

# 二軸試験の必要性

2025.7.1. 寺子屋 萩本

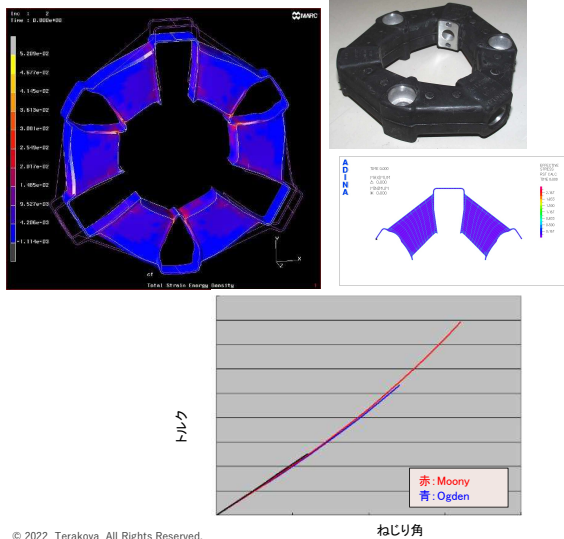
寺子屋/CAE解援隊  
URL <https://terakoya2018.com>

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

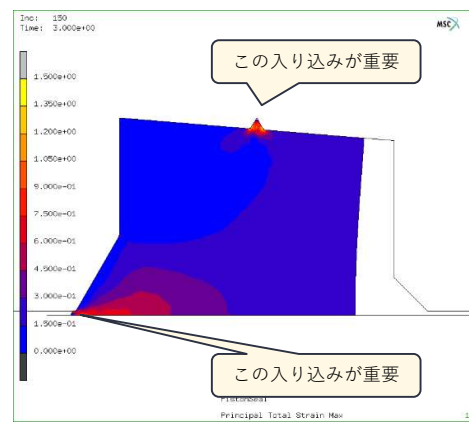
アニメーションでご覧ください。

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



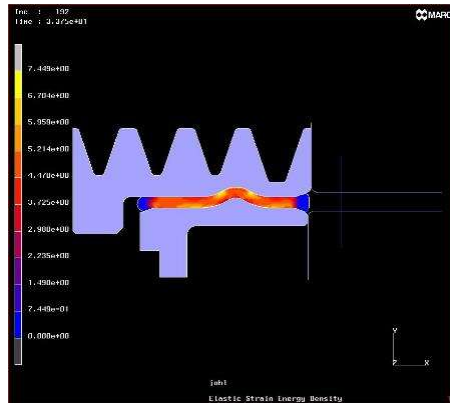
ブレーキシールの変形解析



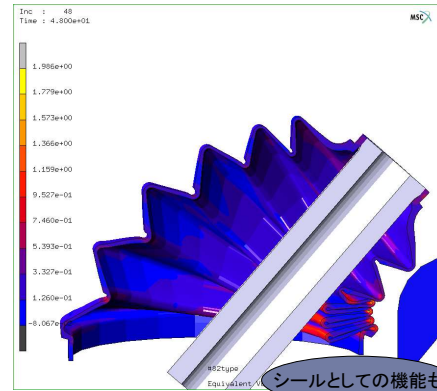
アニメーションでご覧ください。

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



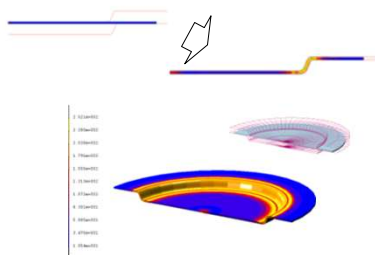
これらの解析には二軸試験が必要です。

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

3

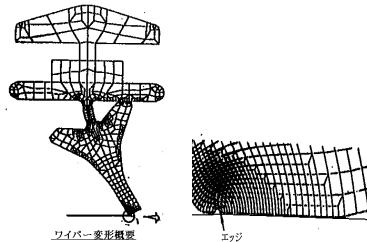
## 板金の塑性解析

2D解析を3D出力する方法



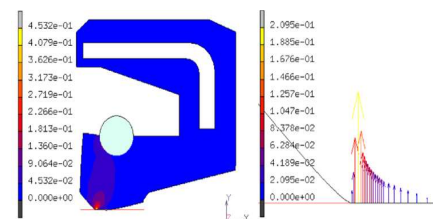
## ゴムの平面2D解析

ワイパー断面のリップ詳細解析



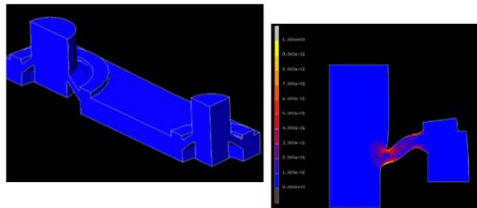
## ゴムの軸対称2D解析

シールの面圧解析



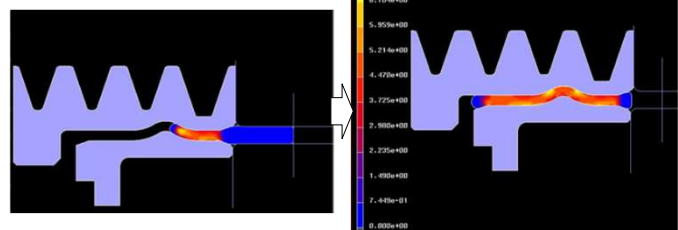
## 断面の軸対称2D解析

クリック反力解析



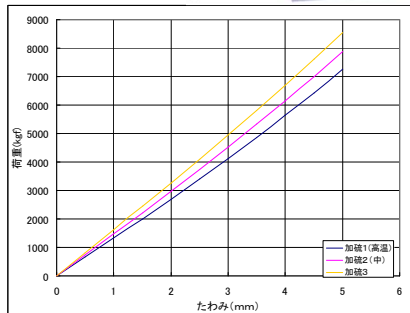
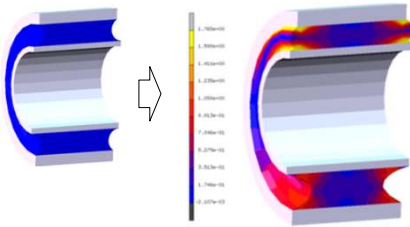
## 軸対称モデル-ゴムの圧入接触解析

シールの面圧解析



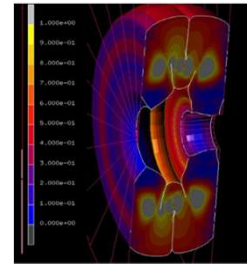
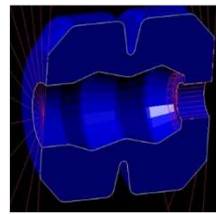
### ゴムブッシュの3D解析

変形反力

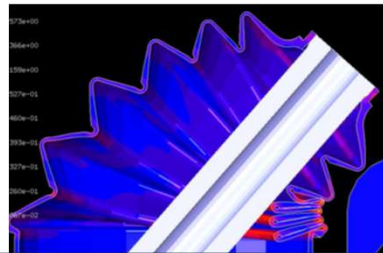
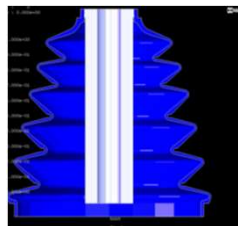


### ゴムクッション2D解析～3D展開

変形反力



### 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。

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

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

富山県産業技術研究開発センター

HOME | 技術支援 | センター概要 | お知らせ | 主要設備 | 刊行物 | 研究開発 | 産業財産権

HOME > 概要 > 組織・研究開発 > 生活工学研究所

概要・沿革 | 組織・研究開発 | 交通案内

生活工学研究所

「衣」、「住」、「遊」といった人間生活に関係する産業製品の開発や生産を支援するための研究指導を行っています。特に、感覚、生理あるいは動作等人間特性の計測評価をもとに人間適合型の生活関連製品の開発、生産を促進するための研究に重点を置いています。

〒939-1503 富山県南砺市若武第35-1 TEL:0763-22-2141 FAX:0763-22-4604

富山県産業技術研究開発センター (pref.toyama.jp)

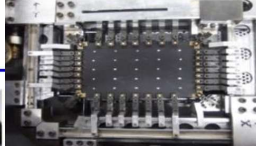
## 使用可能な二軸試験機

[従来型]



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

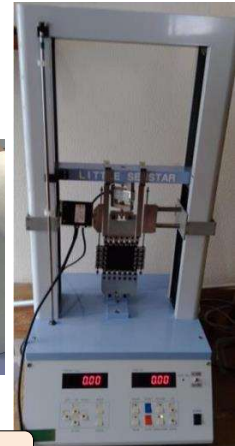
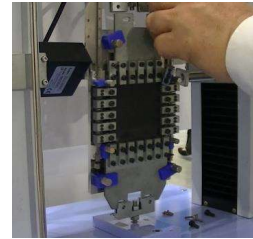
サンプル取り付け部



※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。



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

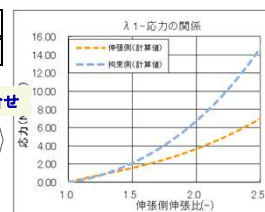
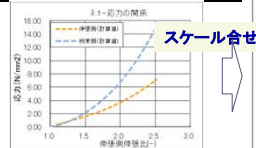
7

## 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。

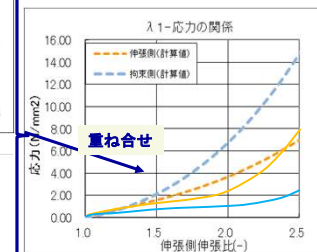
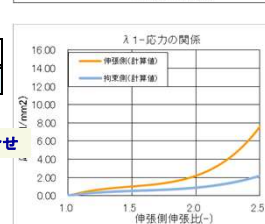
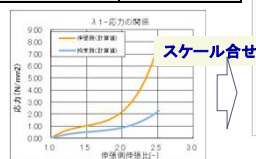
### ①単軸データ倍率処理からのエネルギー密度回帰

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



### 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.

a, The University of Shiga Prefecture.

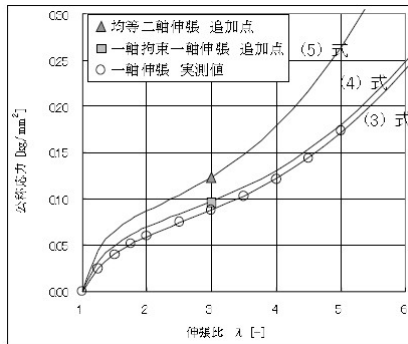


Table.1 一軸伸張と二軸伸張との応力の比

	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
SBRC0	1.19	1.47
EPDMC0	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。

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

9

### 単軸測定からの推定

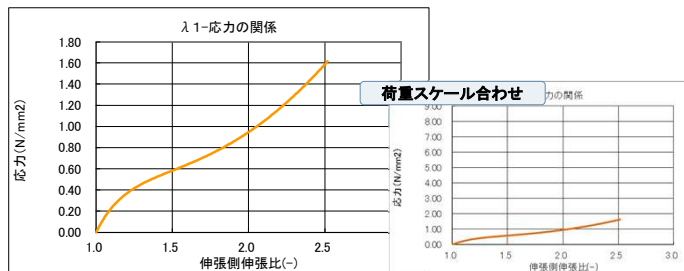
単軸データと純せん断の比較検証、1.4倍の効果について

#### 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

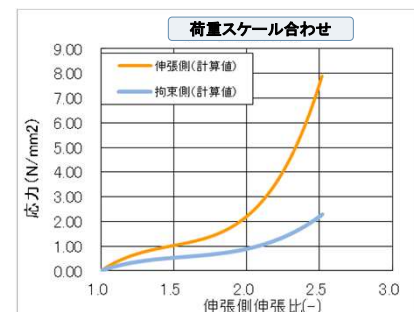
単軸荷重算出

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



#### 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

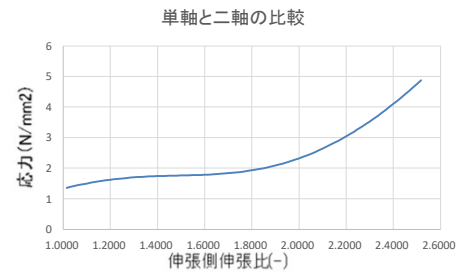
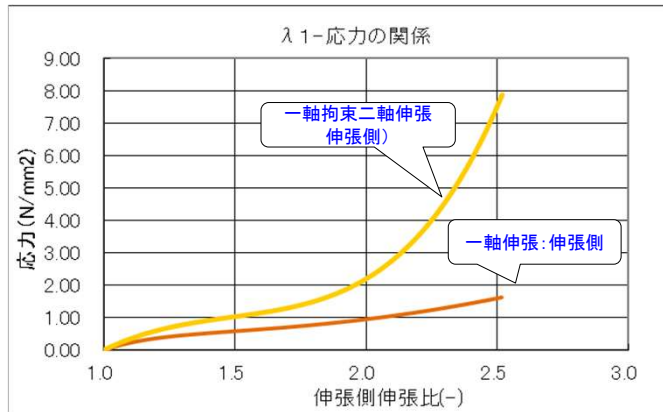
C10	C01	C11	C20	C30
4.5195E-01	4.8046E-02	-2.1222E-02	-6.3359E-02	3.0785E-02



© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

10

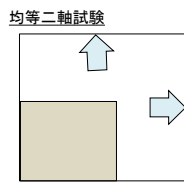
重ね合わせてみると・・・



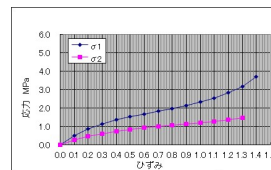
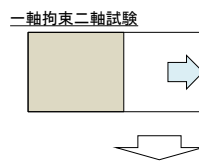
単軸と一軸拘束二軸伸張の伸張側との比は  
初期は1.4倍程度であるが**大きな伸張比では・・**

## 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。

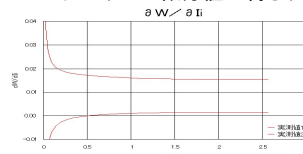


2方向の特性から

$$\frac{\partial W(I_1, I_2)}{\partial I_1} = \frac{1}{2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \left[ \frac{\lambda_1^3 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2^3 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right]$$

$$\frac{\partial W(I_1, I_2)}{\partial I_2} = \frac{1}{2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \left[ \frac{\lambda_1 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right]$$

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。

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

$$\frac{\partial W}{\partial I_2} = C_{01} + C_{11}(I_1 - 3)$$

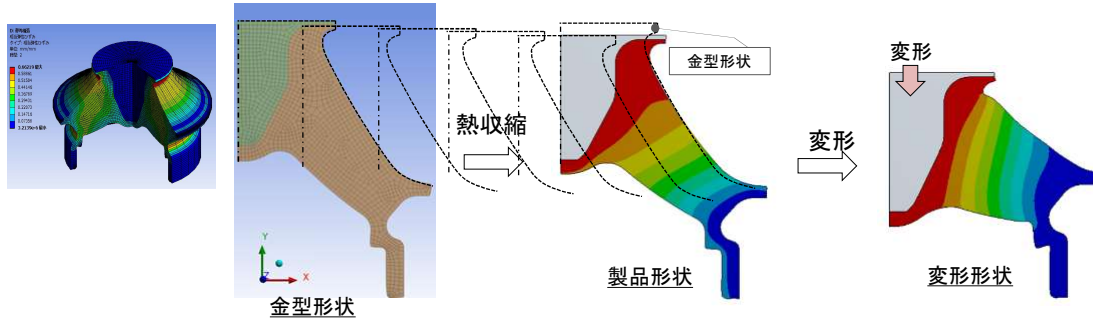
**2本の応力ひずみ(伸張比)線図が無いと、すべての係数が  
特定できない。直接エネルギー-Wかも求められない。**



## 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**と考えます。



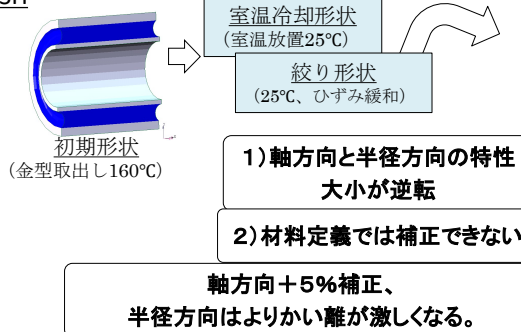
製品の加工工程を考慮することは、ゴム製品のみではなくすべての製品に当てはまります。  
**金型形状 ⇒ (熱履歴) 熱収縮 ⇒ 変形解析** の手順を守することで、  
解析による**予測精度を格段に向上**させることができます。

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

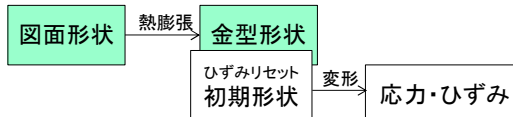
13

### ゴム製品の解析では、

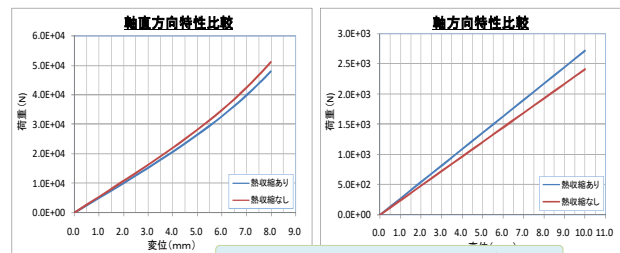
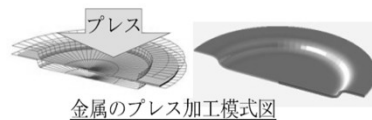
#### BUSH



#### [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。



熱を考慮しないと剛性が逆

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。

14