

# 二軸試験の必要性

2025.7.1. 寺子屋 萩本

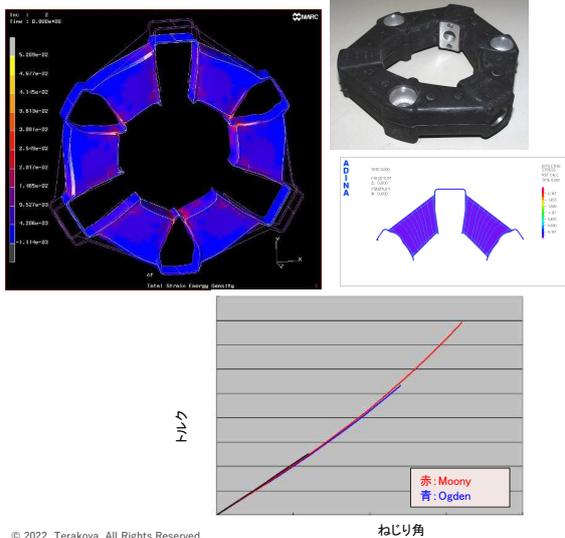
寺子屋/CAE解援隊  
URL <https://terakoya2018.com>

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

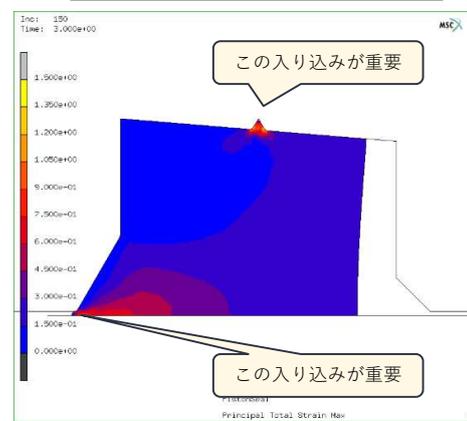
アニメーションでご覧ください。

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



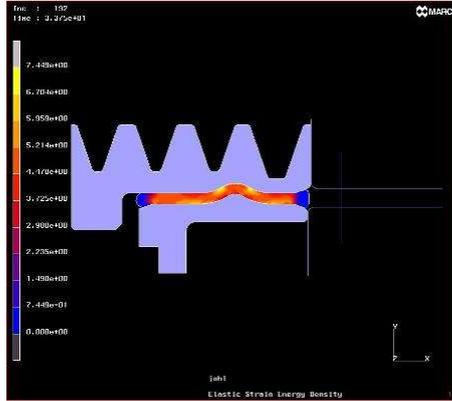
ブレーキシールの変形解析



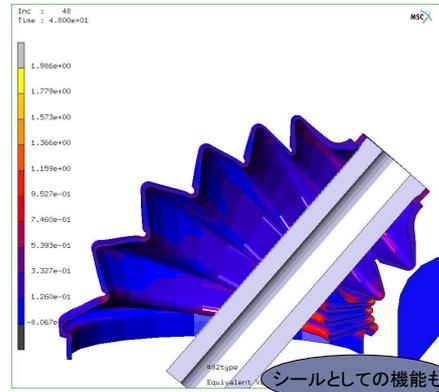
アニメーションでご覧ください。

解析でできること/解析事例

P D 圧入工程の解析

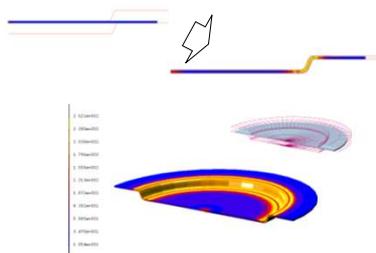


C V J ブーツの揺動変形解析

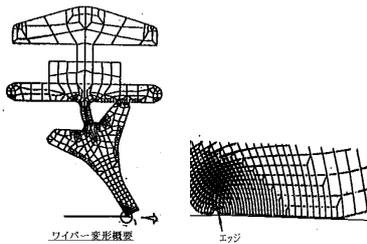


これらの解析には二軸試験が必要です。

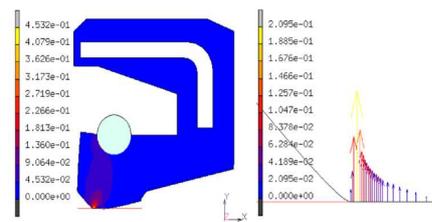
板金の塑性解析  
2D解析を3D出力する方法



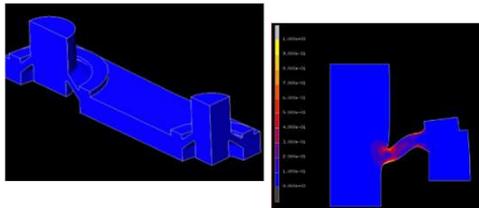
ゴムの平面2D解析  
ワイパー断面のリップ詳細解析



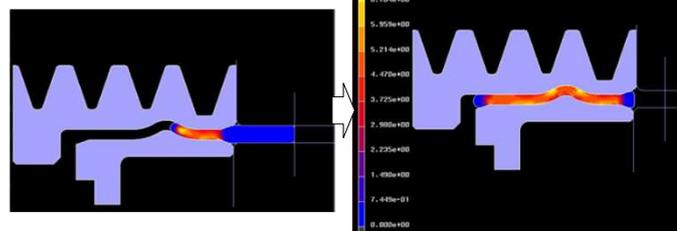
ゴムの軸対称2D解析  
シールの面圧解析

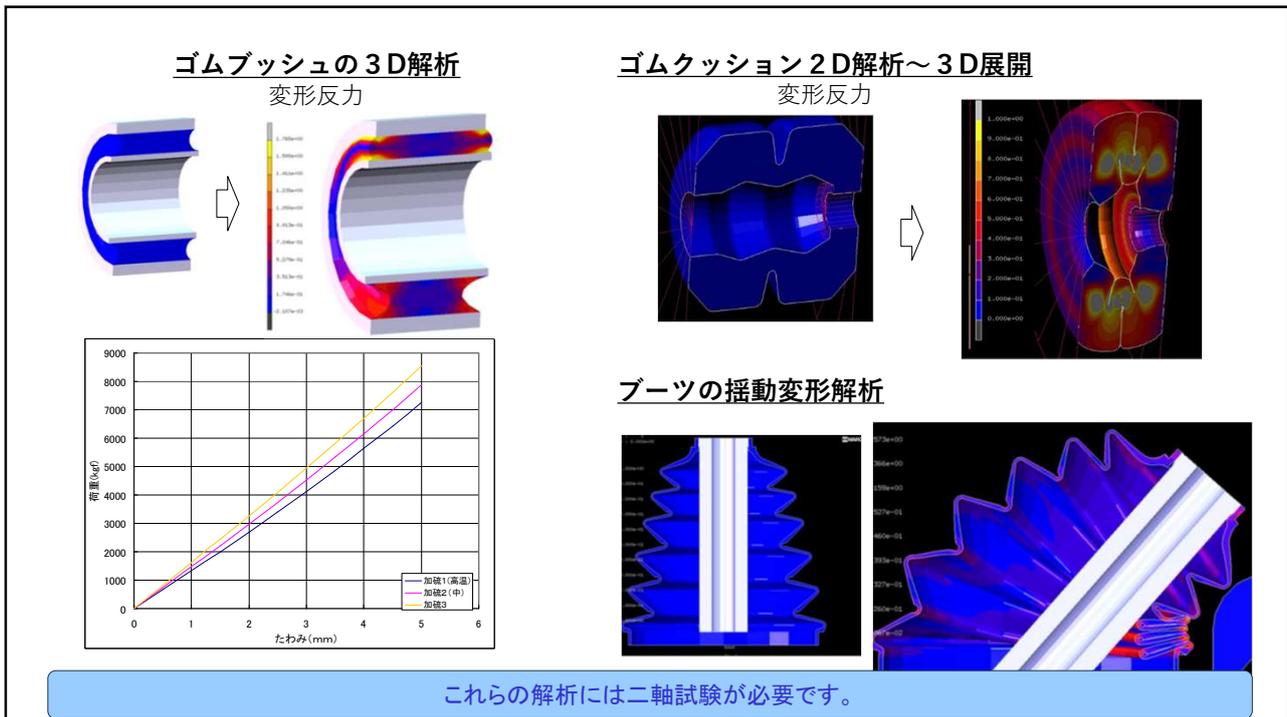


断面の軸対称2D解析  
クリック反力解析



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)

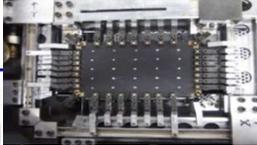
## 使用可能な二軸試験機

[従来型]



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

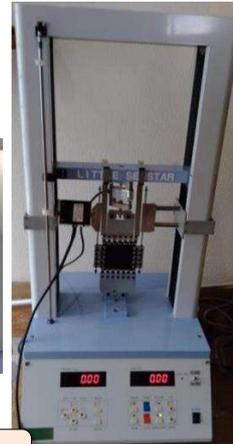
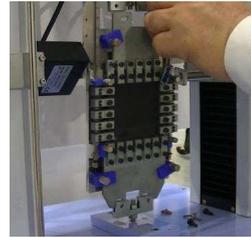
サンプル取り付け部



※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。

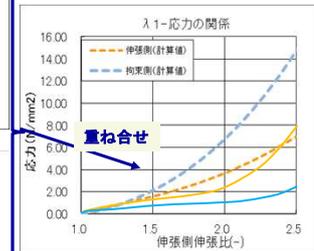
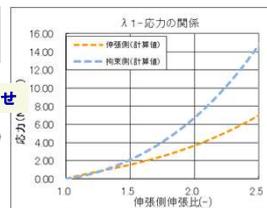
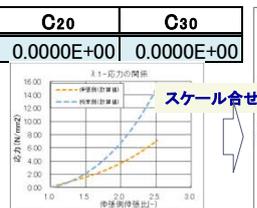
簡易試験機 約200万円、レンタル税別5万円/日~/日本テクノフォート様

## 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。

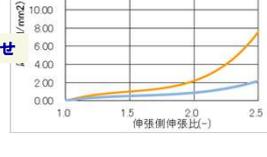
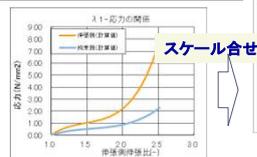
### ① 単軸データ倍率処理からのエネルギー密度回帰

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.

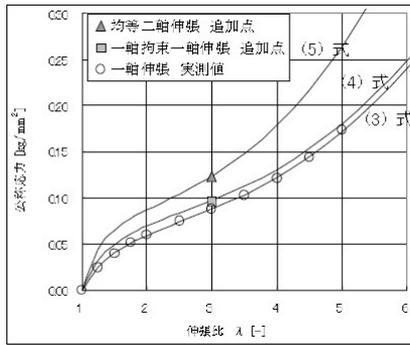


Table.1 一軸伸張と二軸伸張との応力の比

	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

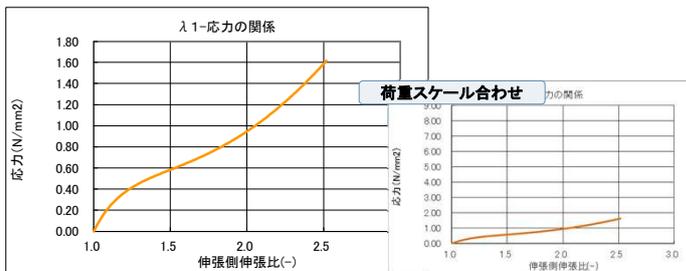
単軸データと純せん断の比較検証、1.4倍の効果について

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

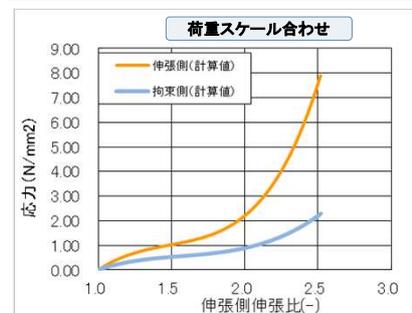
単軸荷重算出

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

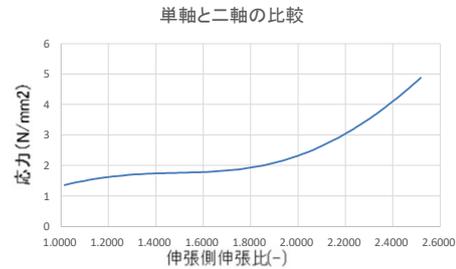
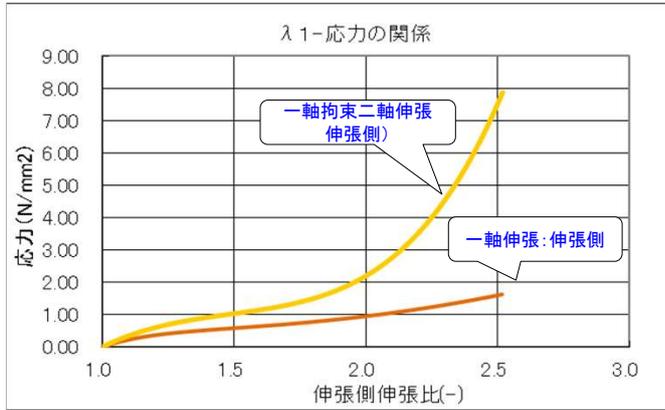


同じ剛性の②一軸拘束二軸伸張データからのエネルギー密度回帰

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



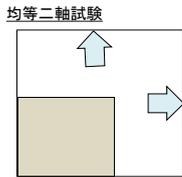
重ね合わせてみると・・・



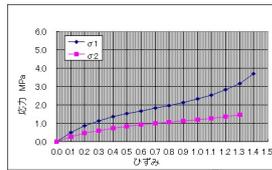
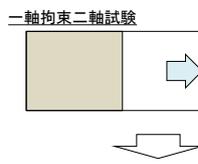
単軸と一軸拘束二軸伸張の伸張側との比は初期は1.4倍程度であるが大きな伸張比では・・・

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。

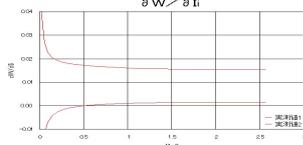


2方向の特性から

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

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

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。

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

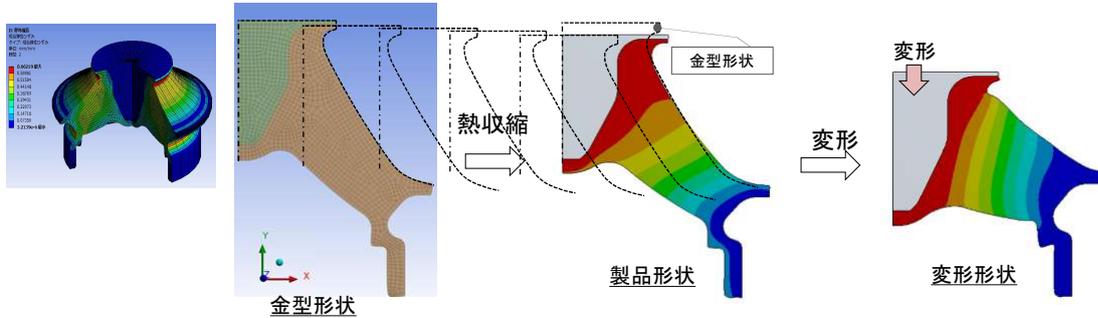
$$\frac{\partial W}{\partial I2} = C_{01} + C_{11}(I_1 - 3)$$

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

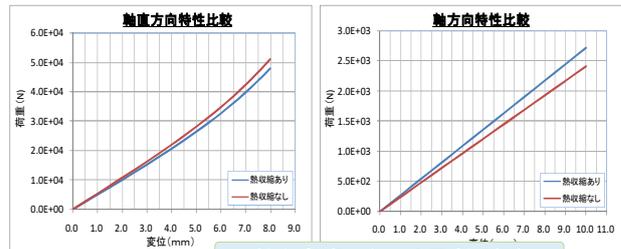
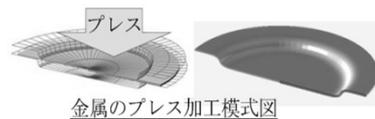
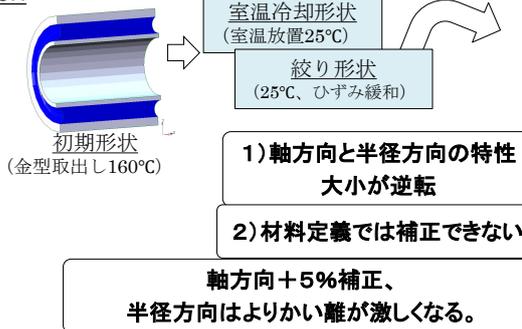
ゴム単製品は、そのまま変形解析を行えばいいですが、  
**金具接着タイプは、熱収縮解析が必須**だと考えます。



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。

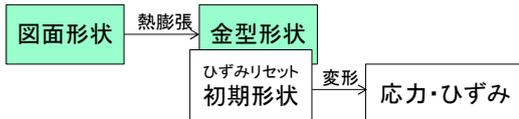
### ゴム製品の解析では、

#### 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。