

# 二軸試験の必要性

2025.7.1. 寺子屋 萩本

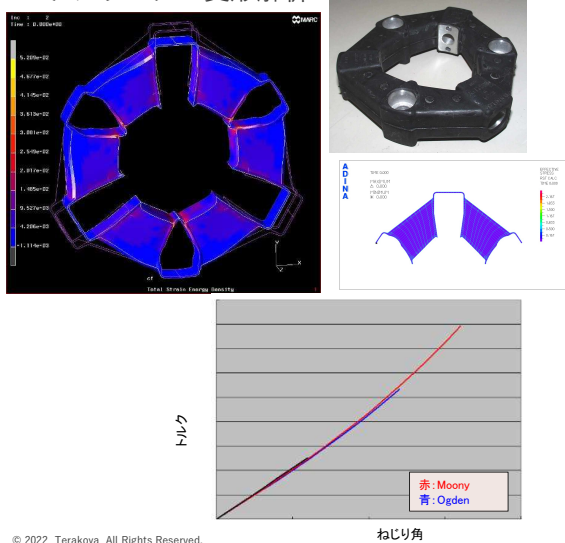
寺子屋/CAE解援隊  
URL <https://terakoya2018.com>

連絡先 [hag@terakoya2018.com](mailto:hag@terakoya2018.com)  
080-2230-8785

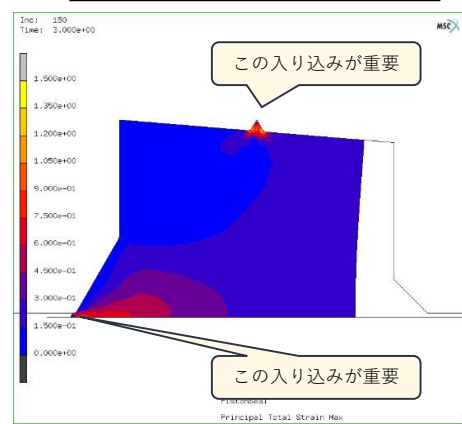
アニメーションでご覧ください。

解析でできること/解析事例

C F カップリングの変形解析



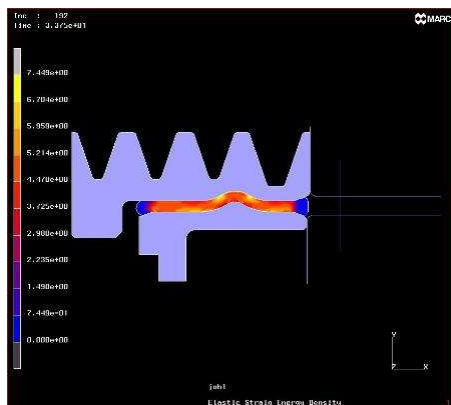
ブレーキシールの変形解析



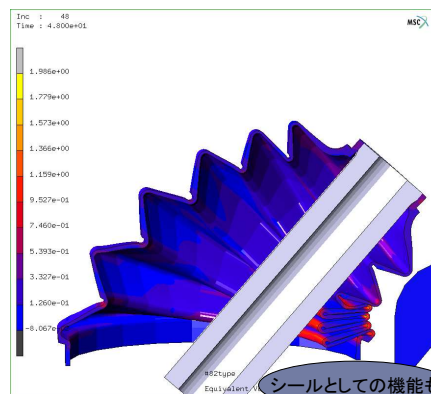
アニメーションでご覧ください。

解析でできること/解析事例

## P D 圧入工程の解析



## C V J ブーツの揺動変形解析



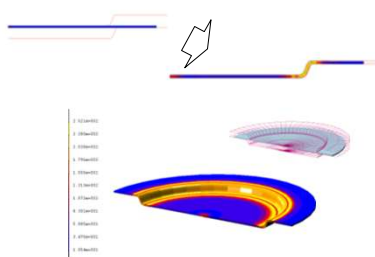
これらの解析には二軸試験が必要です。

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

3

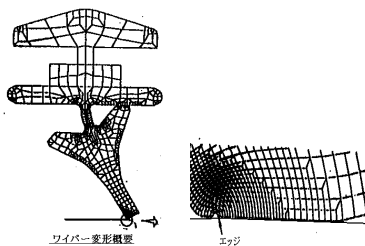
## 板金の塑性解析

2D解析を3D出力する方法



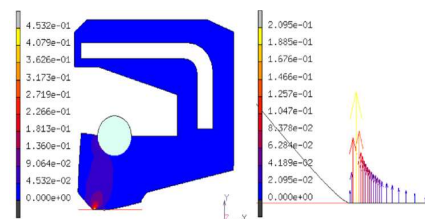
## ゴムの平面2D解析

ワイパー断面のリップ詳細解析



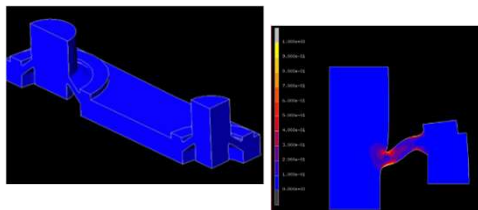
## ゴムの軸対称2D解析

シールの面圧解析



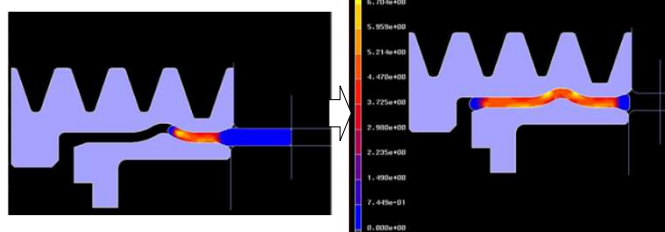
## 断面の軸対称2D解析

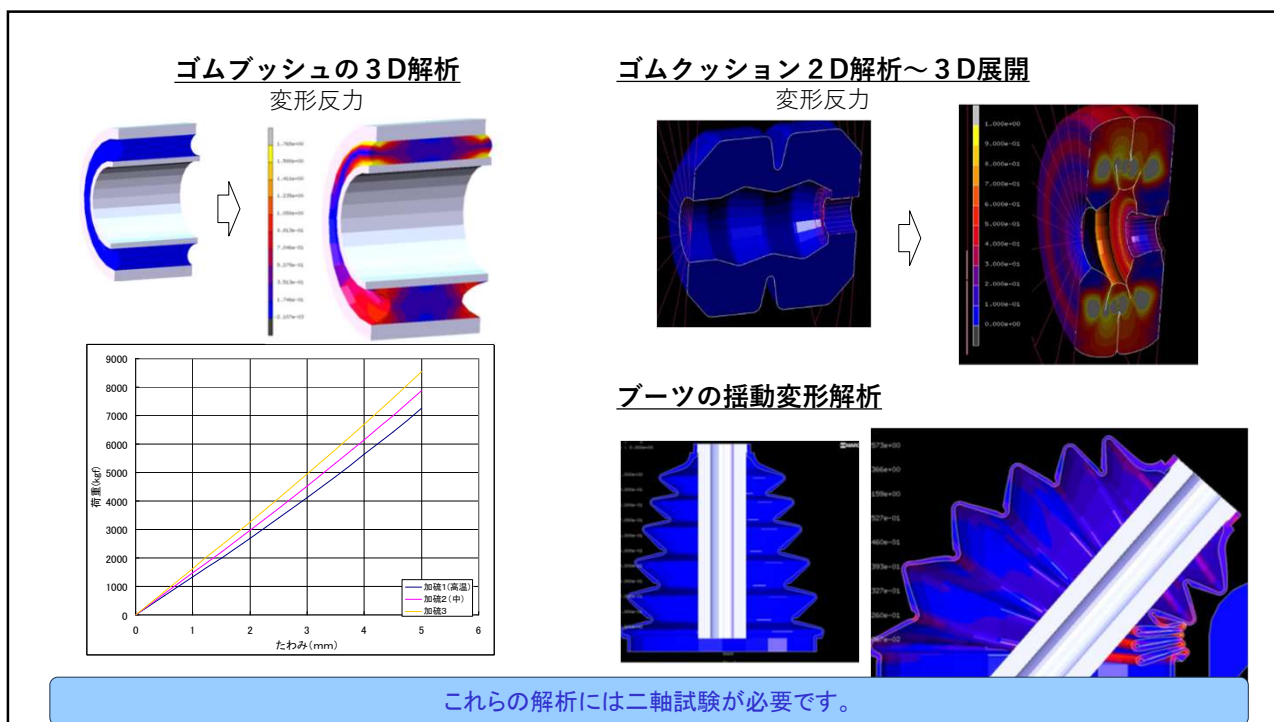
クリック反力解析



## 軸対称モデル-ゴムの圧入接触解析

シールの面圧解析





[お問い合わせリンク](https://terakoya2018.com/question)  
<https://terakoya2018.com/question>

## 公共試験場を利用して ゴムの解析用ひずみエネルギーを構築しませんか。

- 候補日をいただければ調整します。1社4名様くらいまで -

1. 富山県でご希望の日程で、6時間程度で修得できます。  
操作は簡単で、ひな型を使って回帰も簡単です。  
※ひな型販売もしています。
2. 公共試験場ですので、安価に、(修得すれば)いつでも  
ご利用いただけます。  
アフターフォローも万全です、問い合わせに回答します。

**寺子屋/CAE解援隊**  
URL <https://terakoya2018.com>

連絡先 [hagi@terakoya2018.com](mailto:hagi@terakoya2018.com)  
080-2230-8785

富山県産業技術研究開発センター (pref.toyama.jp)

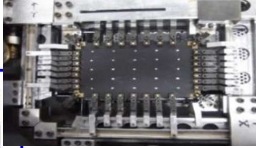
## 使用可能な二軸試験機

[従来型]



$$\text{Mooney式: } W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3$$

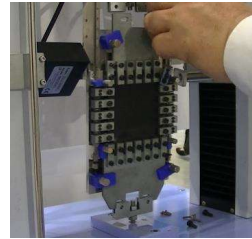
サンプル取り付け部



※適用の構成則は、元のデータが同じならば Ogden、Mooney、どれを選んでも同じ精度です。

[簡易型]

試験片も小さくて済む。



動画Youtube:  
一軸拘束二軸伸張

<https://youtu.be/k4d9Rw9KEv0>

動画Youtube:  
均等二軸伸張

<https://youtu.be/NKkxhFv2-k>

購入1千万円、1時間¥2,000円程度 現地(富山)で借りられる。

簡易試験機 約200万円、レンタル税別5万円/日~/日本テクノフォート様

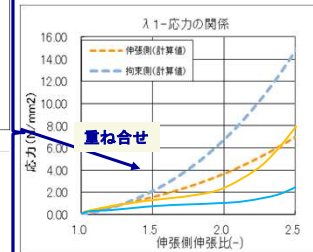
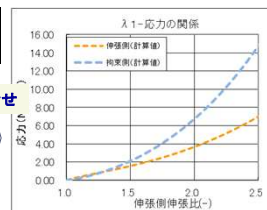
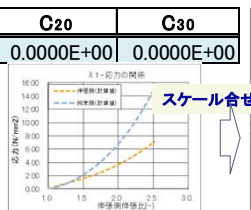
7

## 単軸測定からの推定

次ページにある1.4倍での推定では、二軸測定の結果とは一致しない。

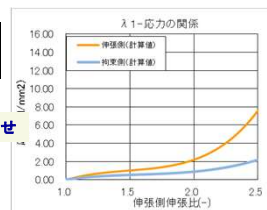
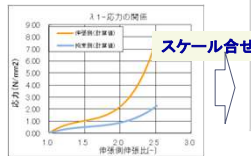
### ① 単軸データ倍率処理からのエネルギー密度回帰

| C10         | C01        | C11        | C20        | C30        |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| -4.3426E-01 | 9.3426E-01 | 1.0588E-01 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |



### ② 一軸拘束二軸伸張データからのエネルギー密度回帰

| C10        | C01        | C11         | C20         | C30        |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 4.5195E-01 | 4.8046E-02 | -2.1222E-02 | -6.3359E-02 | 3.0785E-02 |



同じ剛性で初期10%があっても大変形域で傾向がずれてしまい不可能

単軸試験のデータしかない場合の知恵

一軸試験による二軸伸張ゴム材料モデルの推定

Estimation of Biaxial Extension Curve from Uniaxial measurement of Rubber Materials

○永田 孝弘, 正 小林 卓哉 (メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス)

山下 義裕 (滋賀県立大工)

Takahiro Nagata, Takaya Kobayashi, Mechanical Design & Analysis Co.

Shiga University of Science and Technology, The University of Shiga Prefecture.

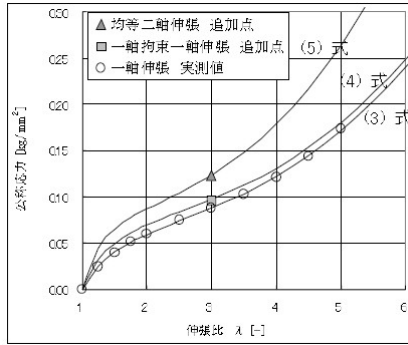


Table.1 一軸伸張と二軸伸張との応力の比

|                       | 一軸伸張との応力の比 |        |
|-----------------------|------------|--------|
|                       | 一軸拘束一軸伸張   | 均等二軸伸張 |
| IR C0 S1              | 1.12       | 1.4    |
| IR C0 S2              | 1.1        | 1.4    |
| IR C0 S3              | 1.14       | 1.43   |
| IR C0 S2(Relax.10min) | 1.12       | 1.33   |
| SBR C0                | 1.19       | 1.47   |
| EPDM C0               | 1.15       | 1.55   |
| IR C50 S1             | 1.08       | 1.4    |
| IR C50 S2             | 1.1        | 1.4    |
| IR C50 S3             | 1.08       | 1.42   |
| SBRC50                | 1.1        | 1.4    |

残念ながら傾向が異なるので1.4倍などでお補正は無理、  
次元が異なり単軸から一軸拘束二軸伸張領域のデータ予測は不可能。

単軸測定からの推定

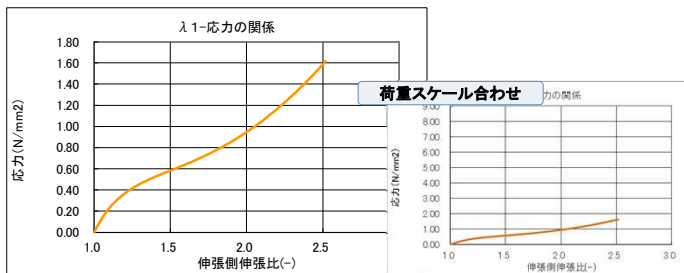
単軸データと純せん断の比較検証、1.4倍の効果について

①単軸データからのエネルギー密度回帰

| C10         | C01        | C11        | C20        | C30        |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| -4.3426E-01 | 9.3426E-01 | 1.0588E-01 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

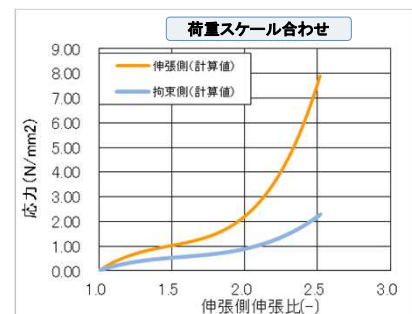
単軸荷重算出

$$\sigma = 2\left(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}\right) \left[ \frac{\partial W}{\partial I_1} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial W}{\partial I_2} \right]$$

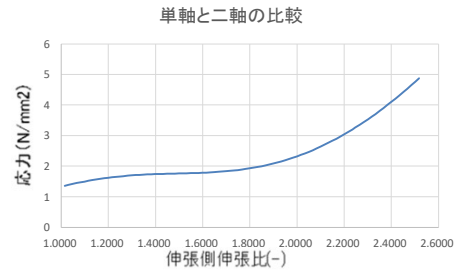
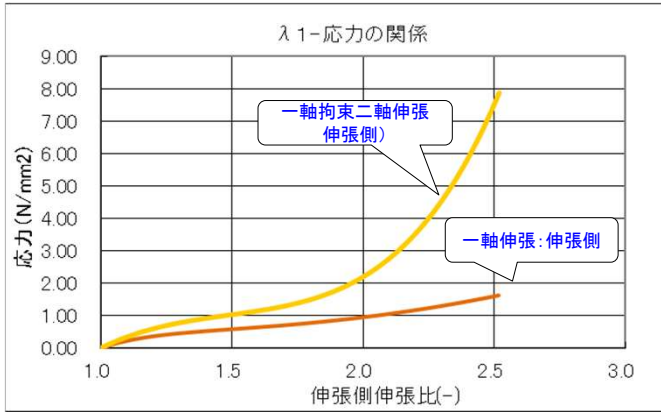


同じ剛性の②一軸拘束二軸伸張データからのエネルギー密度回帰

| C10        | C01        | C11         | C20         | C30        |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 4.5195E-01 | 4.8048E-02 | -2.1222E-02 | -6.3359E-02 | 3.0785E-02 |



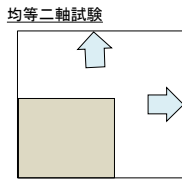
重ね合わせてみると・・・



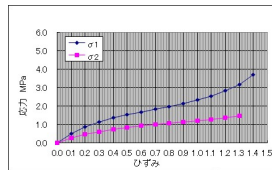
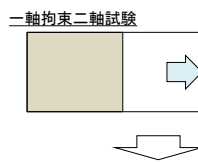
単軸と一軸拘束二軸伸張の伸張側との比は初期は1.4倍程度であるが大きな伸張比では・・・

一軸拘束二軸伸張試験では2本の特性データが必須？

均等二軸試験であれば、2方向同じひずみvs反力となり1本の特性



一軸拘束二軸伸張試験では、2方向の反力が異なる。

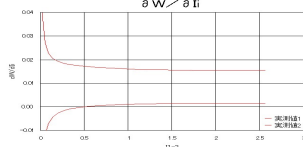


2方向の特性から

$$\frac{\partial W(f_1, f_2)}{\partial f_1} = \frac{1}{2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \left[ \frac{\lambda_1^3 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2^3 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right]$$

$$\frac{\partial W(f_1, f_2)}{\partial f_2} = \frac{1}{2(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)} \left[ \frac{\lambda_1 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right]$$

エネルギーの微分値が得られ



それぞれの微分線図から各係数を回帰で求める。

$$\frac{\partial W}{\partial I1} = C_{10} + C_{11}(I_2 - 3) + 2C_{20} + 3C_{30}(I_1 - 3)^2$$

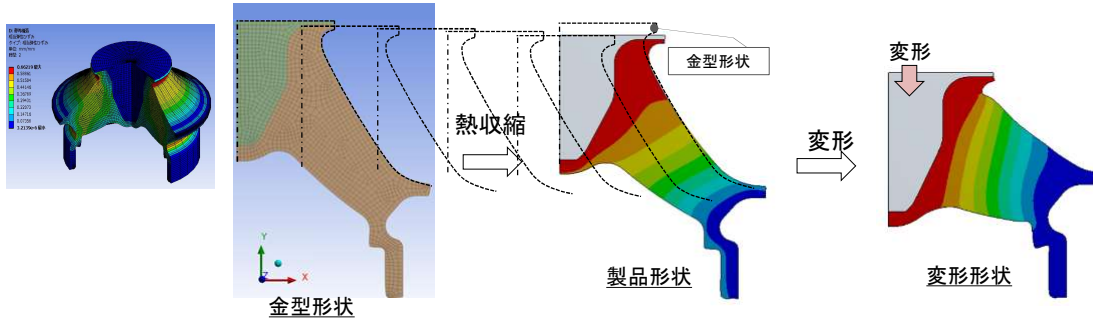
$$\frac{\partial W}{\partial I2} = C_{01} + C_{11}(I_1 - 3)$$

2本の応力ひずみ(伸張比)線図が無いと、すべての係数が特定できない。直接エネルギーWかも求められない。

## ブッシュ、マウントでのデータの取り扱い

### 金具接着タイプの製品、解析フロー

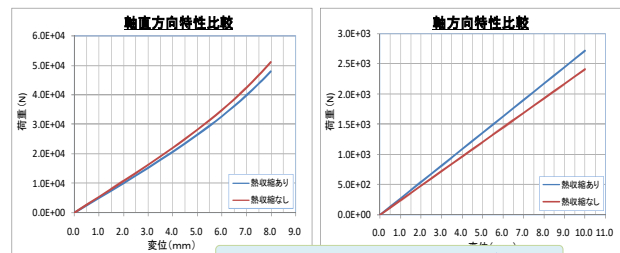
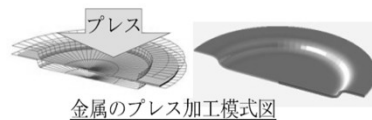
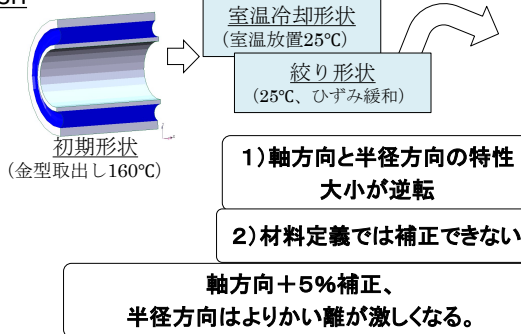
ゴム単製品は、そのまま変形解析を行えばいいですが、  
**金具接着タイプは、熱収縮解析が必須**だと考えます。



製品の加工工程を考慮することは、ゴム製品のみではなくすべての製品に当てはまります。  
**金型形状 ⇒ (熱履歴)熱収縮 ⇒ 変形解析** の手順を守ることで、  
 解析による**予測精度を格段に向上**させることができます。

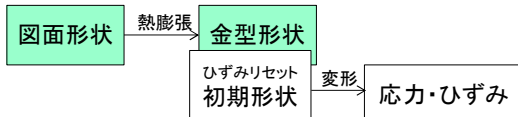
### ゴム製品の解析では、

#### BUSH



熱を考慮しないと剛性が逆

#### [具体的手順]



金型形状を初期形状として、熱収縮から  
 変形解析への熱-応力連成解析とすることが基本。

精度が格段に向上

熱を考慮するなど知っていれば簡単にできる  
 ことですが、ノウハウの構築は必要です。