

# 弾性変形シール形金属パッキンの 実用化研究開発



久保田祐信

九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門

福岡水素エネルギー戦略会議 平成22年度第6回研究分科会  
～ 高圧水素下における機械要素研究分科会 / 高圧水素貯蔵・輸送研究分科会 ～

平成23年2月18日(金)

九州大学伊都キャンパス ウェスト4号館910

本研究開発は福岡水素エネルギー戦略会議の開発支援事業により実施

福岡水素エネルギー戦略会議 研究活動 - Windows Internet Explorer

http://www.f-suiso.jp/study.html

福岡水素エネルギー戦略会議 研究活動

## 福岡水素エネルギー戦略会議

Fukuoka Strategy Conference for Hydrogen Energy

ホーム > 研究活動

### 研究活動

Research activities

#### 平成22年度 研究開発支援事業 採択結果

福岡水素エネルギー戦略会議において採択審査を行い、以下のとおり、事業化研究枠2テーマ、可能性調査枠1テーマの採択が決定いたしました。

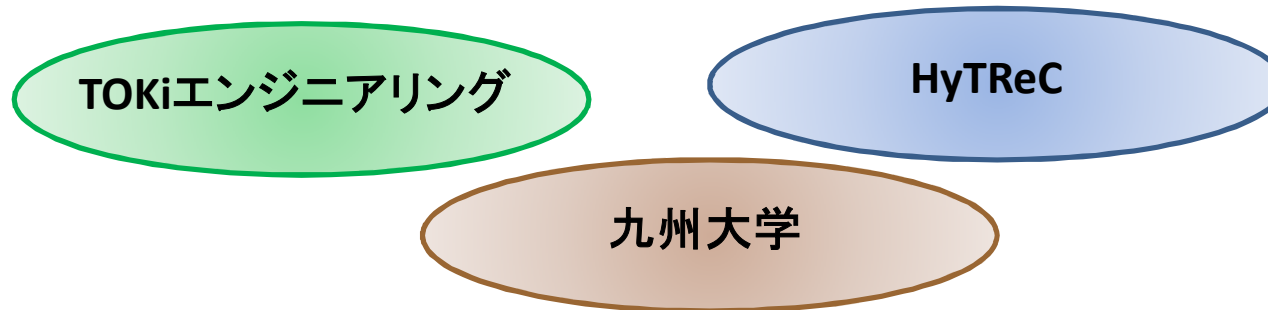
**【事業化研究枠】(2テーマ)**

- ◆携帯用高速水素濃度検出器の研究開発  
〔九州大学大学院、オリイメック(株)〕
- ◆弾性変形シール形ステンレス金属パッキンの実用化研究開発  
〔TOKIエンジニアリング(株)、九州大学大学院〕

**【可能性調査枠】(1テーマ)**

- ◆燃料電池用極細熱電対の製作工程の適正化  
〔エムファイン(有)、九州大学大学院〕

福岡水素エネルギー戦略会議 平成22年度開発支援事業  
「弾性変形シール形ステンレス金属パッキンの実用化研究開発」



研究期間: 3年間

研究開発費: 平成22年度1000万円

研究開発のキーポイント:

「水素高圧貯蔵」に求められる「高信頼性のガス気密技術の開発」

「従来のゴム製・金属製リングの問題点を解決した新しい発想の製品」

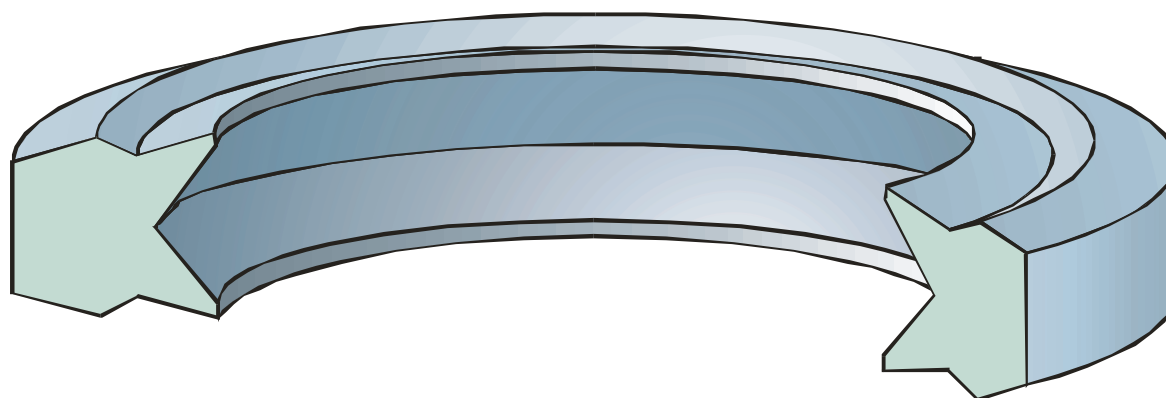
「市場投入」

研究開発の内容:

1. 精密構造設計技術の確立
2. 高精度・超精密金属加工技術の確立
3. 性能評価・耐久性評価



## 弾性変形シール形金属パッキン



### (特長)

- ・機械加工で製作(短納期・低価格・大量生産可能)
- ・メンテナンス性良好(溝に圧着することがない)
- ・樹脂材料のような水素による破壊を生じない

### (開発課題)

- ・シール性能の確認
- ・形状の最適化
- ・破壊モードの確認

### (実施項目)

- HyTReCでの水圧・水素圧試験(漏洩, サイクル) →
- コンピュータ解析による応力状態の検討 →
- ・試作 ←

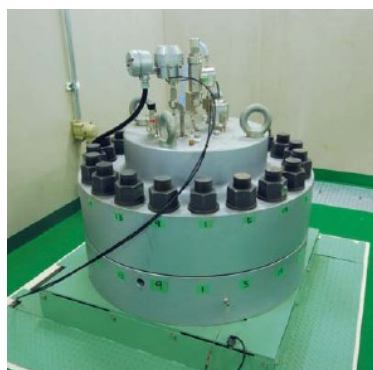
# HyTReCで実施した 耐圧・圧力サイクル・気密試験



# HyTReCで実施した耐圧試験およびサイクル試験



公益財団法人 水素エネルギー製品研究試験センター(福岡県糸島市)



水圧圧力サイクル試験  
0~87.5MPa, 0.5cycle/min



破裂試験 343MPa

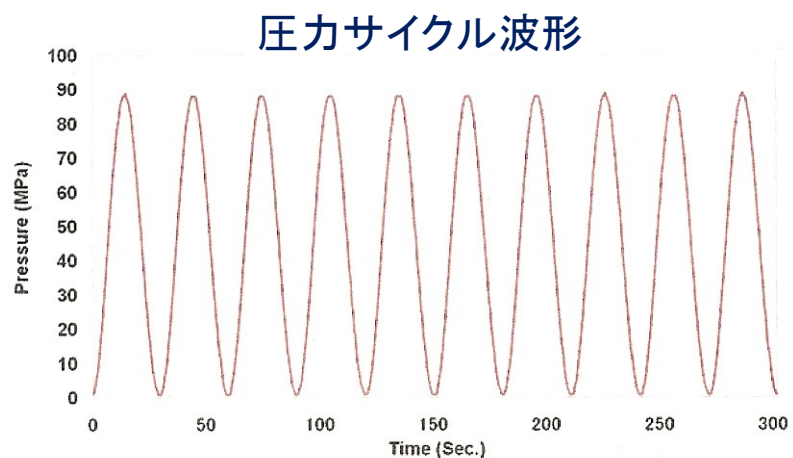
試作品の製品試験  
水素関連製品の試験法開発  
水素関連製品の開発  
教育・啓蒙

(試験条件)

サイクル速度: 2回/min

圧力: 0~88MPa (70MPa × 1.25)

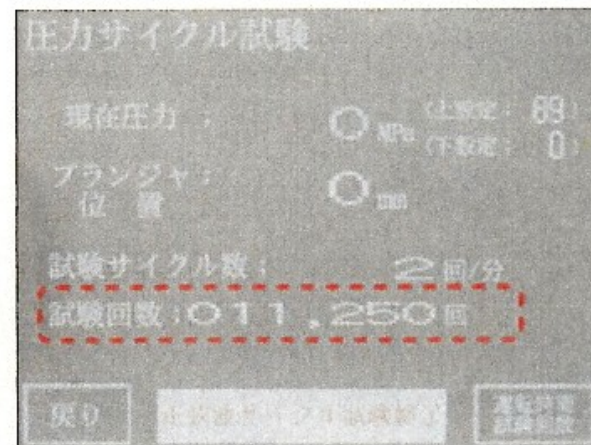
加圧媒体: イオン交換水



試験状況



試験体の写真



試験結果

0~88MPaの圧力サイクル(水圧)を  
11250回繰返しても漏水は認められなかった



(試験条件)

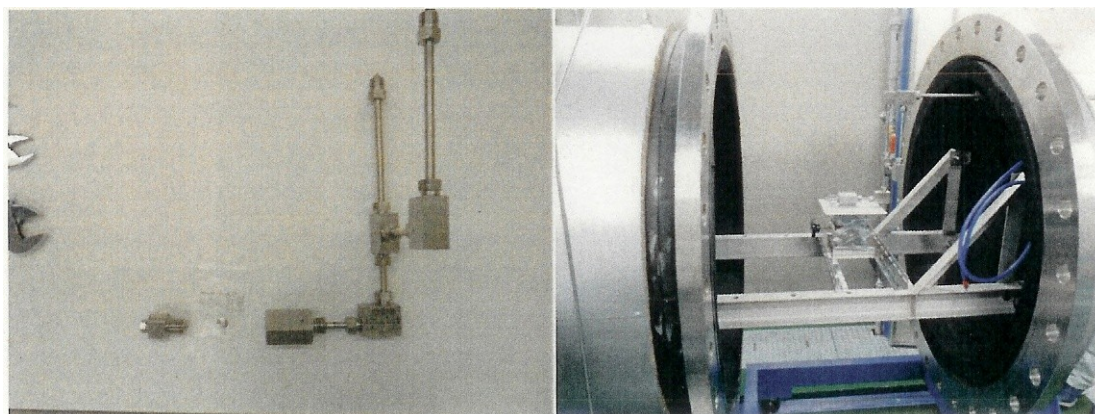
水素ガス

圧力: 1~90MPa の昇圧と減圧の繰返し

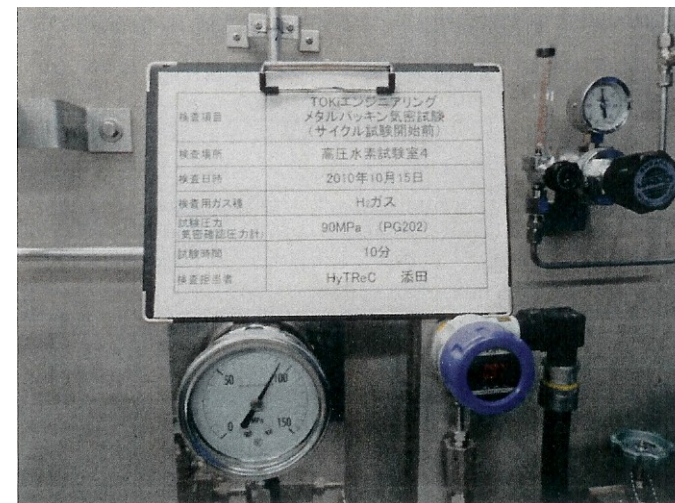
回数: 11250回

気密の確認方法: 水素ガス90MPaで10分間, 耐爆カバー内の水素漏洩検知器で確認

試験装置と試験体の設置状況



試験中の様子



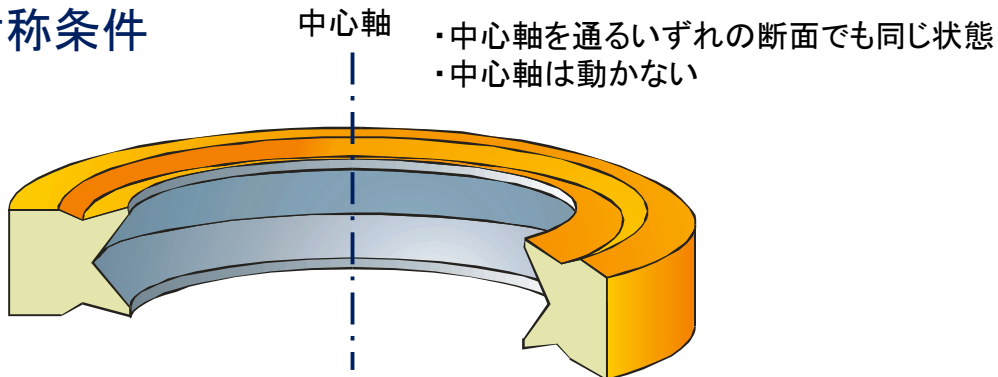
1~90MPaの圧力サイクル(水素ガス)を  
11250回繰返しても漏洩は認められなかった

# 有限要素法解析

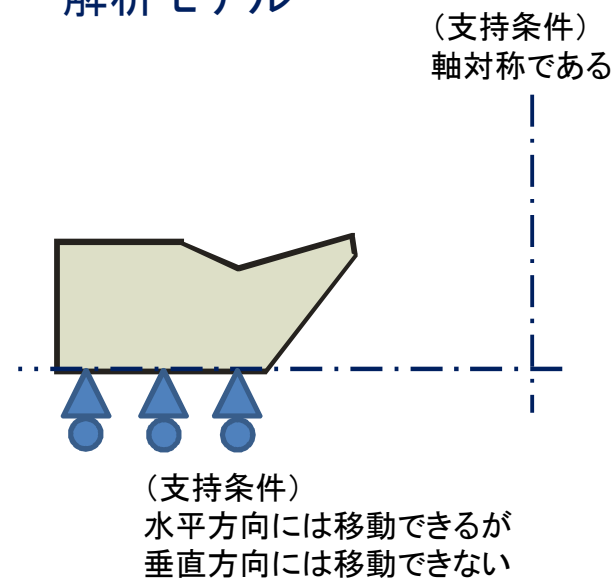


## 妥当な解が少ない計算で得られるように現実問題をモデル化する

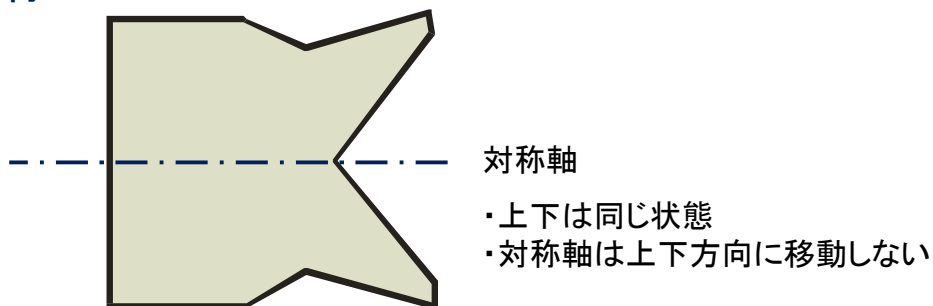
### ・軸対称条件



### ・解析モデル

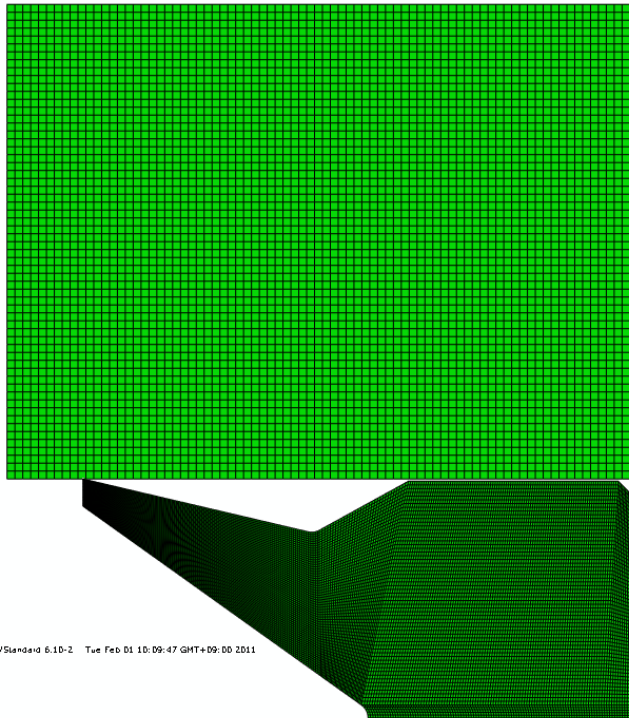


### ・上下対称



## 荷重の加え方とメッシュ分割

- ・剛性の高い円盤で押さえつけて締付けを表現



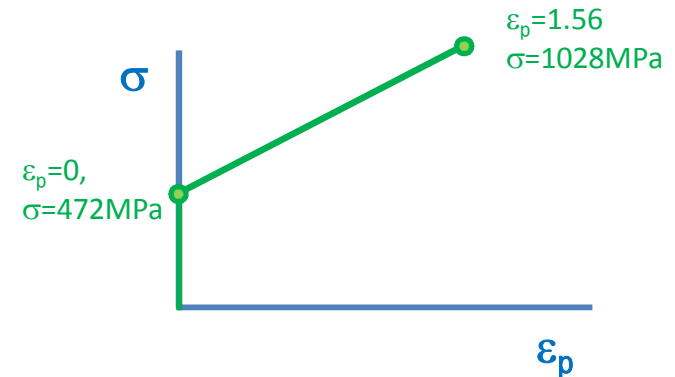
ODB: a14mcl010.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Tue Feb 01 10:09:47 GMT+09:00 2011

ステップ: Step-6  
Increment: 10: Step Time = 5.000

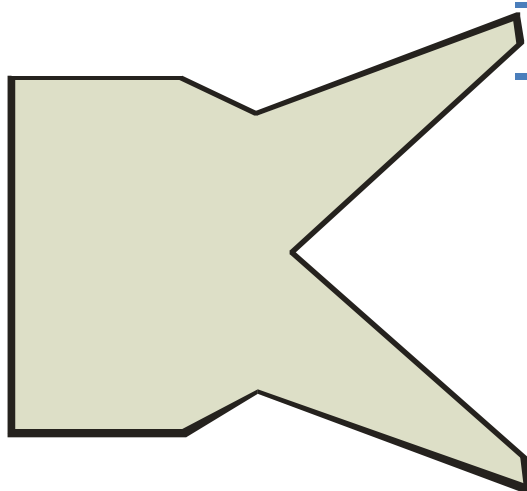
接触部には摩擦を定義:  $\mu = 0.2$

## 材料特性

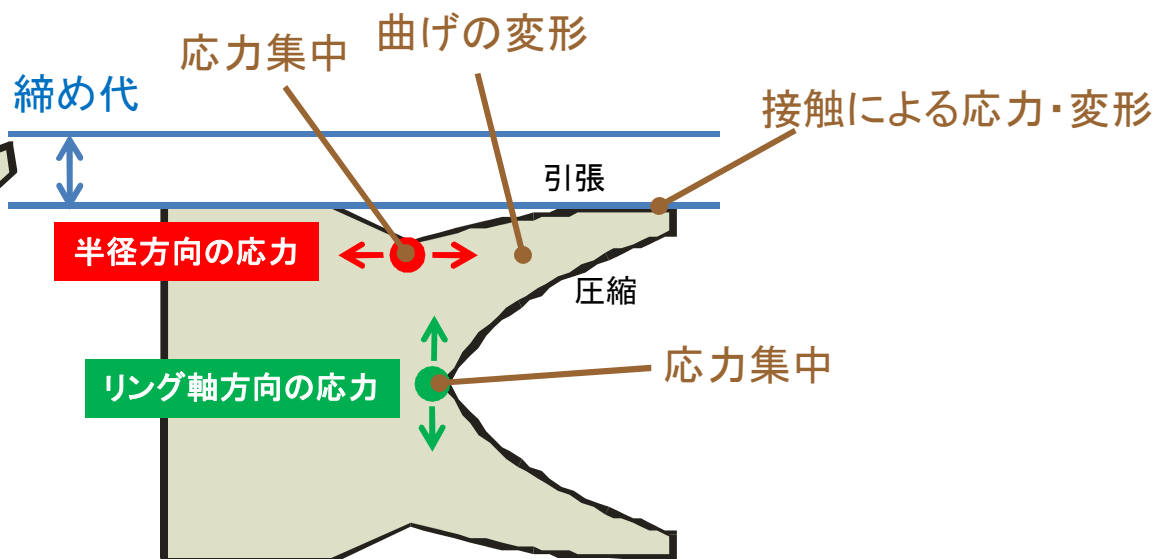
- ・SUS316L(丸棒, 受け入れまま)
- ・引張試験により機械的性質を取得  
 弾性率  $E = 188.6\text{GPa}$   
 0.2%耐力  $\sigma_{0.2} = 472\text{MPa}$   
 絞り  $\phi = 78\%$
- ・解析で定義した塑性挙動



## ・もとの形状

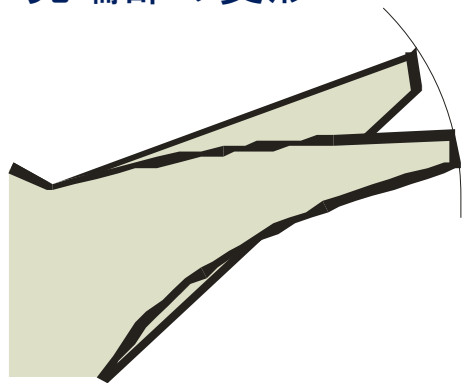


## ・使用時の形状

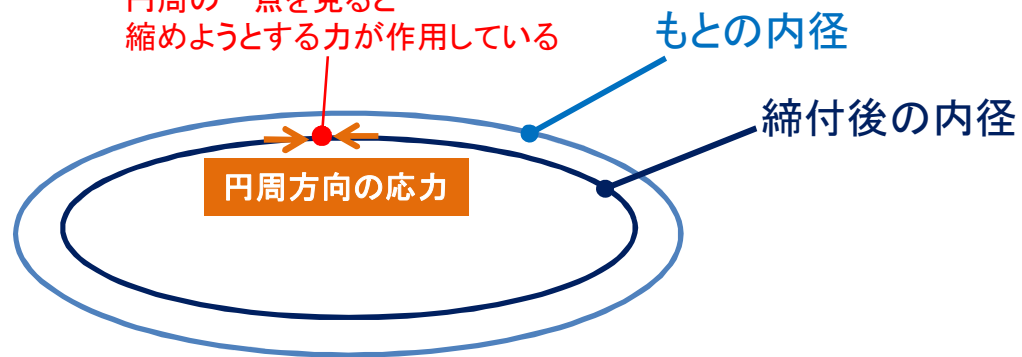


## ・先端部の変形

円弧状の軌跡で変形



円周の一点を見ると縮めようとする力が作用している

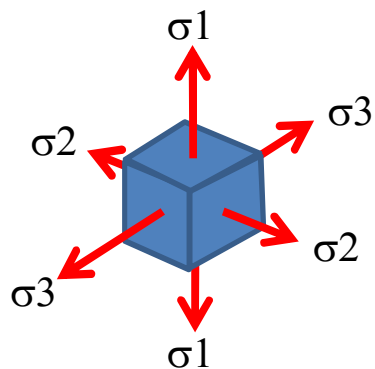


- ・リングにシール性能を損なうような塑性変形は生じていないか
- ・接触部の潰れ具合
- ・圧力が繰返されたときに、疲労破壊が心配となるような応力は生じていないか

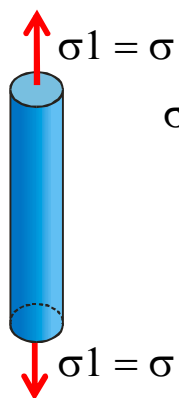
(塑性変形が生じるかどうかの基準)

$$\text{ミーゼス応力 } \sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2} \{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}}$$

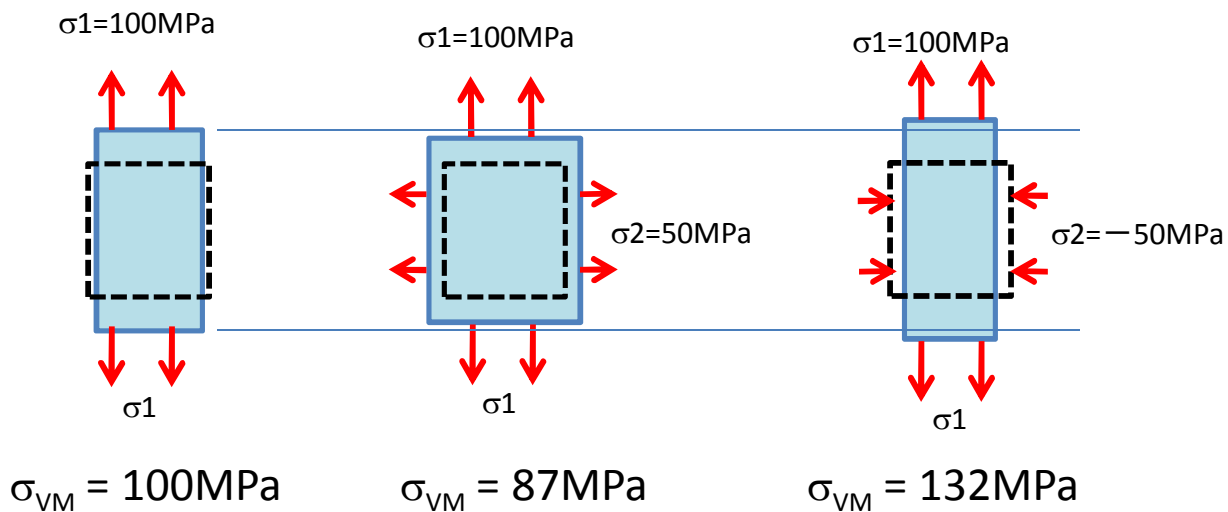
・この値が $\sigma_{0.2}$ を超えていたら  
塑性変形を生じていると判断する



引張試験



$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2} \{ \sigma^2 + \sigma^2 \}} = \sigma$$



# 解析結果

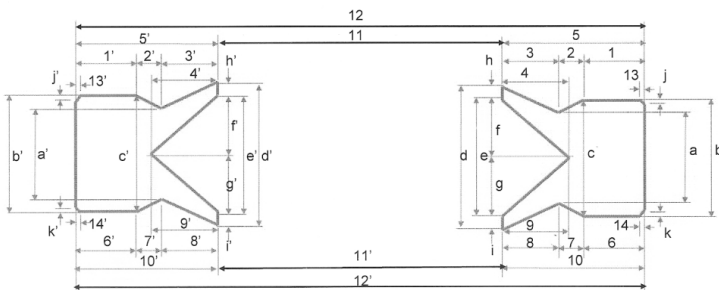
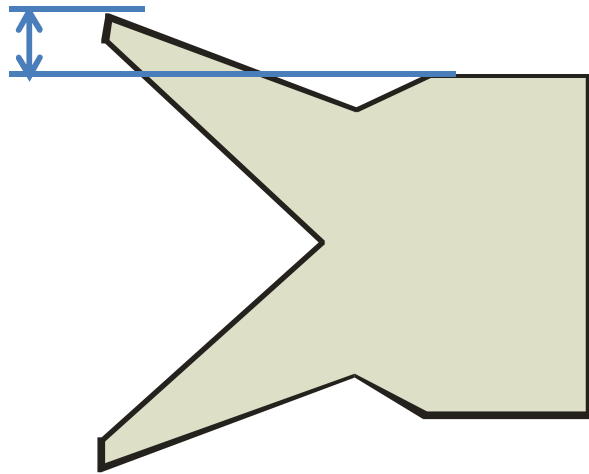
## 応力状態に及ぼす締め代の影響



# 締め代の影響①(締め付け → 解放の過程のミーゼス応力の変化)

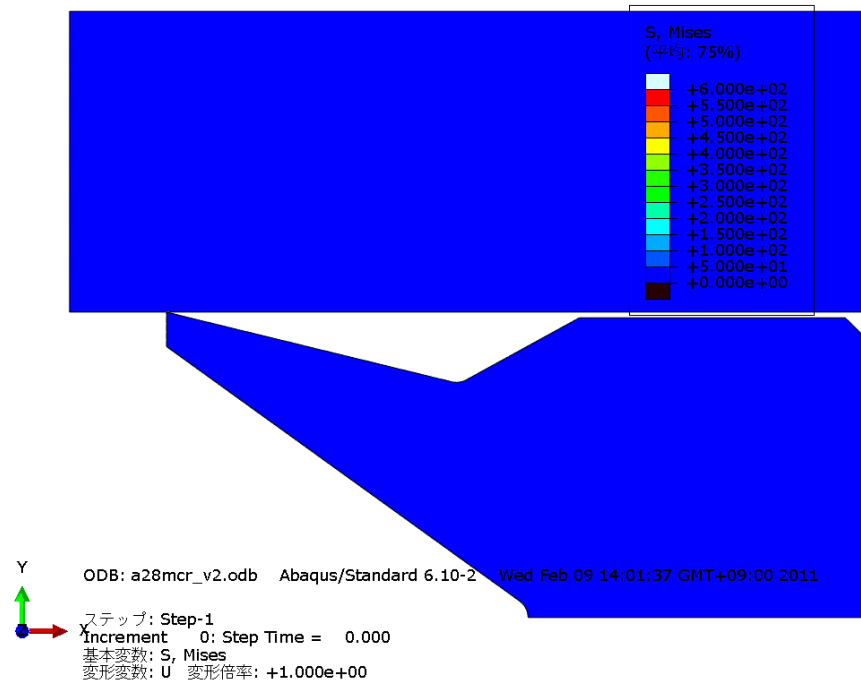
・リングを締め代の分だけ変形させたときの応力状態

締め代: 28, 14, 7, 3.5 $\mu$ m



外径: 12mm 接触部の摩擦係数: 0.2  
 内径: 5mm  
 厚み: 3mm

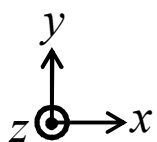
ステップ: Step-1 フレーム: 0  
 全時間: 0.000000



ミーゼス応力の分布の変化  
 締め代28 $\mu$ m

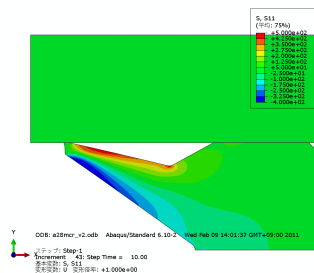


# 締め代の影響② (応力のコンター図)

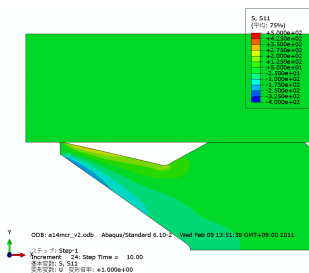


半径方向の応力  
 $\sigma_r$

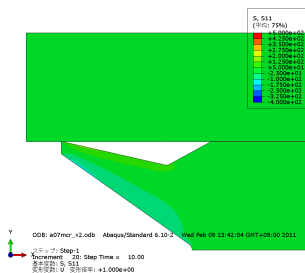
・締め代28 $\mu\text{m}$



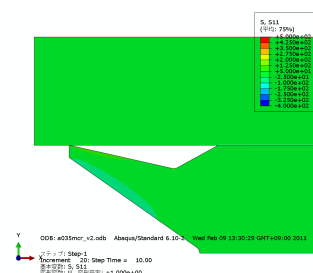
・締め代14 $\mu\text{m}$



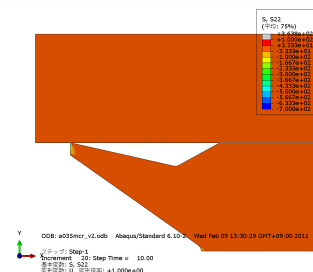
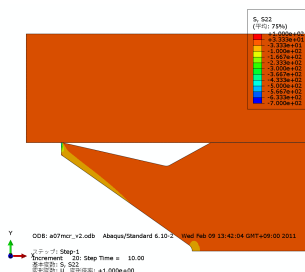
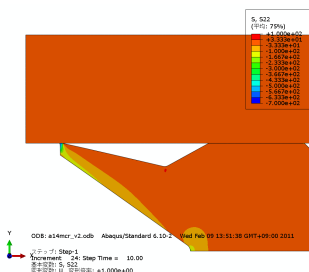
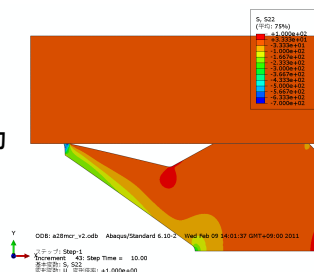
・締め代7 $\mu\text{m}$



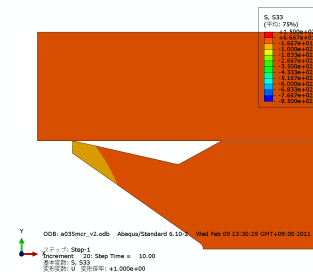
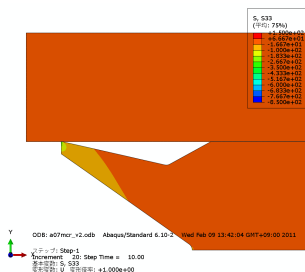
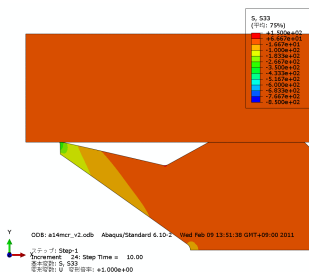
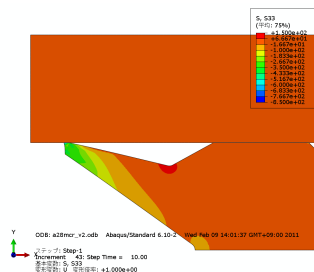
・締め代3.5 $\mu\text{m}$



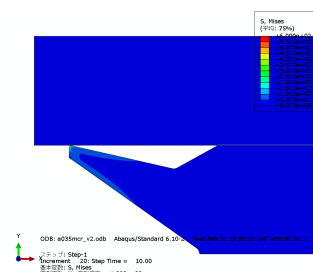
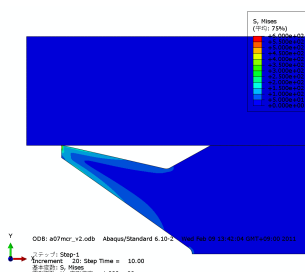
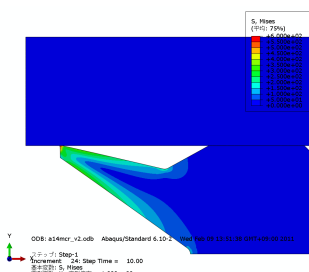
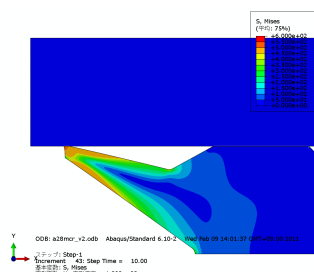
リング軸方向の応力  
 $\sigma_A$



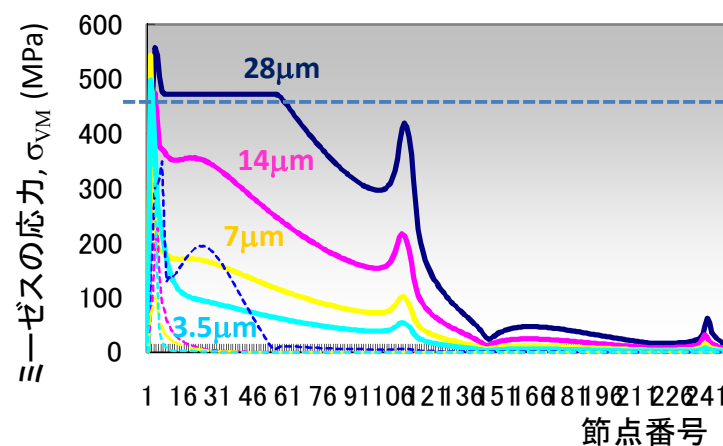
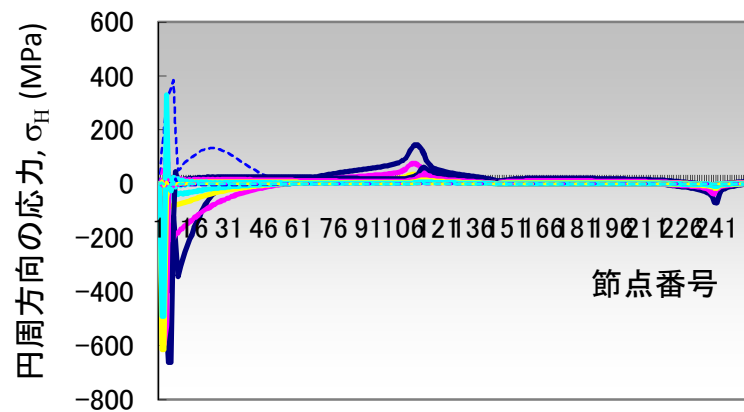
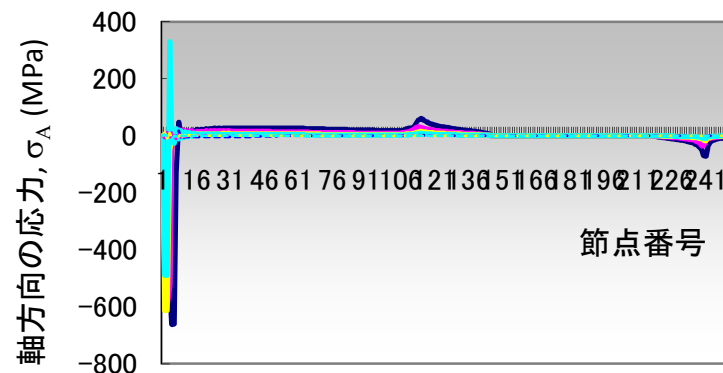
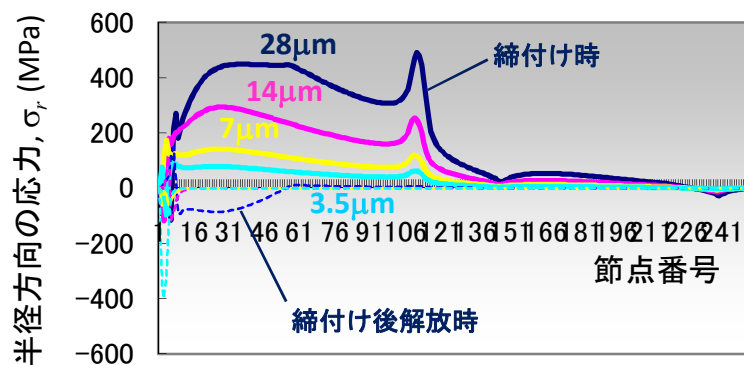
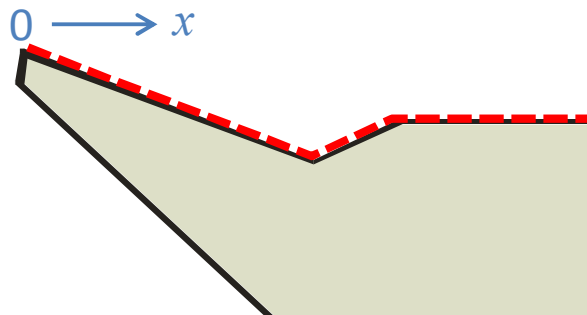
円周方向の応力  
 $\sigma_H$



ミーゼス応力  
 $\sigma_{VM}$

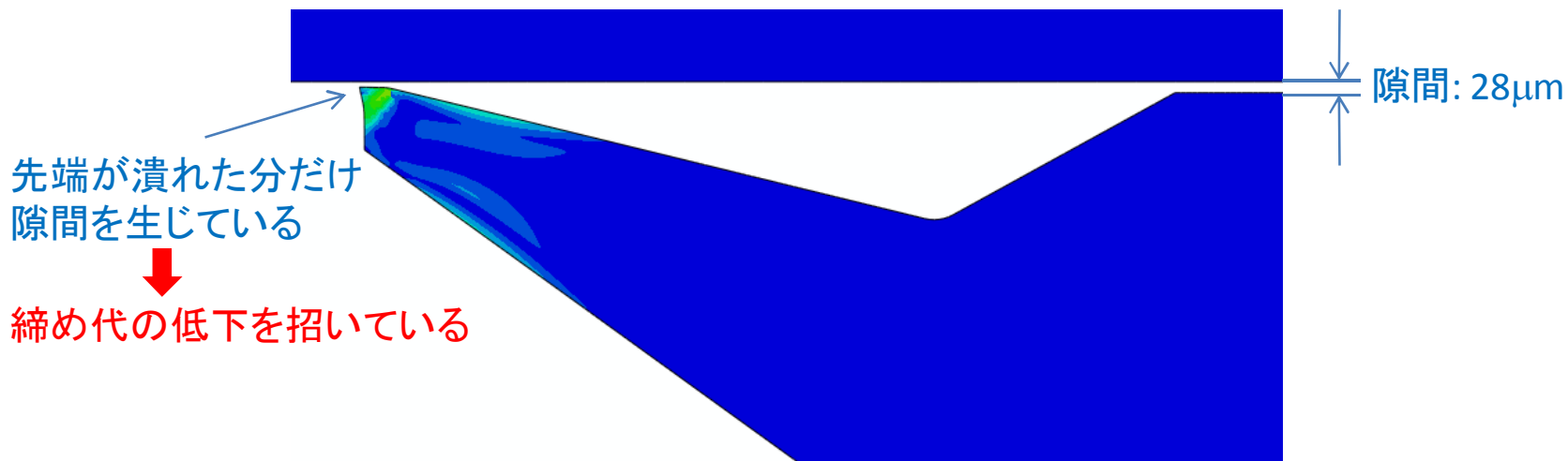


# 締め代の影響③(応力分布)

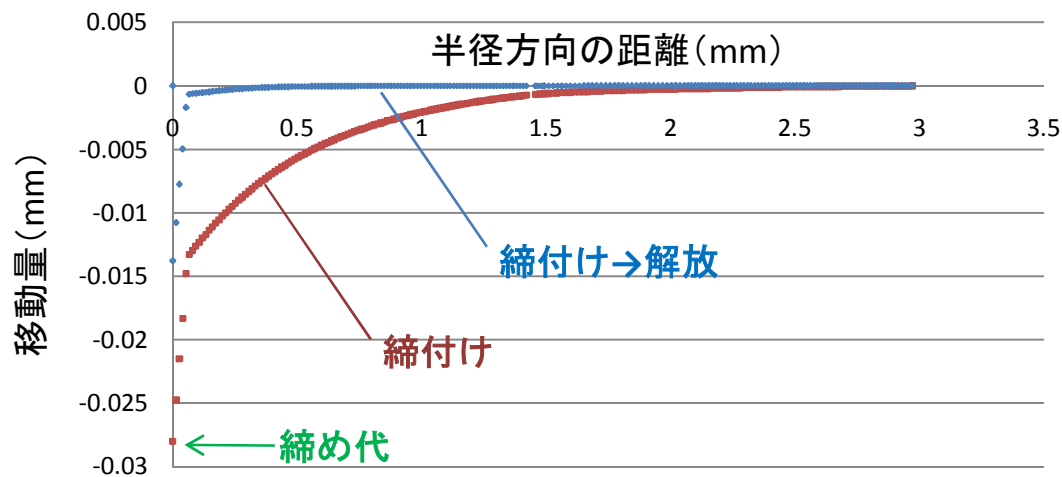


# 締め代の影響④(残留変形)

・締め付け → 解放したときに残っている変形(締め代28 $\mu$ m)



先端部の変形／回復の状態(初期状態からリング軸方向に移動した距離)



# 解析結果

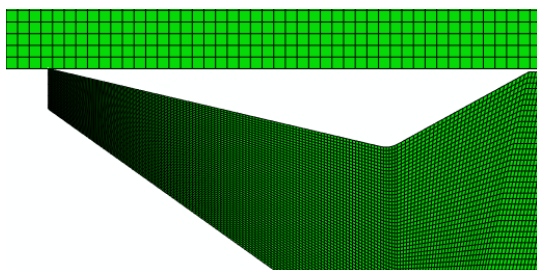
## 先端の丸みの影響



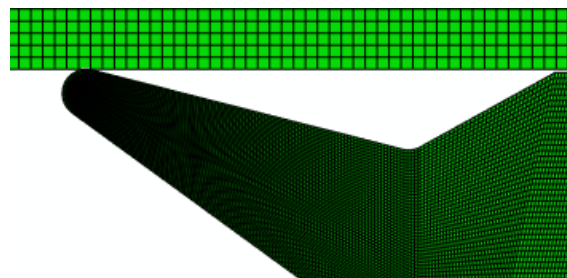
# 先端の丸み①(形状)

- ・先端に丸みを付けて、潰れの防止(締め代14 $\mu$ m)

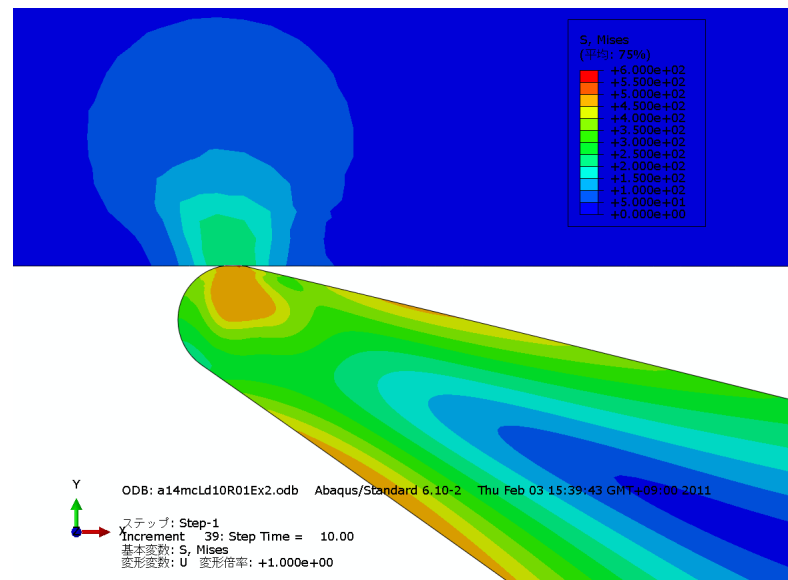
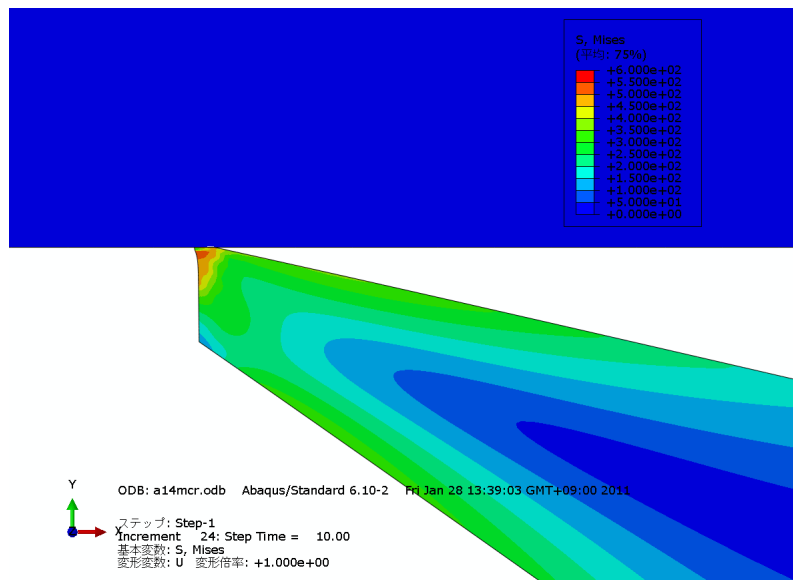
(角)



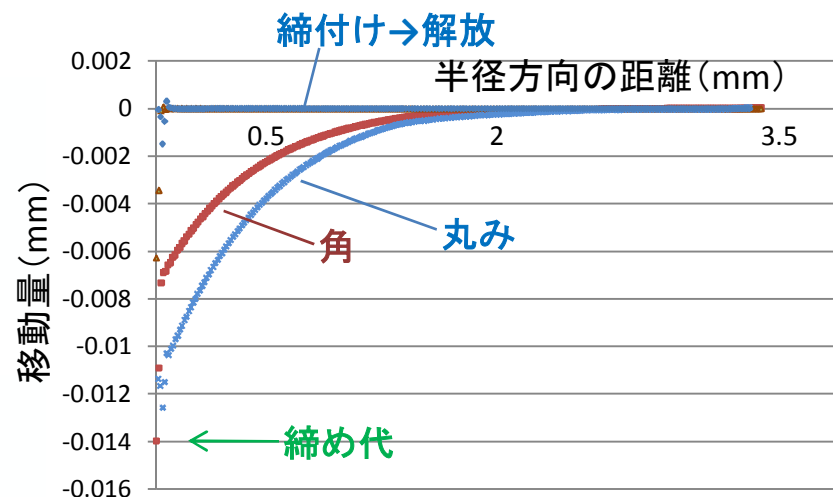
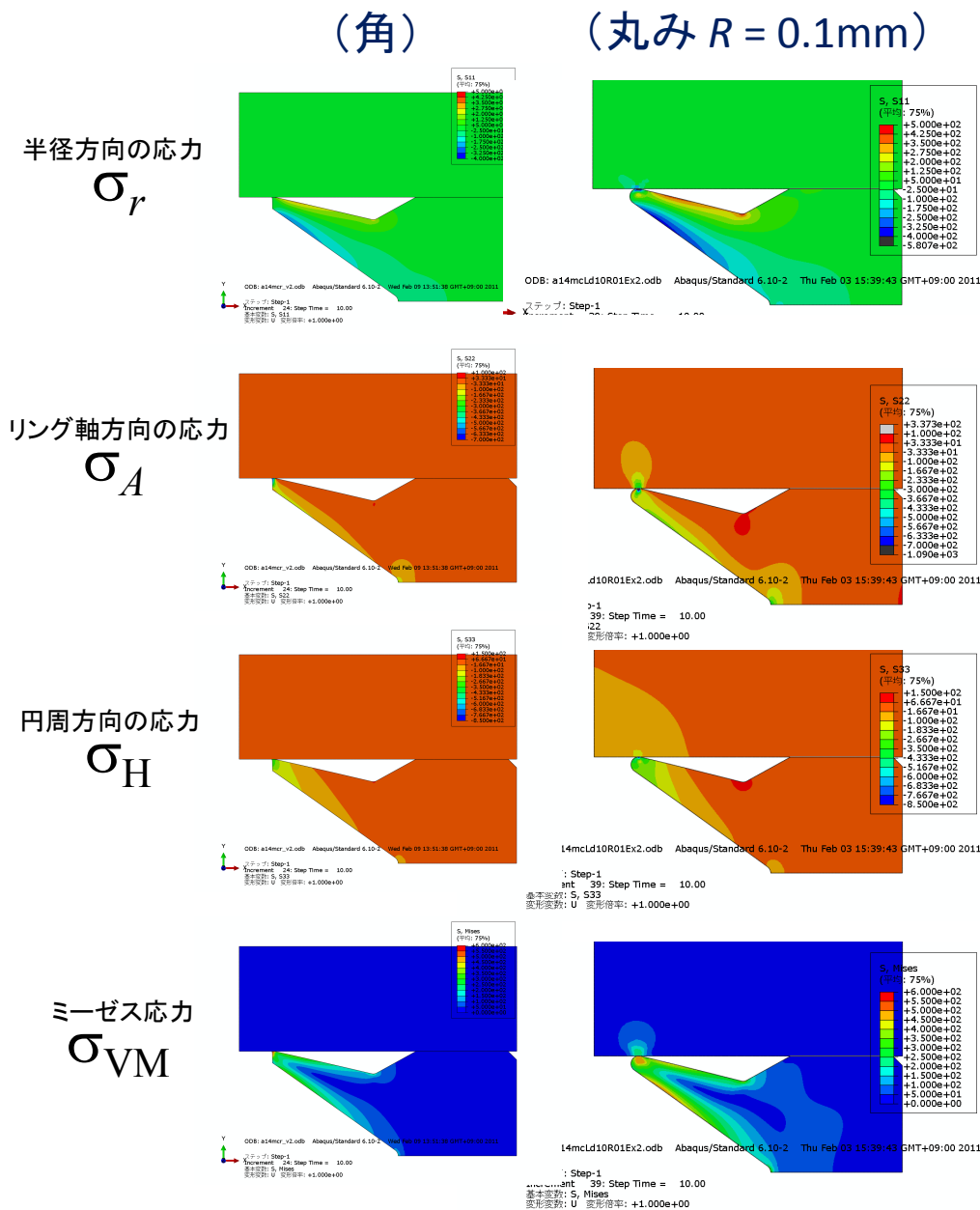
(丸み  $R = 0.1\text{mm}$ )



締め付け時の先端の変形状態(コンターはミーゼス応力, スケールは同じ)



# 先端の丸み②(応力コンター図)



- ・先端の潰れは締め代を減少させる
- ・丸みは潰れを防止する
- ・潰れは腕の部分の応力を緩和する
- ・丸みの場合応力は比較的高い
- ・潰れはあたりを良くするが接触圧力は低下
- ・丸みの場合接触圧力の低下はない
- ・角は製作上コントロール可能か？

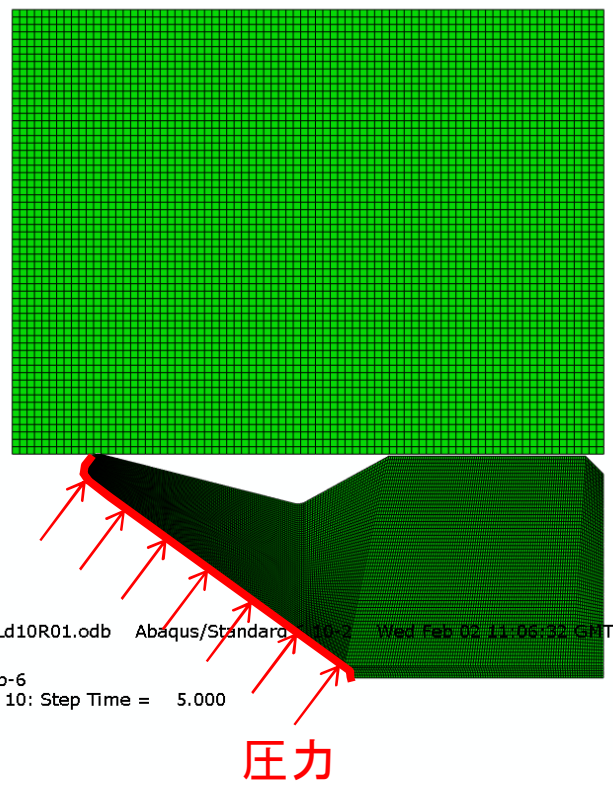
# 解析結果 内圧の影響



# 内圧の影響①(モデルと結果のアニメーション)

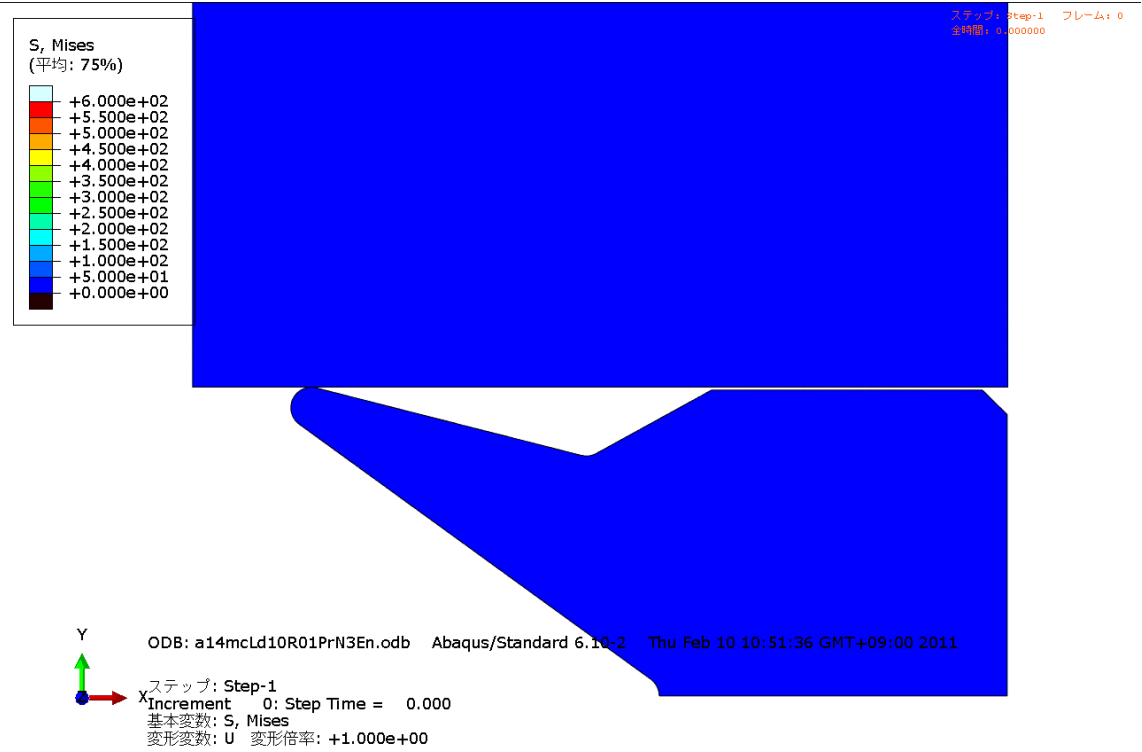
- ・100MPaの圧力を負荷
- ・締め代14μm
- ・丸み  $R = 0.1\text{mm}$

- ・解析手順
- 締め込み
- 100MPa → 0MPa
- 100MPa → 0MPa
- 100MPa → 0MPa
- 解放



1cLd10R01.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Wed Feb 02 11:06:32 GMT+09:00 2011  
 Step-6  
 10: Step Time = 5.000

## ・ミーゼス応力





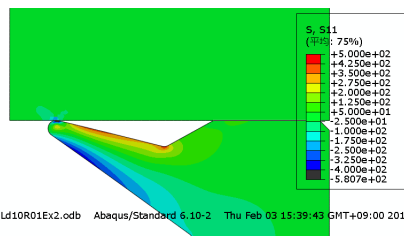
# 内圧の影響②(応力コンター図)

(締込みのみ)

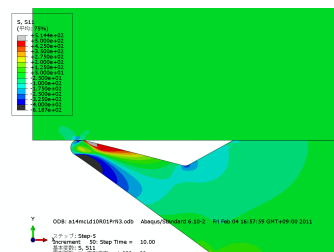
(100MPa負荷)

半径方向の応力

$$\sigma_r$$



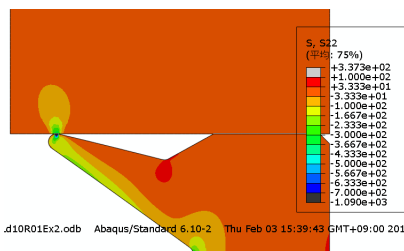
ODB: a14mcLd10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Thu Feb 03 15:39:43 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-1



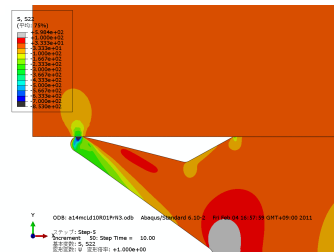
ODB: a14mcLd10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Fri Feb 04 16:37:39 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-5  
Increment: 10 Step Time = 10.00  
変形率: U 変形率: +1.000e+00

リング軸方向の応力

$$\sigma_A$$



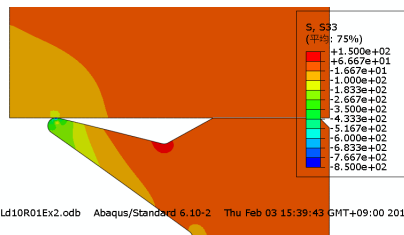
d10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Thu Feb 03 15:39:43 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-1  
Increment: 39 Step Time = 10.00  
変形率: U 変形率: +1.000e+00



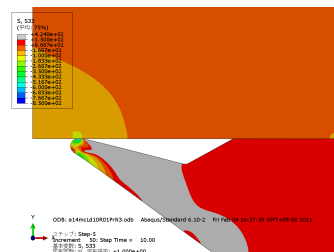
ODB: a14mcLd10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Fri Feb 04 16:37:39 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-5  
Increment: 10 Step Time = 10.00  
変形率: U 変形率: +1.000e+00

円周方向の応力

$$\sigma_H$$



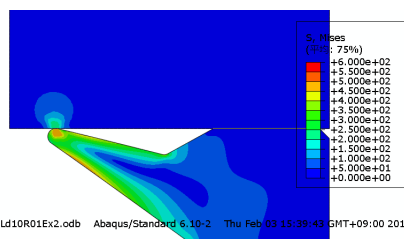
ODB: a14mcLd10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Thu Feb 03 15:39:43 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-1  
Increment: 39 Step Time = 10.00  
変形率: U 変形率: +1.000e+00



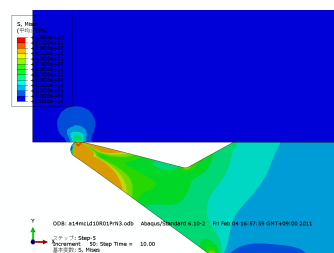
ODB: a14mcLd10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Fri Feb 04 16:37:39 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-5  
Increment: 10 Step Time = 10.00  
変形率: U 変形率: +1.000e+00

ミーゼス応力

$$\sigma_{VM}$$

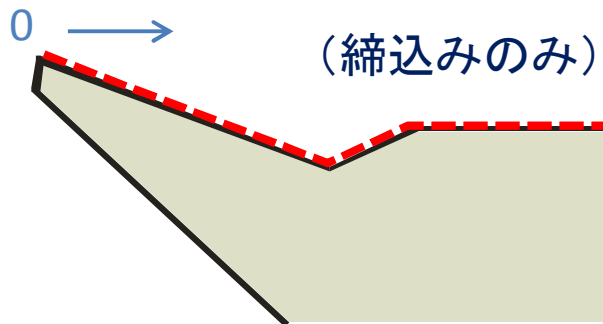


ODB: a14mcLd10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Thu Feb 03 15:39:43 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-1  
Increment: 39 Step Time = 10.00  
変形率: U 変形率: +1.000e+00

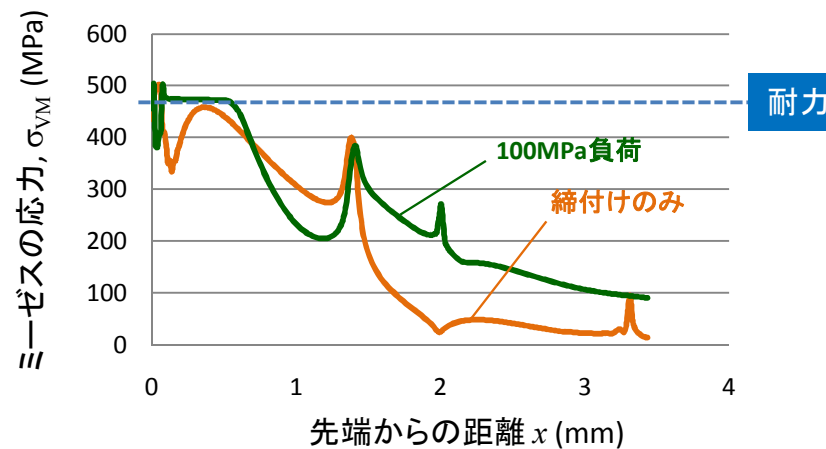
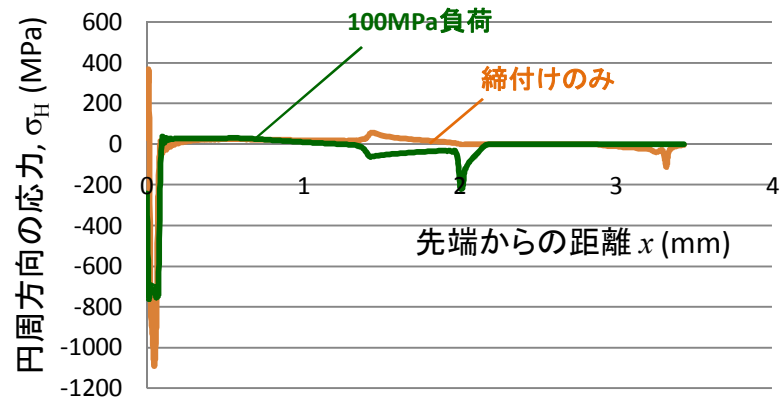
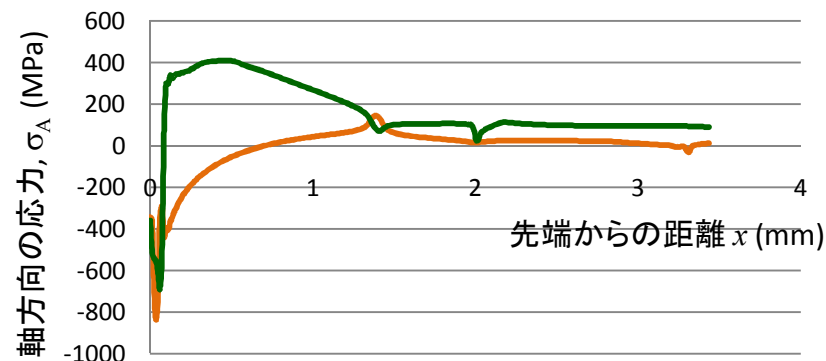
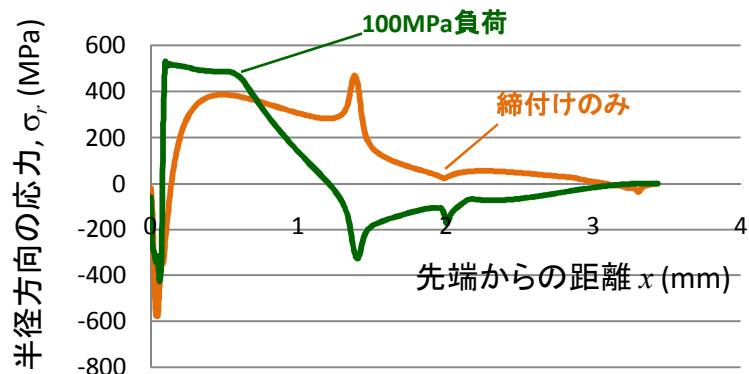
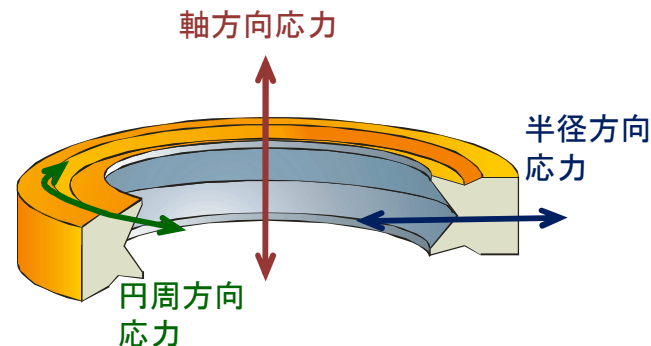


ODB: a14mcLd10R01Ex2.odb Abaqus/Standard 6.10-2 Fri Feb 04 16:37:39 GMT+09:00 2011  
ステップ: Step-5  
Increment: 10 Step Time = 10.00  
変形率: U 変形率: +1.000e+00

# 内圧の影響③(応力分布)

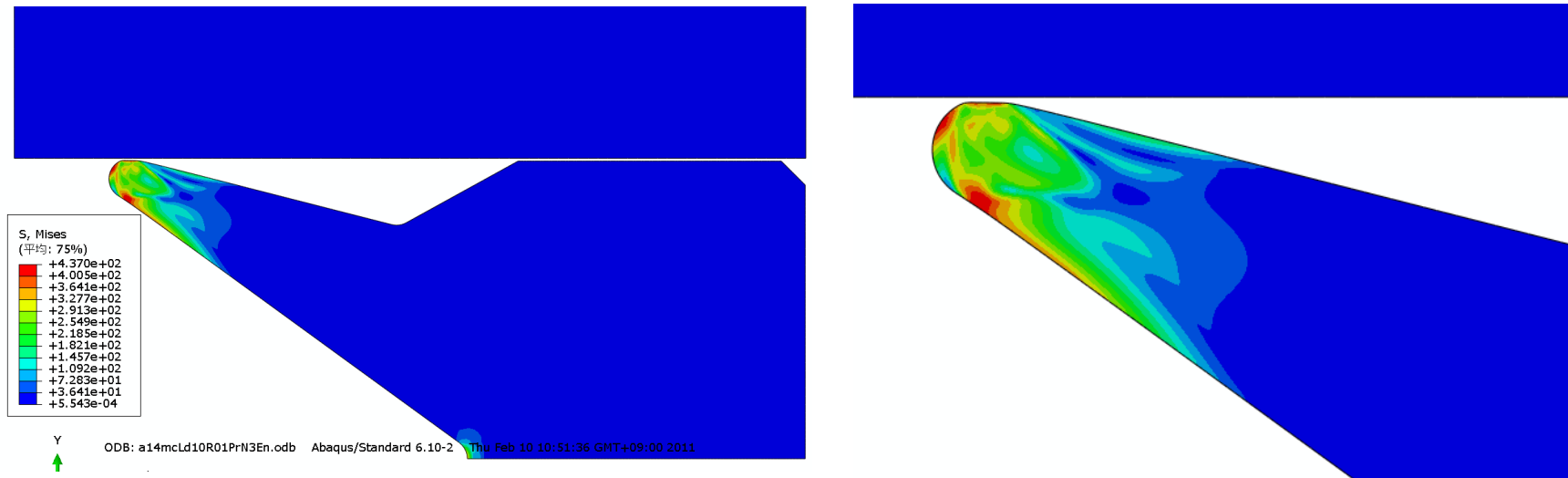


- ・内圧100MPa
- ・締め代14 $\mu$ m
- ・丸み  $R = 0.1$ mm

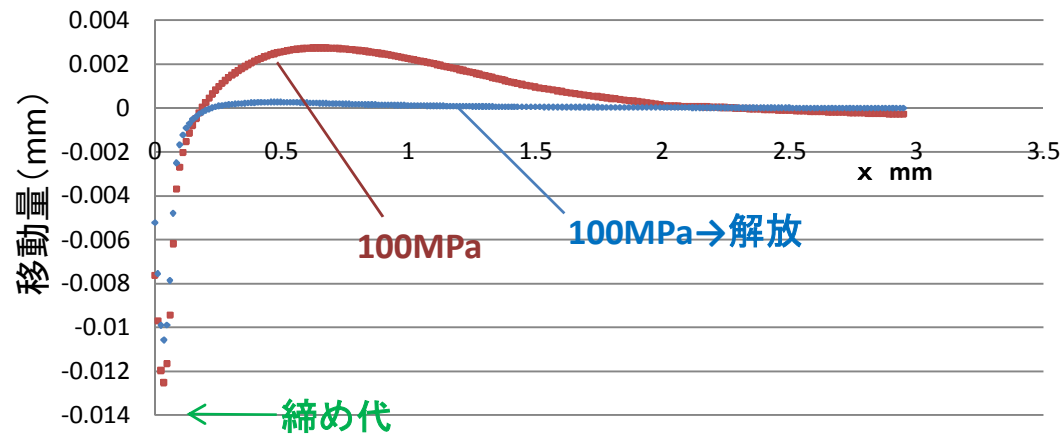


# 内圧の影響④(内圧負荷後, 取り外した時の残留変形)

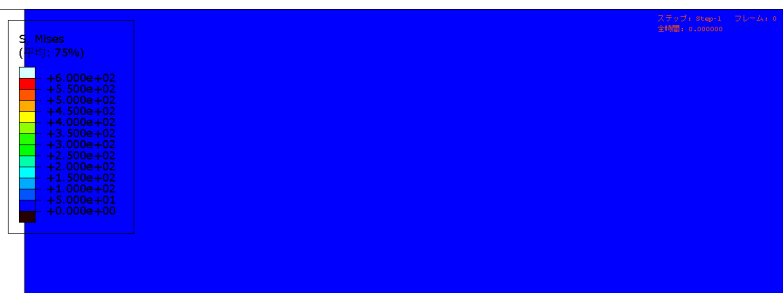
- ・内圧100MPa負荷後に残っている変形(締め代14 $\mu$ m, 丸み0.1mm)



先端部の変形／回復の状態(初期状態からリング軸方向に移動した距離)

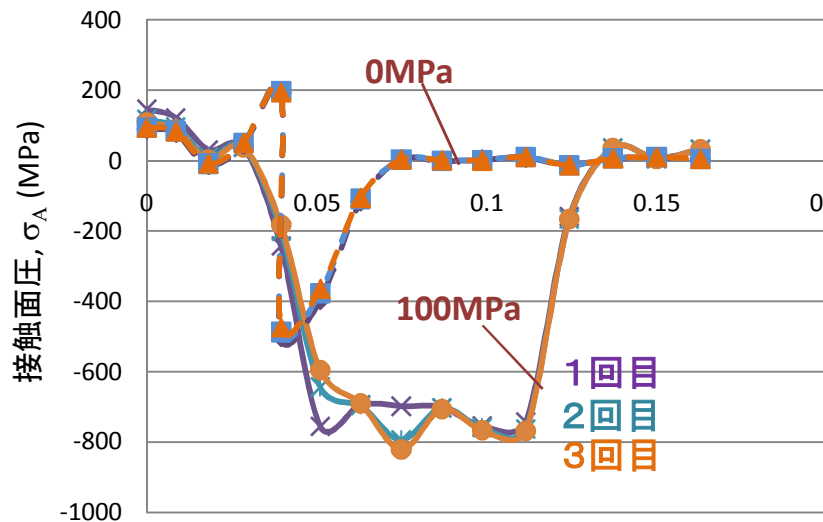
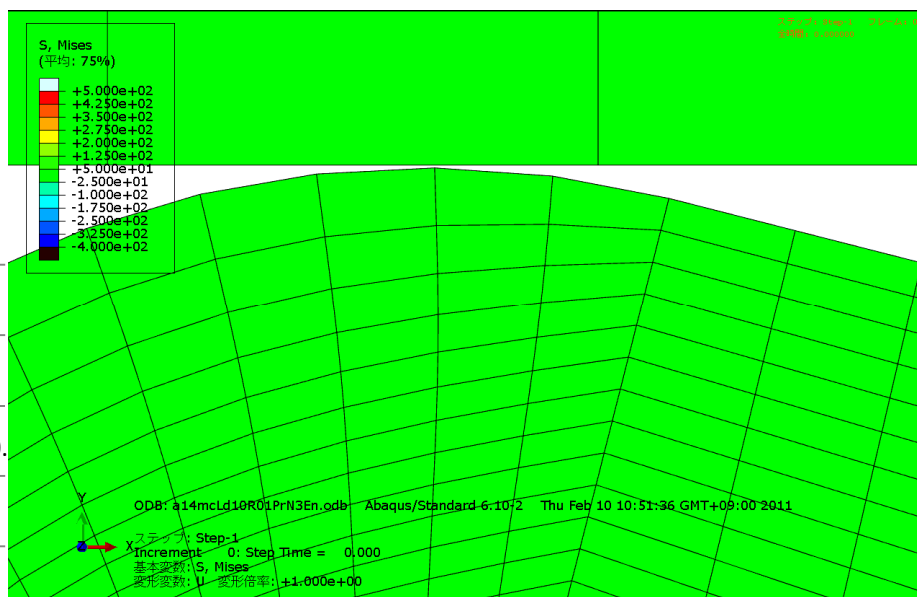
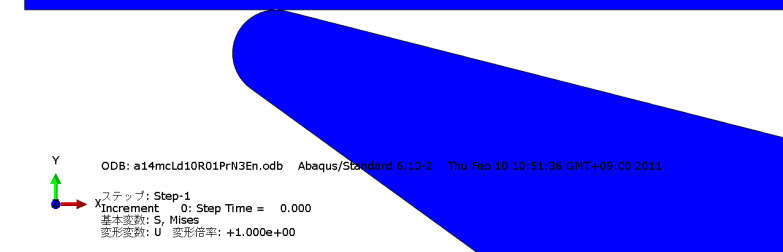


# 内圧の影響⑤(接触局部の変形)



内圧により接触部はフラットに変形

- ・なじみ
- ・面圧は高い(圧力による押付け効果)
- ・内圧が下がると接触後端に隙間を生じる



内圧を繰返しても  
接触の状態はほとんど変化しない