

高粘性流体の剛塑性FEM変形解析

辛 平、天野正実 東芝セラミックス(株)開発研究所

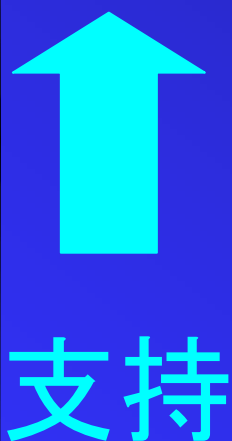
小林卓哉 (株)メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス

講演内容

- 背景・目的
- RPFEMの理論要点
- MARC使用時の注意点
- 解析事例
- まとめ

■ 背景・目的

計算機シミュレーション技術普及の時代

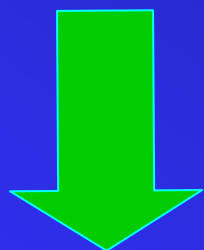


- ハードウェアの進歩
大容量・高速・廉価計算機
(ダウンサイジング)

- ソフトウェアの進歩
OS
人間・計算機のインターフェース
解析手法

■ 背景・目的

計算機シミュレーション技術普及の時代

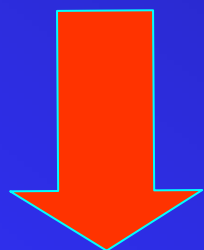


利点

- 問題解決の迅速化
方程式演繹、手計算不要
- 複雑問題の解決可能
高次元(2D,3D)、連成、非線形
- 数値・物理の基礎知識不要
ブラックボックス化

■ 背景・目的

計算機シミュレーション技術普及の時代



欠点

- 傾向の把握が困難
原因結果関係不明、無意味の計算
- 解の数値が重要視される
数値的誤差、境界条件不当、方法使用不当
- 解析結果の解析が困難
改善方向不明

■ 背景・目的

計算機シミュレーション技術普及の時代



目的

- 低次近似解への理解
効率の数値解析、改善方法明確
- 解析効率の向上
問題により数値解の適用範囲

高粘性流体のRPFEM変形解析



RPFEMの理論要点

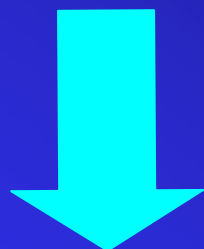


仮定

- 材料が非圧縮である
- 弾性変形が無視できる



RPFEMの理論要点



粘性流体

- 粘性係数/降伏応力の変換
- 非圧縮性条件の処理方法

粘性係数/降伏応力の変換

粘性係数の定義

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

テンソル表示

$$\sigma'_{ij} = \mu(v_{i,j} + v_{j,i})$$

ひずみ速度

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i})$$

粘性流体の応力・ひずみ速度関係

$$\sigma'_{ij} = 2\mu\dot{\varepsilon}_{ij}$$

粘性係数/降伏応力の変換

剛塑性体の応力・ひずみ関係

$$\sigma'_{ij} = \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}}{\dot{\varepsilon}} \dot{\varepsilon}_{ij}$$

粘性流体の応力・ひずみ速度関係

$$\sigma'_{ij} = 2\mu\dot{\varepsilon}_{ij}$$

粘性係数/降伏応力の変換

$$\bar{\sigma} = 3\mu\dot{\varepsilon}$$

非圧縮性条件の処理方法

ポテンシャルエネルギー

$$\begin{aligned}\Phi &= \int_V \sigma'_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} dV + \int_V \sigma_m \dot{\varepsilon}_{ii} dV - \int_S F_i v_i dS \\ &= K v^2 / 2 + \sigma_m g v - f v\end{aligned}$$

釣合状態では最小となる

$$K v = f$$

非圧縮性条件の処理方法

ラグランジュ乗数法

$$\Phi = Kv^2 / 2 + \lambda gv - fv$$

$$\begin{pmatrix} K & g \\ g & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} v \\ \lambda \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f \\ 0 \end{Bmatrix}$$

非圧縮性条件の処理方法

ペナルティ関数法

$$\Phi = Kv^2 / 2 + q(gv)^2 / 2 - fv$$

$$(K + qg^2)v = f$$



MARC使用時の注意点

降伏応力の入力

ユーザサブルーチンURPFLO使用

$$YD = 3 * VIS * ERATE$$

VIS : 粘性係数

ERATE : 相当ひずみ速度



MARC使用時の注意点

非圧縮性条件

- ラグランジュ乗数法

ハーマン要素使用

- ペナルティ関数法

他の要素+ペナルティ値

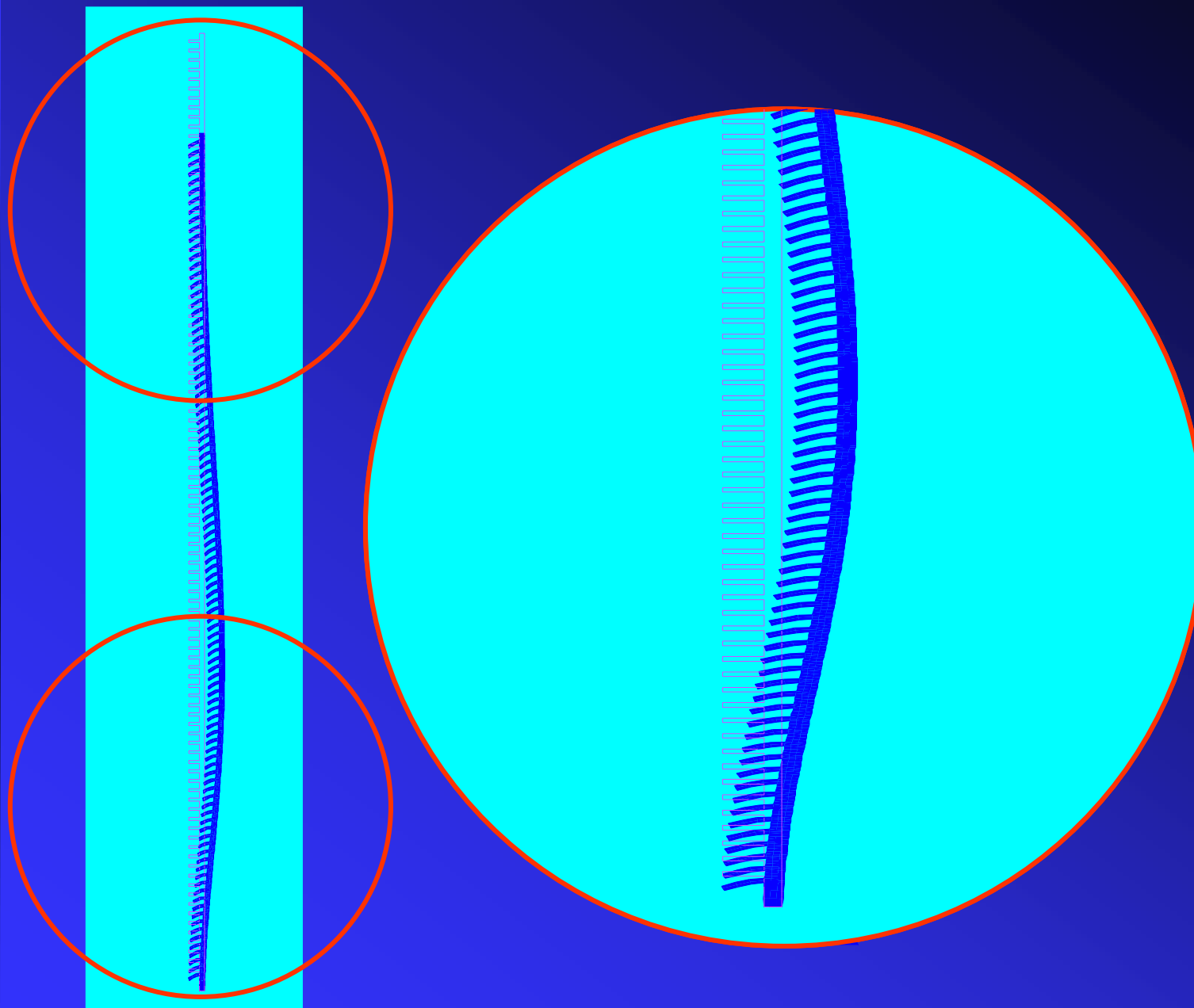
①Constant Dilatation

②Rigid Plastic Incompressibility Penalty

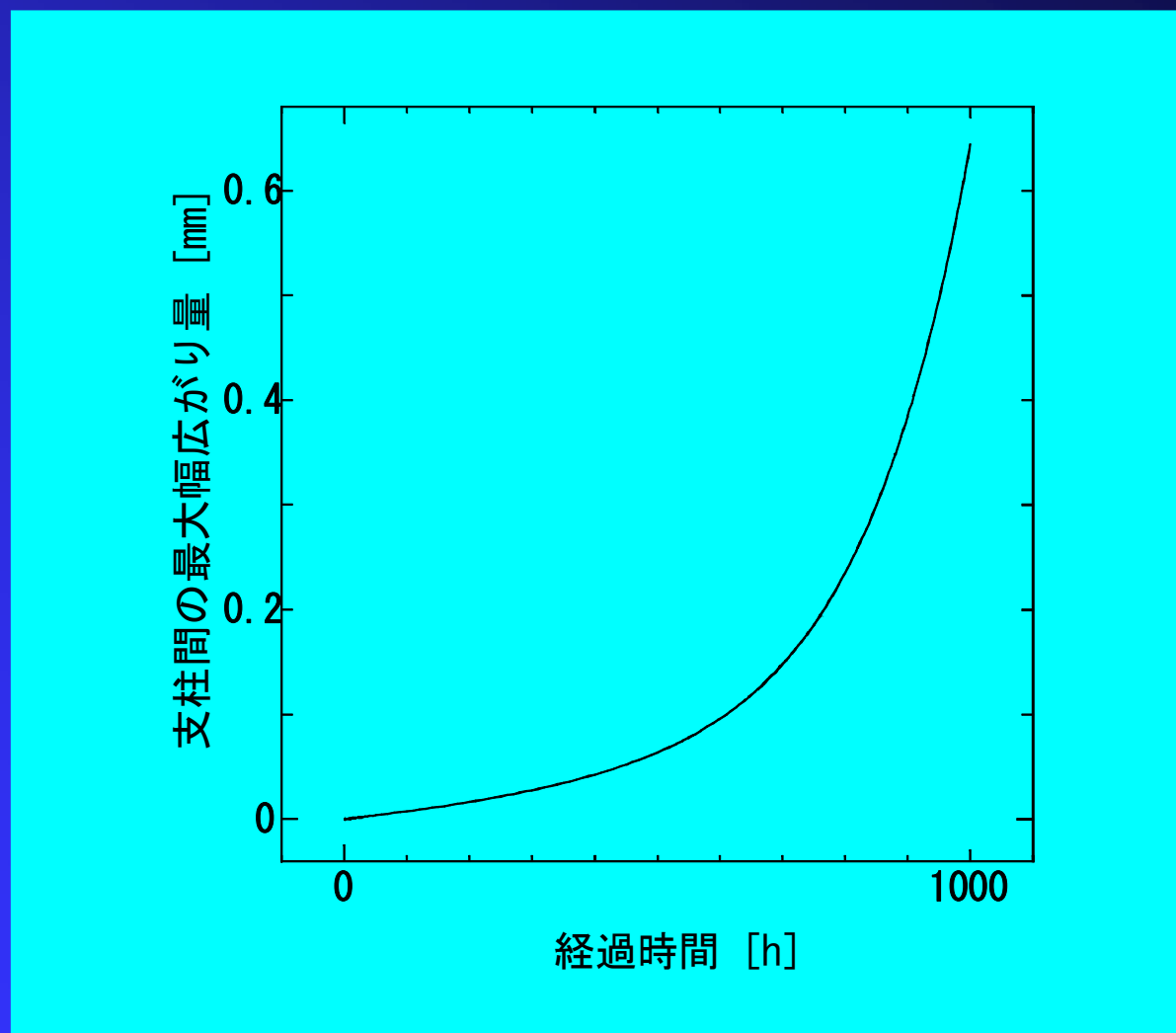


ウェーハボートの変形(解析例1)

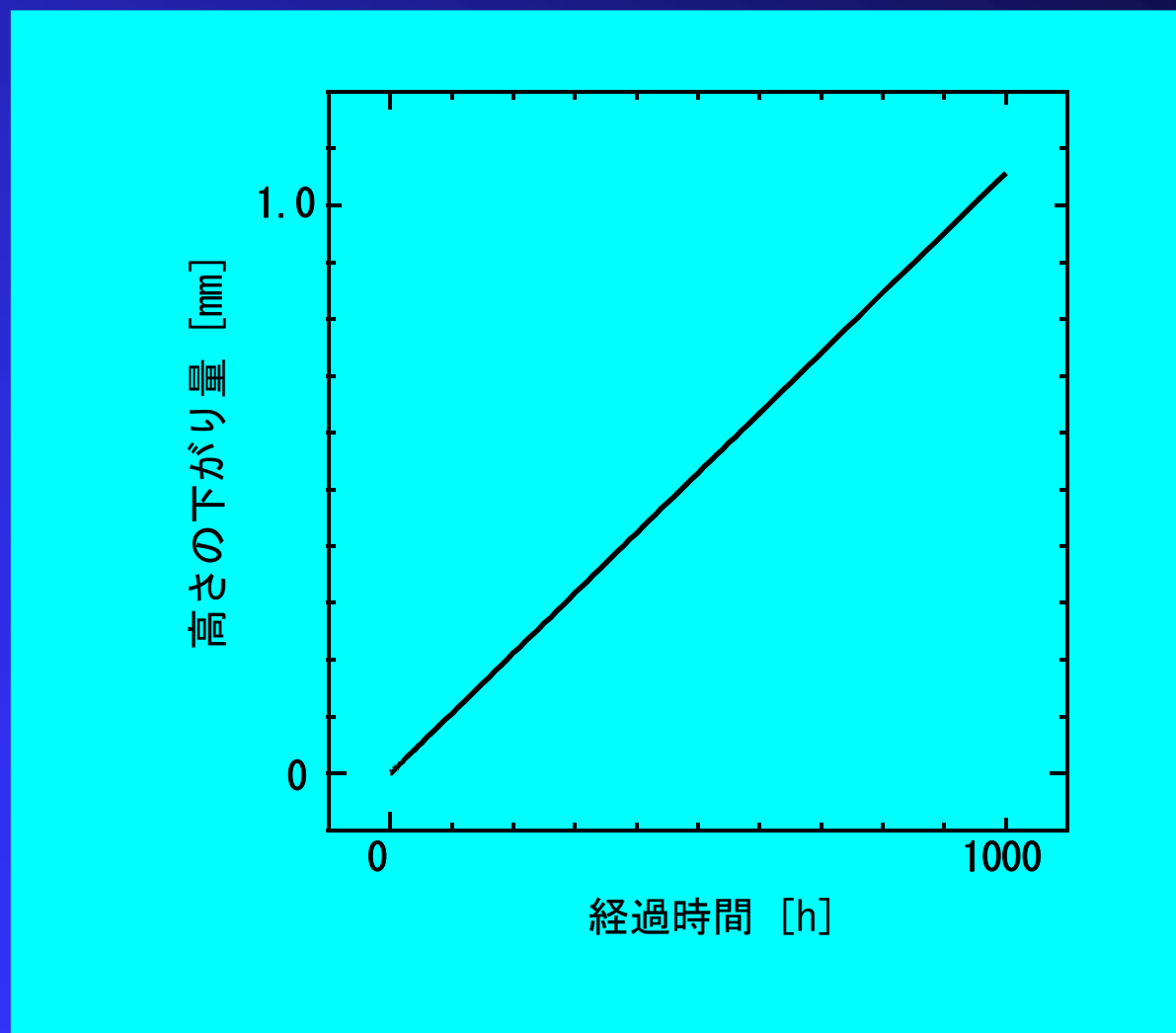




ボート使用中における支柱間の広がり

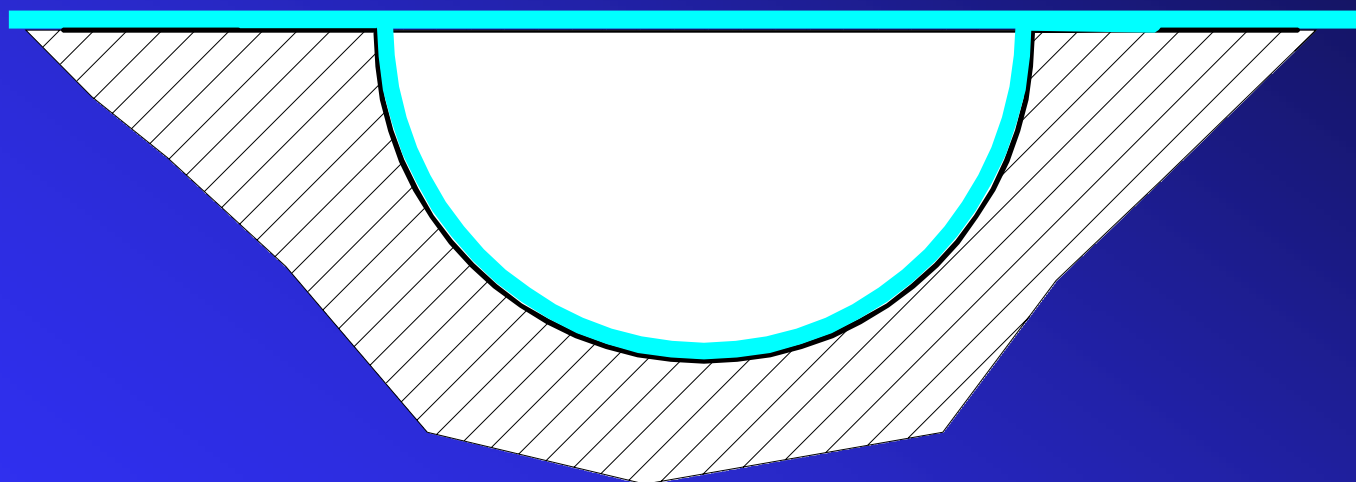


ボート使用中における高さの下がり





石英板自由曲面成形(解析例2)

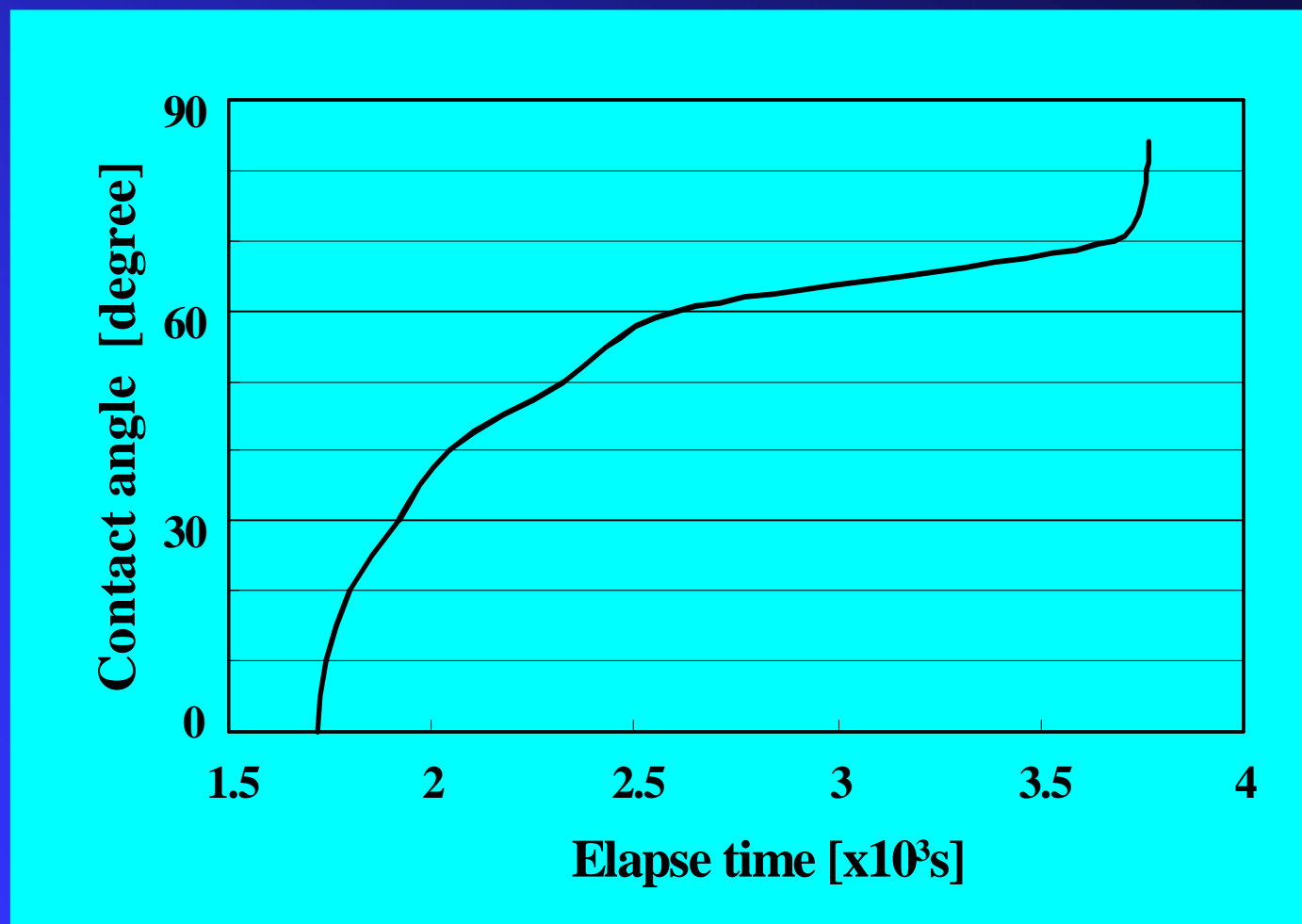


MARCによる石英ガラスの剛塑性解析

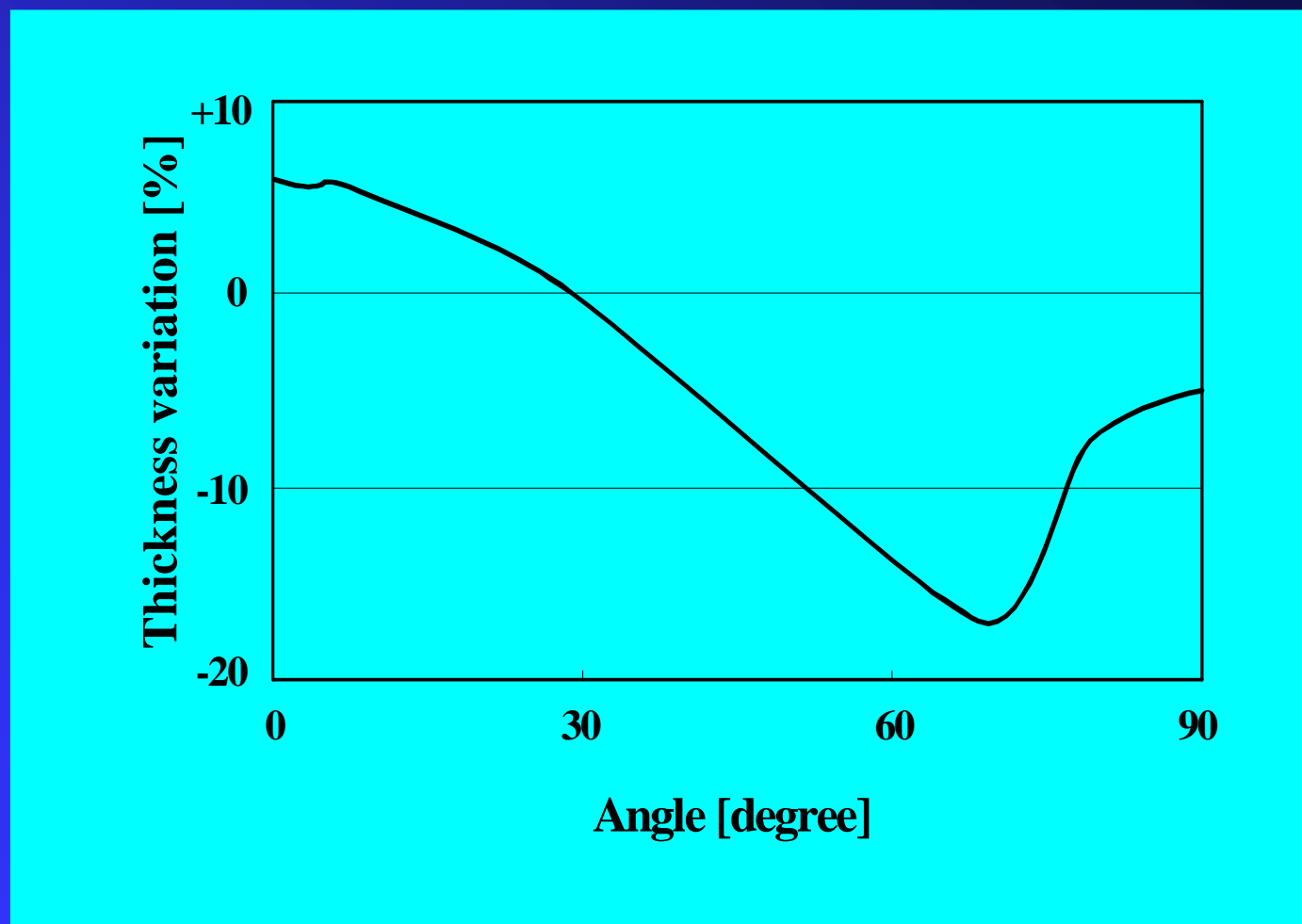
(開封済)

glass.avi

成形におけるダイスへの接触プロセス



成形後の肉厚分布





まとめ

- 粘性流体へのRPFEM適用方法
粘性係数/降伏応力の変換
非圧縮性条件
- 石英ガラスの変形解析例
大変形解析の有効手法