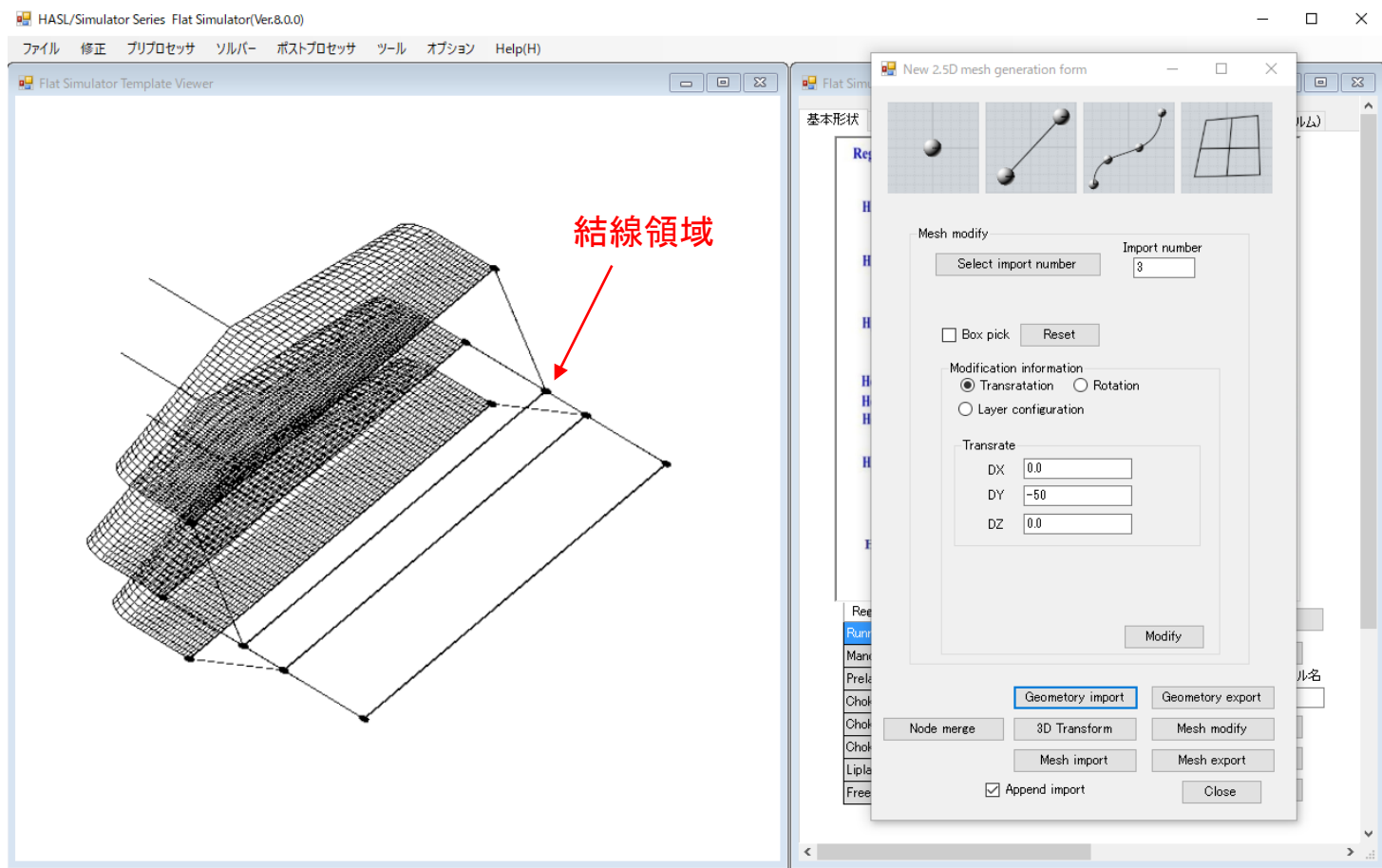


並進移動量指定によるメッシュ情報の
の任意位置への配置

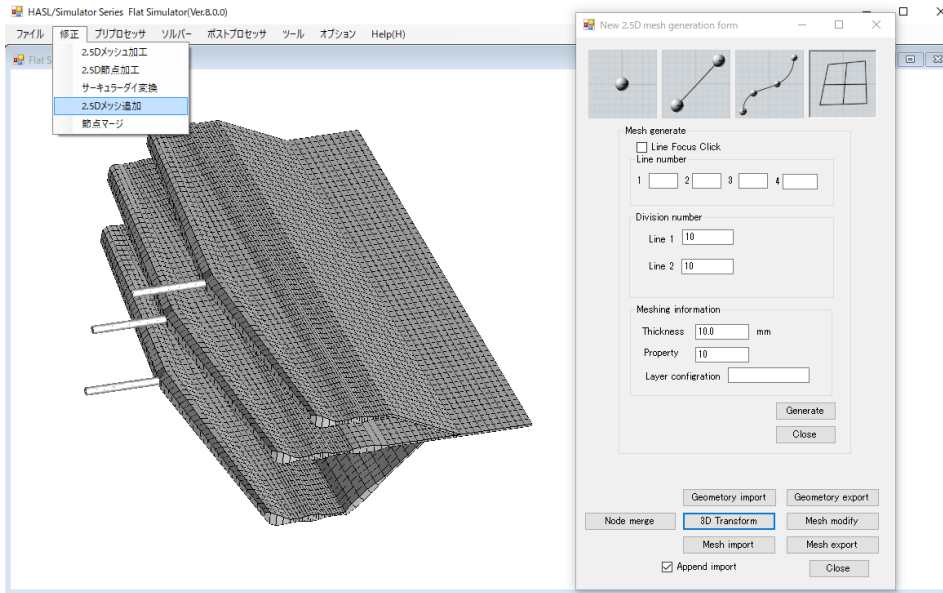


新規実装されたMesh Save Form

② 多層ダイ構成要素の合成



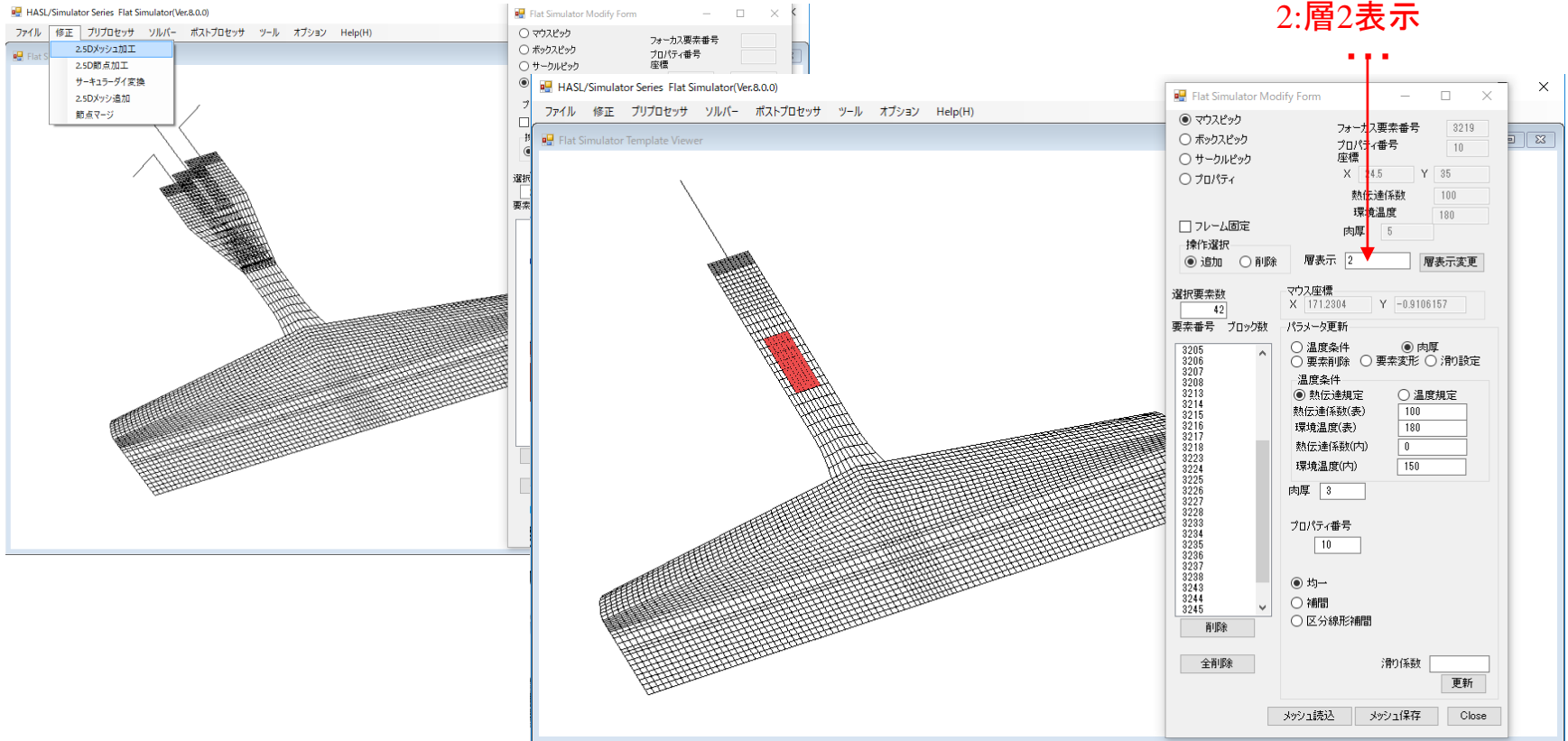
新規実装 New 2.5D mesh generation form の機能



- 1) 構成要素 mesh 情報のAppend import
- 2) 構成要素Mesh 情報のLine or Spline-curve による結線領域の作成
- 3) 結線領域内の2.5D mesh 生成
- 4) 任意メッシュの選択/回転/併進移動
- 5) 要素構成番号の設定
- 6) 2.5D meshの3D visualization 変換

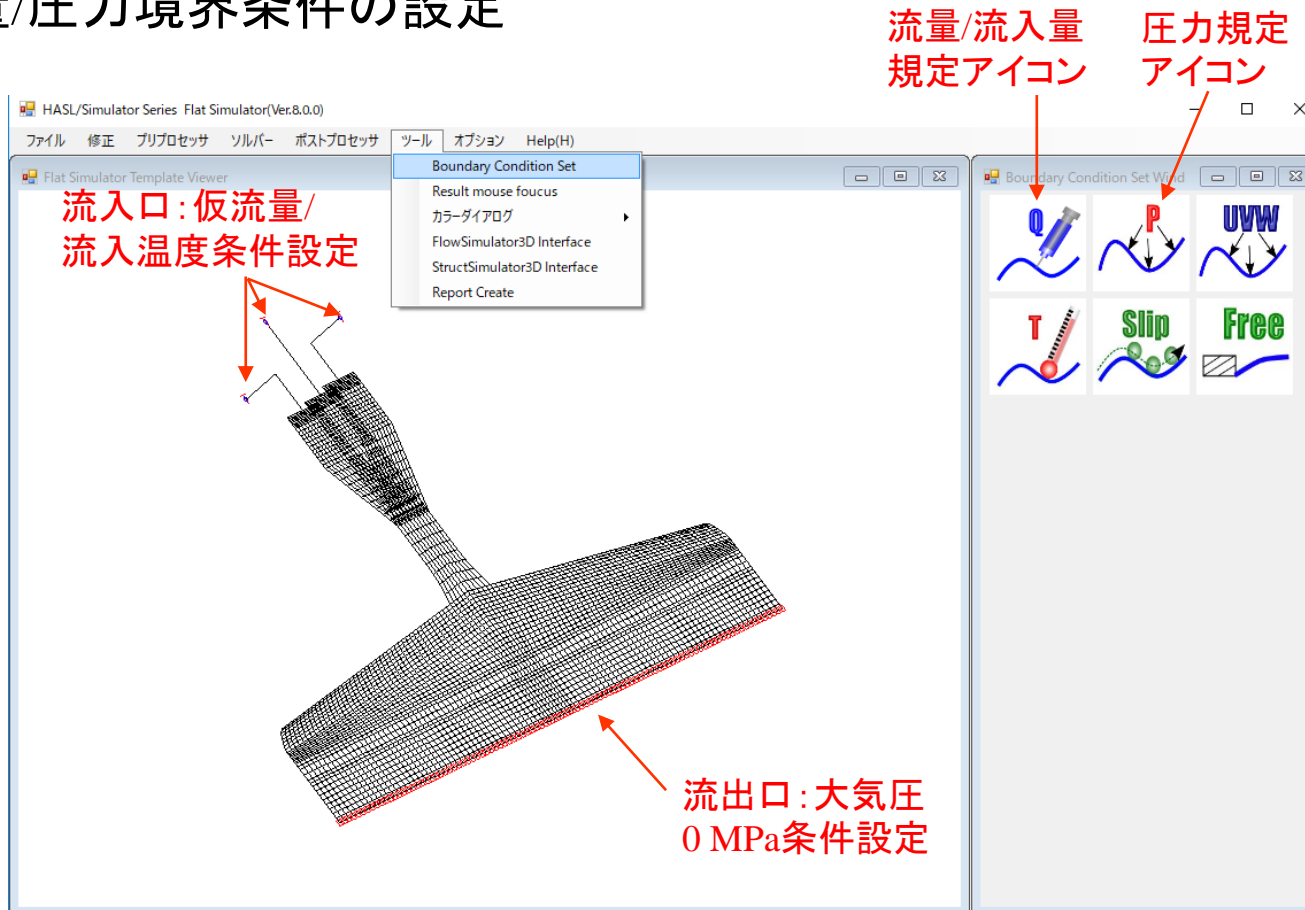
③ 多層ダイ解析モデルの編集

肉厚, 温度境界条件等の要素付帯情報の編集



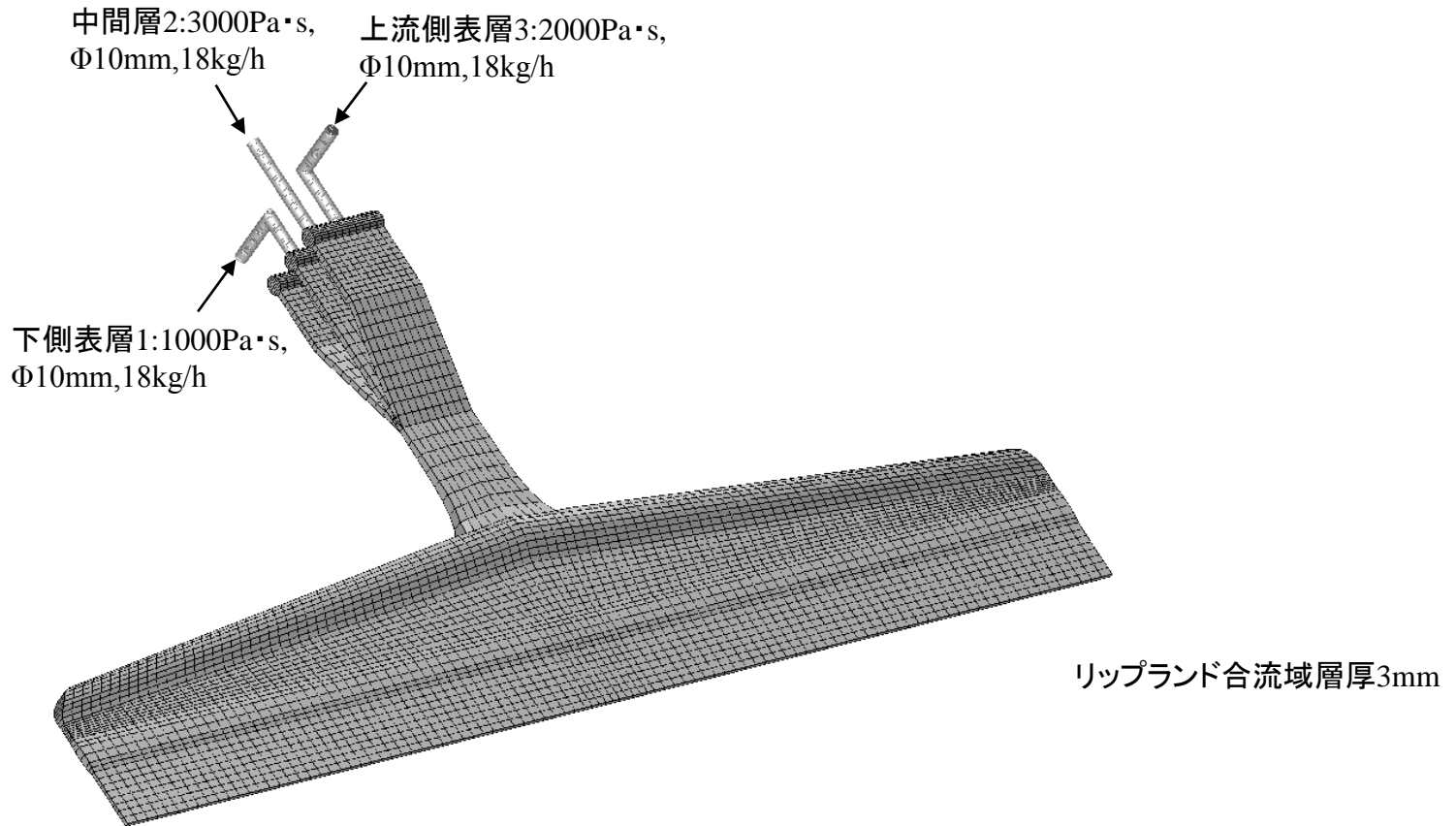
Flat Simulator Modify form に
新規実装された層表示変更ボタン

④ 流量/圧力境界条件の設定

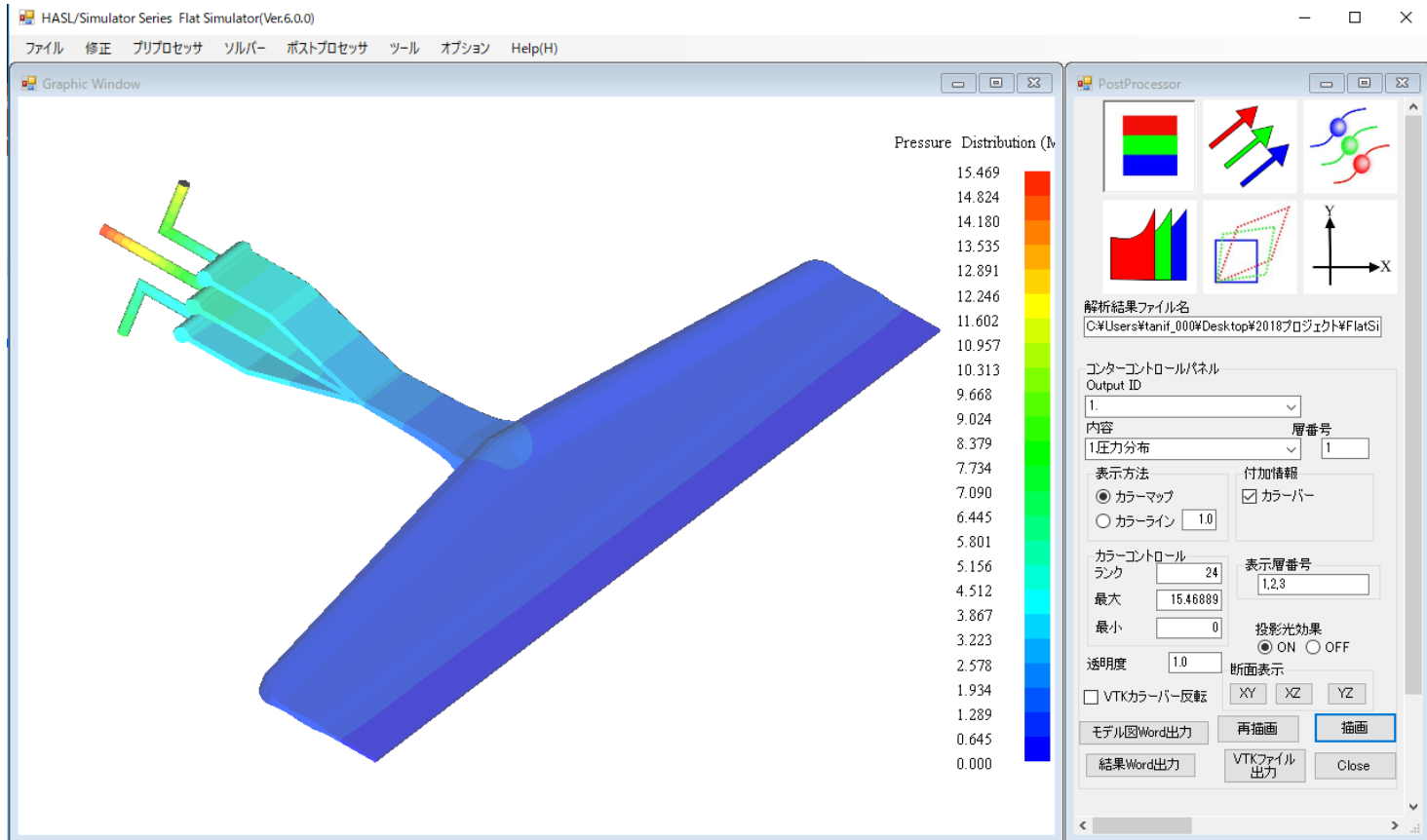


新規実装されたBoundary Condition Set Form

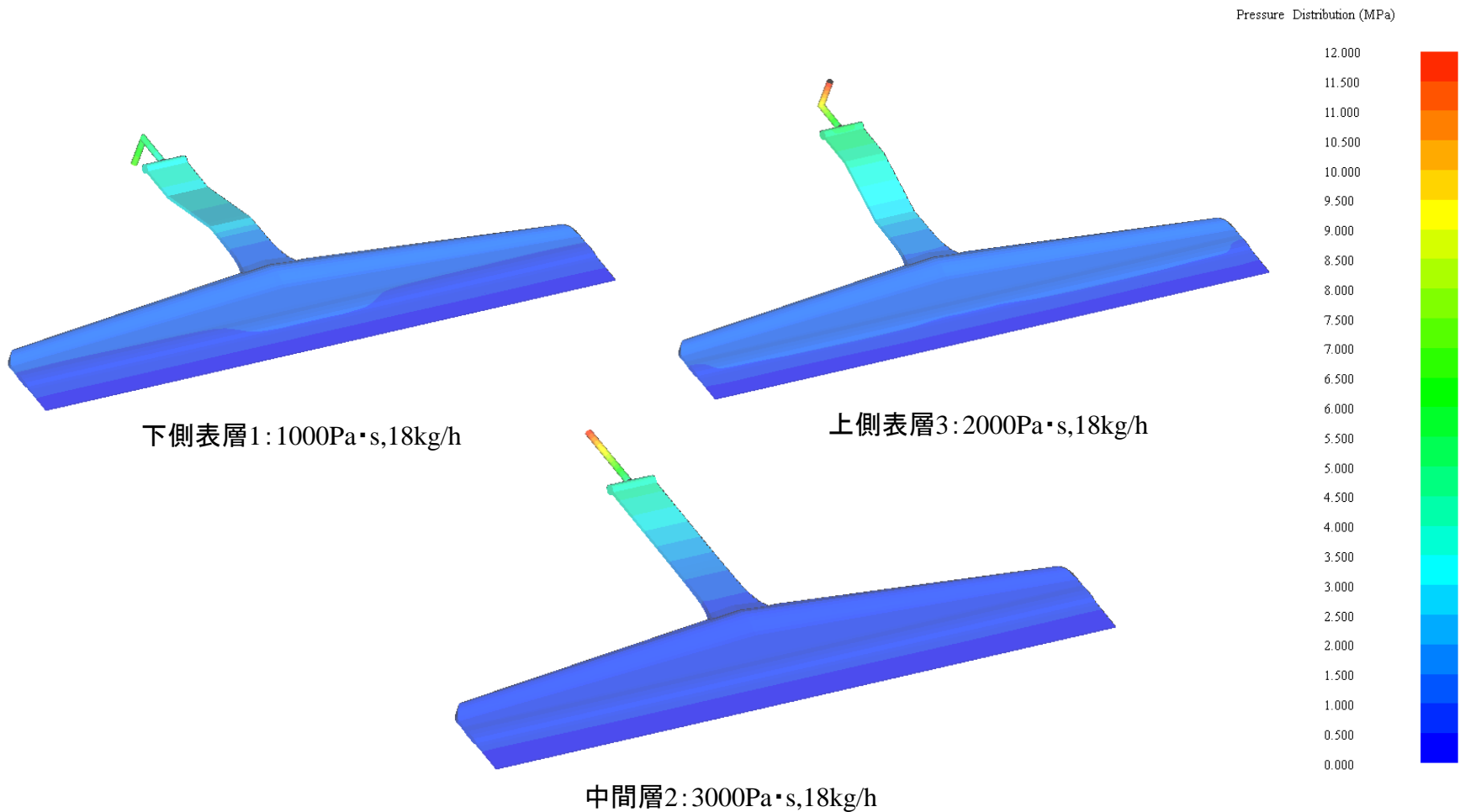
テスト解析結果(三種三層)



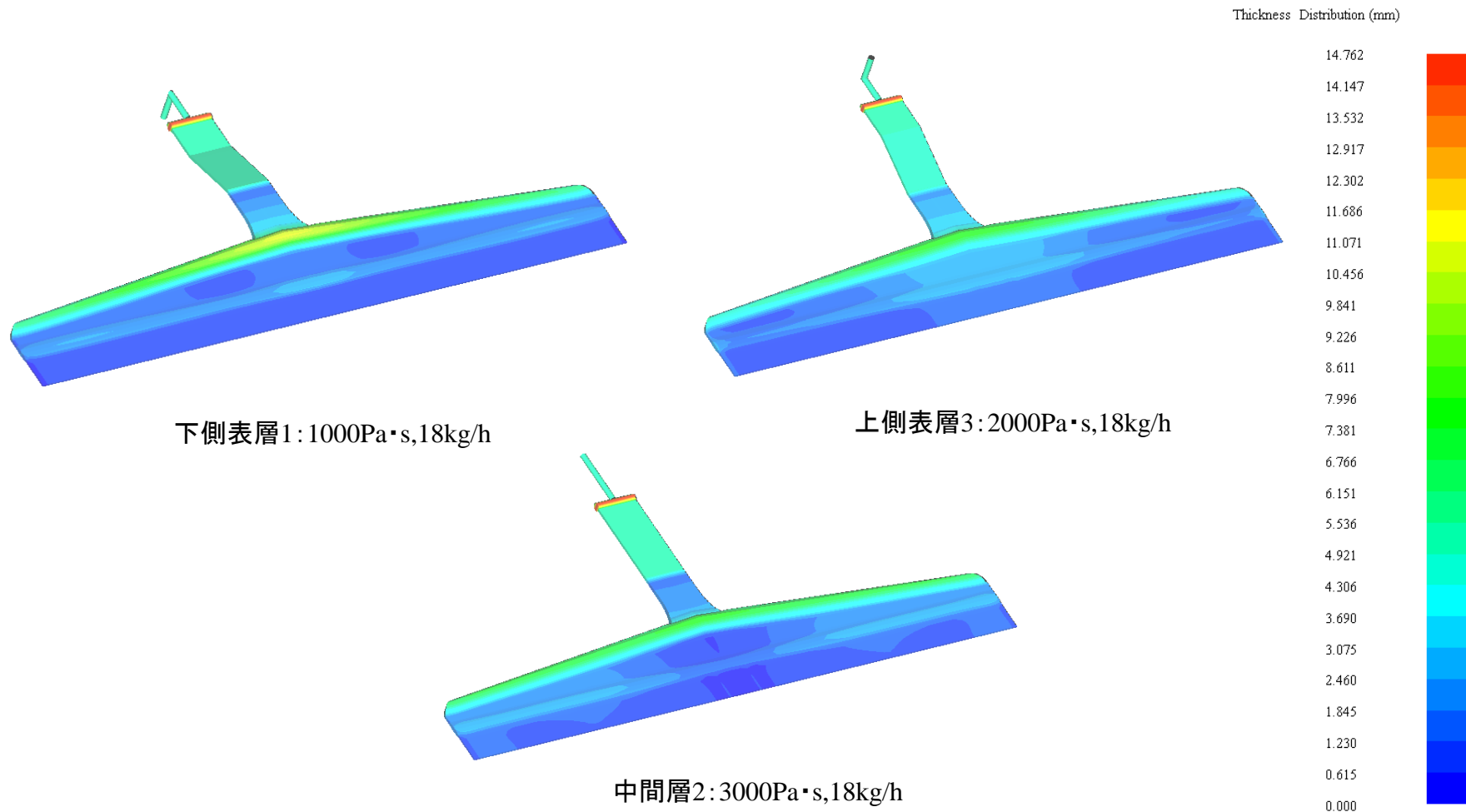
三種三層多層流動2.5DFEM解析モデル



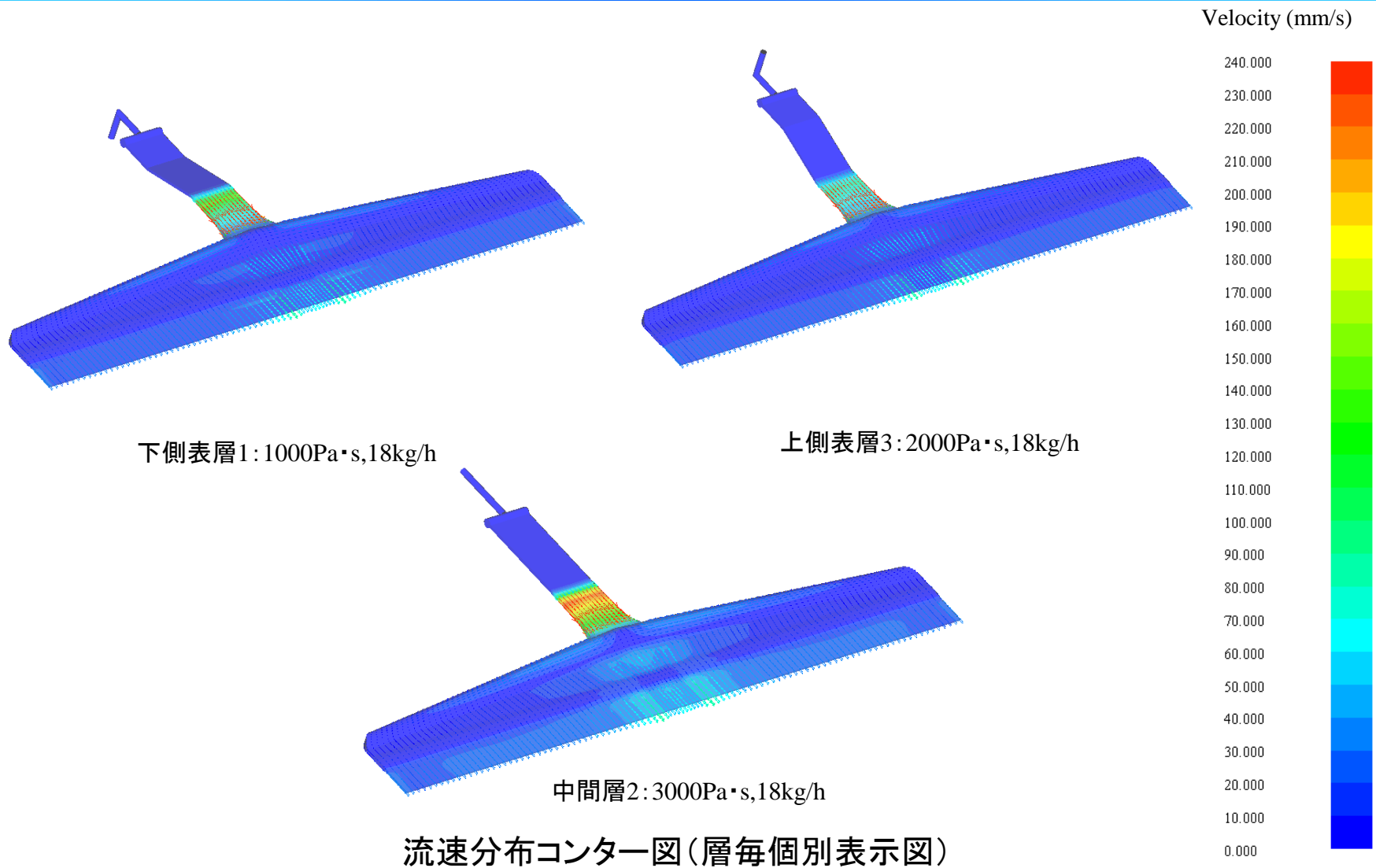
圧力分布コンター図(全体図)



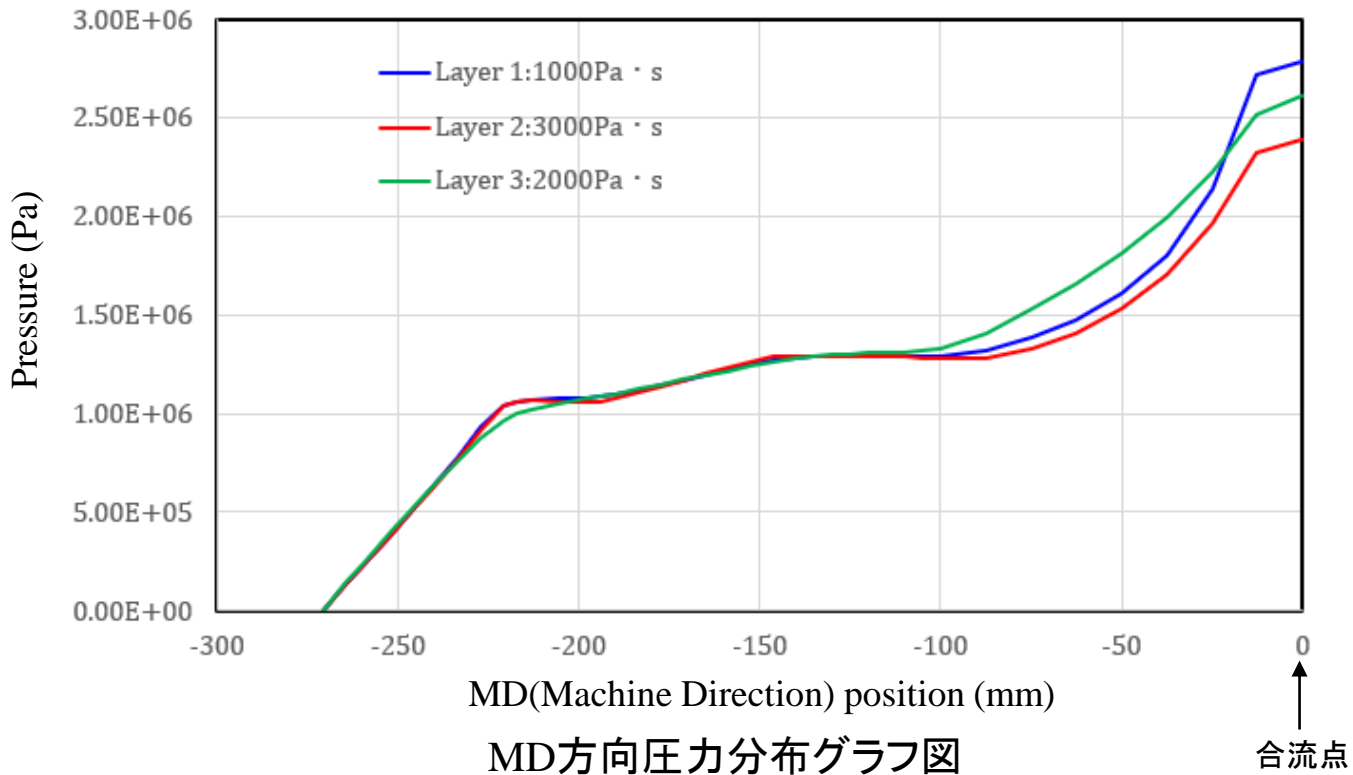
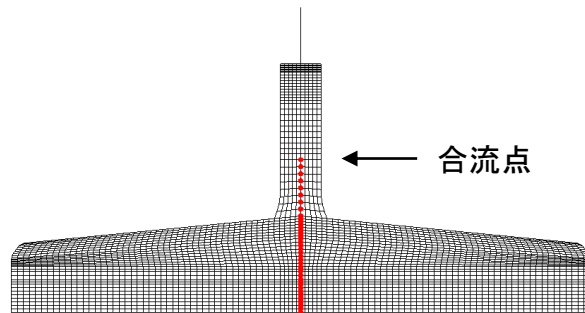
圧力分布コンター図(層毎個別表示図)

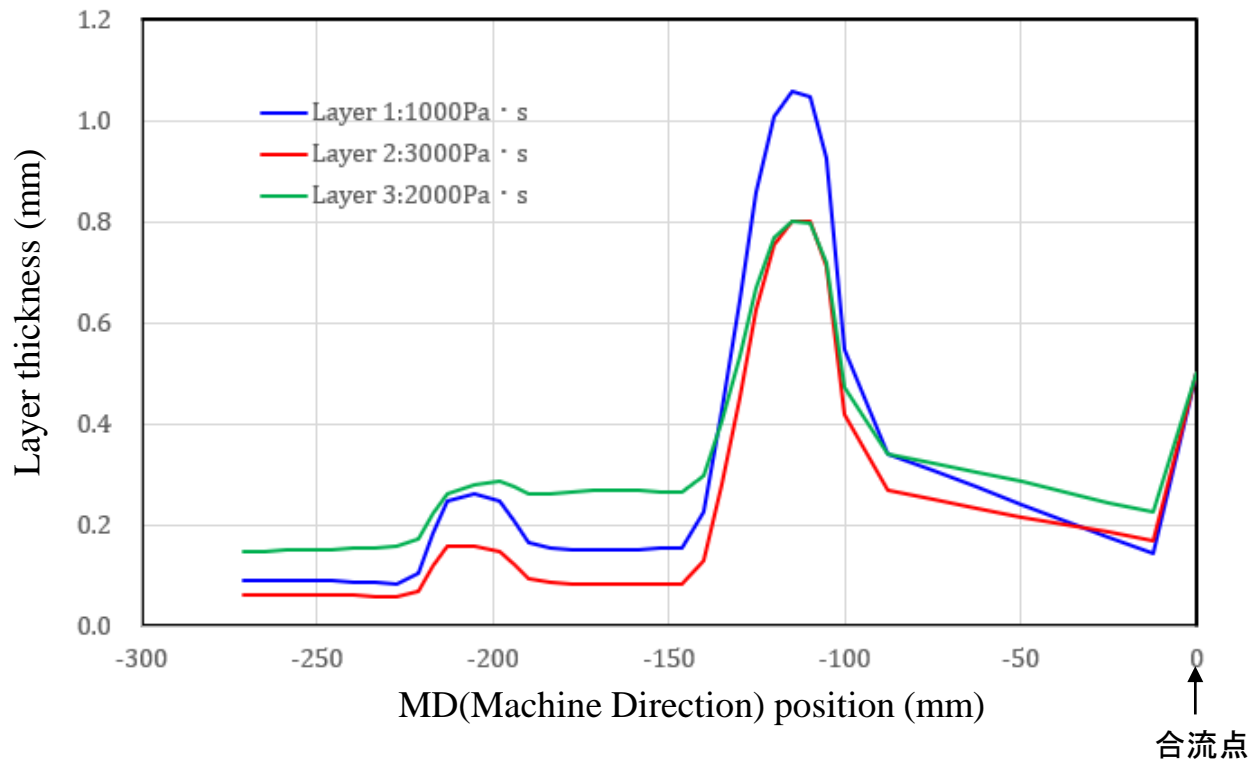
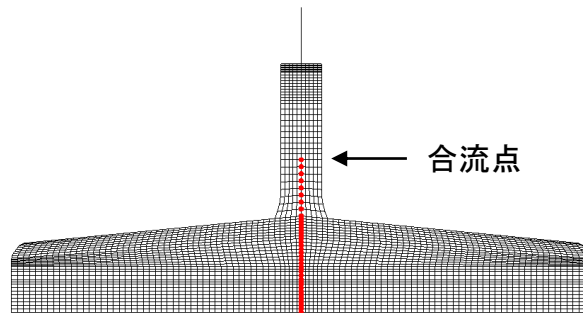


層厚分布コンター図(層毎個別表示図)

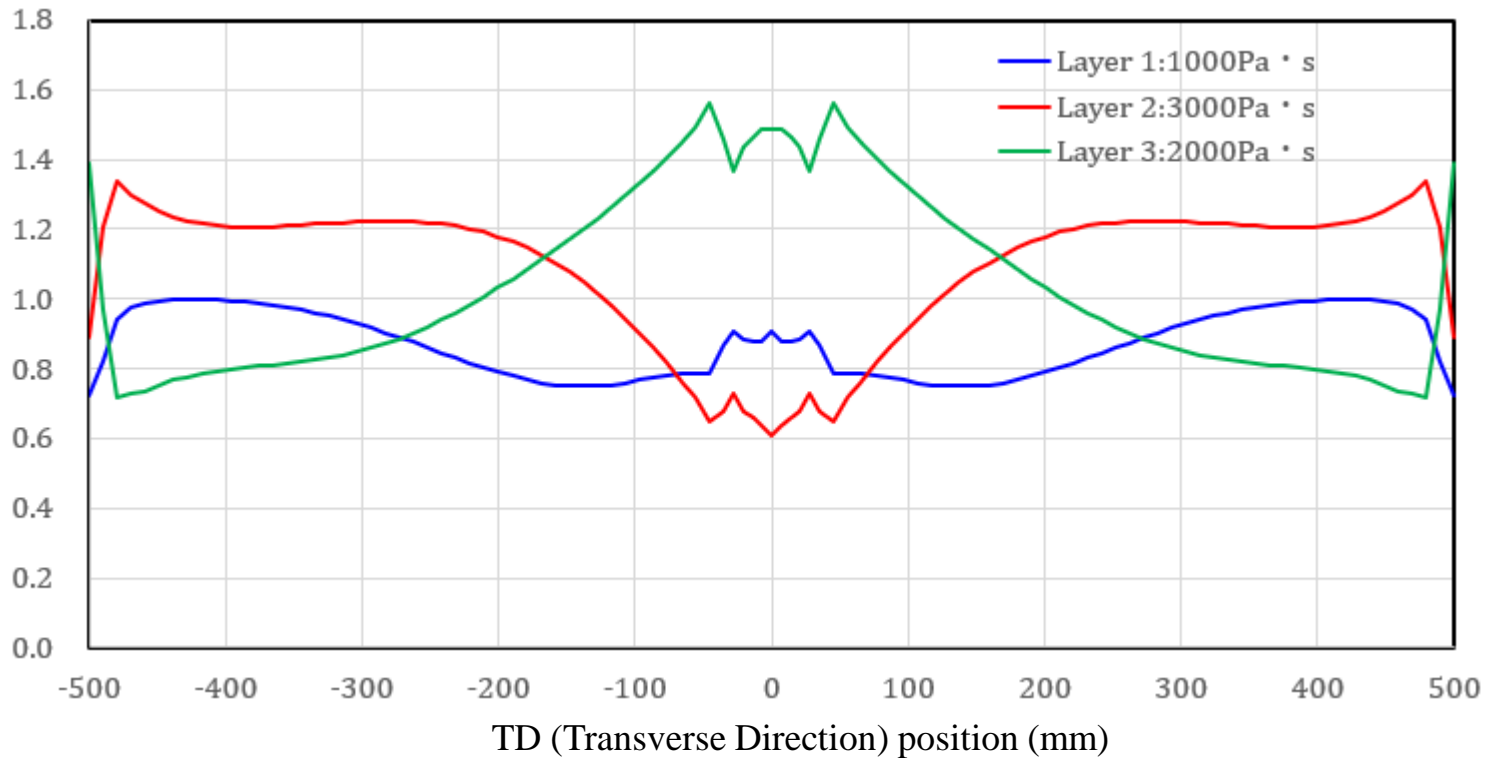
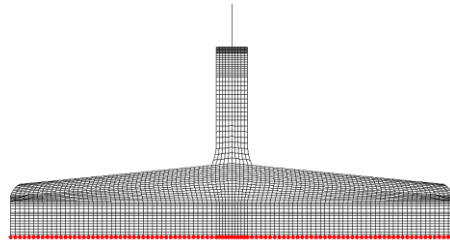


流速分布コンター図(層毎個別表示図)

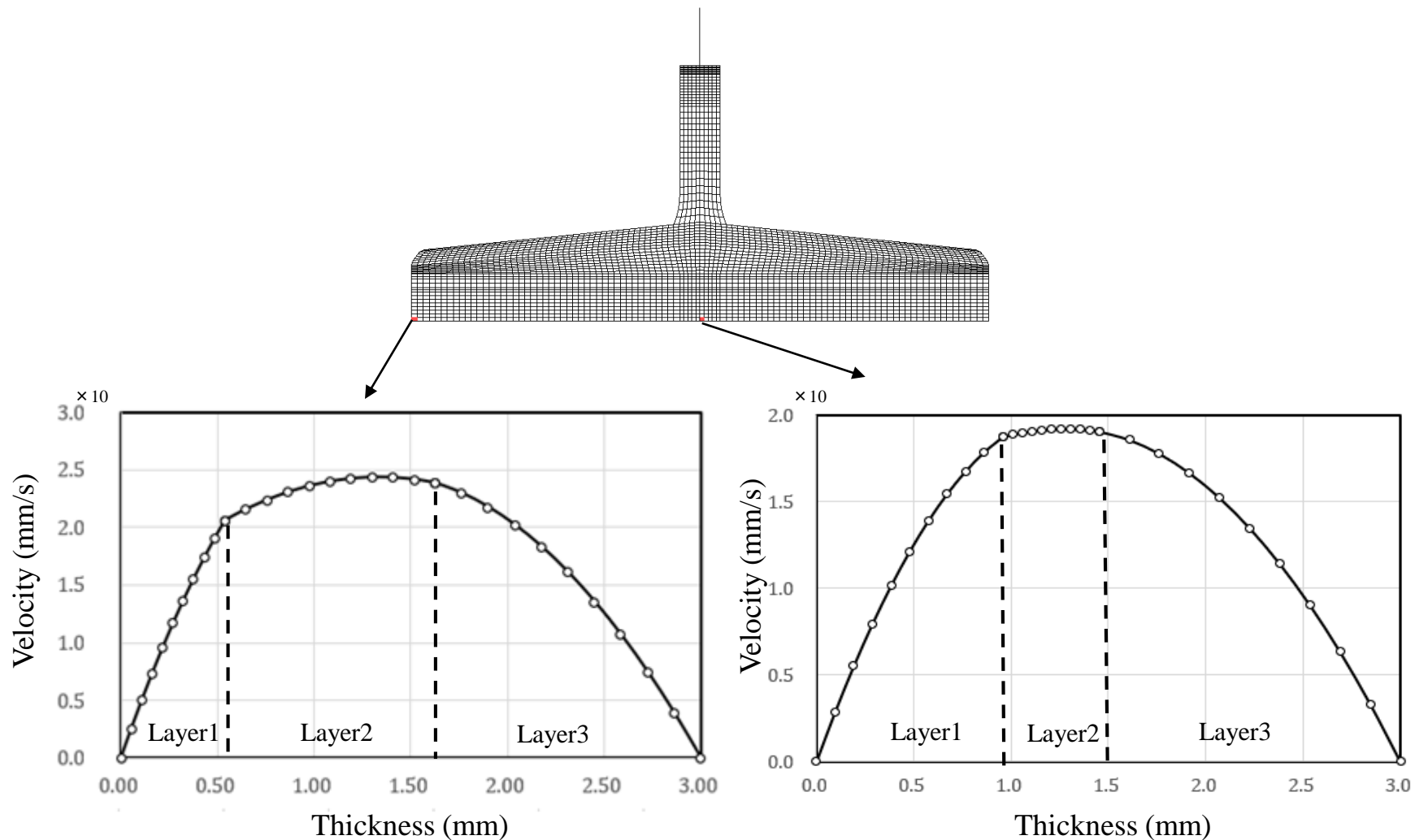




ダイセンターライン位置でのMD方向層厚分布グラフ図



ダイ流出口位置でのTD方向層厚分布グラフ図



ダイ流出口位置の端部及び中央部の流速分布グラフ図