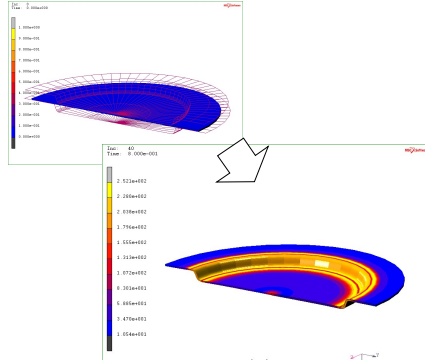


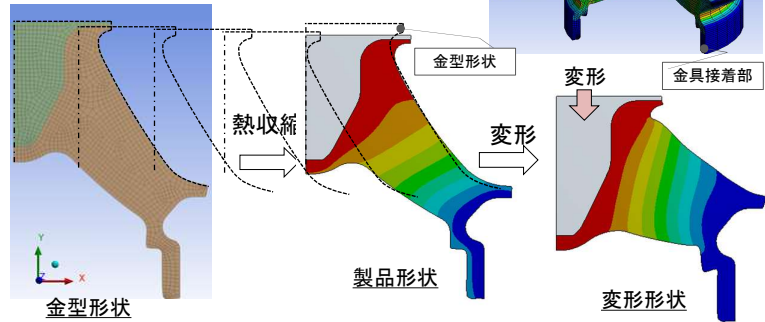
# 1. ゴムの解析が実測を表現できない理由

製品の製造履歴を考える/加工・熱履歴

## 板の塑性解析



## ゴムのFEM解析 基本フロー



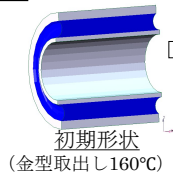
特にゴムの方から取り出した熱収縮の履歴は予測精度に大きな影響があります。

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あてはまります。

金型形状 ⇒ (熱履歴) 熱収縮 ⇒ 変形解析 の手順を守って、  
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



初期形状  
(金型取出し160°C)

室温冷却形状  
(室温放置25°C)

絞り形状  
(25°C、ひずみ緩和)

1) 軸方向と半径方向の特性  
大小が逆転

2) 材料定義では補正できない

軸方向+5%補正、  
半径方向はよりかい離が激しくなる。

[具体的手順]

図面形状

熱膨張

金型形状

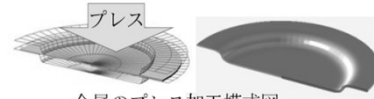
ひずみリセット  
初期形状

変形

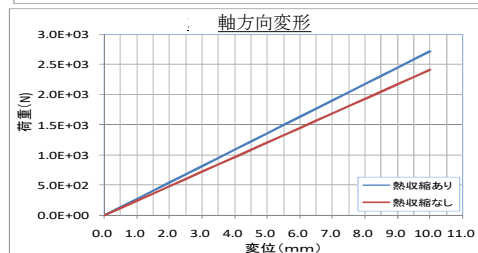
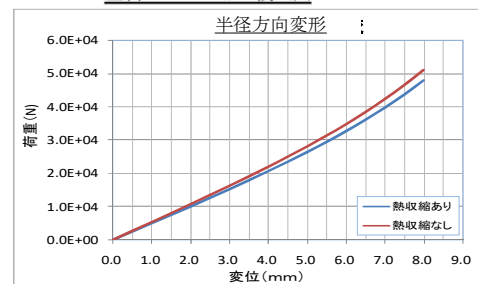
応力・ひずみ

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



金属のプレス加工模式図



熱履歴で特性への影響が方向で異なります。

**Point:単軸、二軸伸張試験から求めた係数も“本当のヤング率は1つです”**

## ゴム材料の基本知識

単軸試験手順：重要ポイント

単軸より係数を最終補正する

### 回帰係数とヤング率の関係

$$E = 6(C_{10} + C_{01}) = (3/2) \sum \alpha_i \mu_i$$

へたりを考慮して10%伸張で算出、真のヤング率と同じ

ひずみエネルギー密度関数係数とヤング率の関係

Mooney高次式  $W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3$

Ogden式

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3)$$

ヤング率E=応力 $\sigma$ /ひずみ $\epsilon$

10%伸張時で算出

Point:へたりを考慮したひずみ算出  
=変位/(チャック間A=50+へたりB)

※10%算出の意味

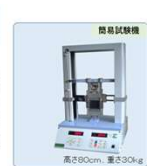
鉄の微小変形1%、ゴムではへたりの影響で難しい  
100%等では非線形性から10%と仮定  
⇒10%として算出、この値で短冊の解析、出力一致



現場（富山）の二軸試験機



サンブル取り付け部



高さ80cm、重さ30kg

**本当のヤング率は1つであり、エネルギー関数との整合を採ることが必須**

非線形性をどうとらえるかヒントをお送りします。

**測定用テストピース（TP）を選ばないと、本当の剛性は求められない。**

単軸試験の課題 - 形状依存について -

材料力学から

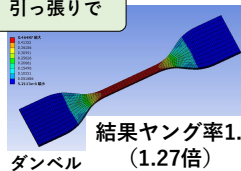
ヤング率E = 応力 $\sigma$ /ひずみ $\epsilon$

応力とひずみの関係の基本式

果たしてそうでしょうか？ 非線形性も考慮しないといけません

ヤング率1.0の材料で解析

引っ張りで



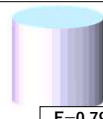
ダンベル

結果ヤング率1.27  
(1.27倍)

圧縮で

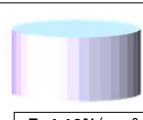
ディスク

$\Phi 18 \times h 26 \text{ mm}^3$



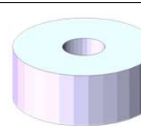
E=0.79N/mm²

$\Phi 29 \times h 12.7 \text{ mm}^3$



E=1.19N/mm²

$\Phi 40 \times h 15 \text{ mm}^3$



E=1.16N/mm²

$\Phi 10 \times h 10 \text{ mm}^3$



E=0.95N/mm²

結果ヤング率0.98  
(0.98倍)

短冊

試験片によって見かけ上（同じ材料でも測定から得られる）ヤング率が異なります。  
本当のヤング率が測定できません。短冊がお勧めです。

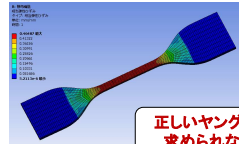
へたりは必ず発生します。どう扱うか・・・

## 単軸の測定方法

ヤング率 $E$  = 応力 $\sigma$  / ひずみ $\varepsilon$   
ひずみ $\varepsilon$  = 変位 / チャック間距離

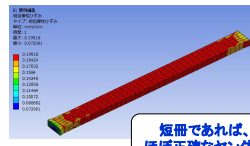
・・・どんな試験でも同じになるとは限らない、**試験片に依存**  
応力 $\sigma$  = 荷重 / 断面積

ダンベル



正しいヤング率は  
求められない。

短冊



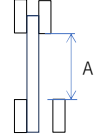
短冊であれば、  
ほぼ正確なヤング率

**証明は簡単です。**

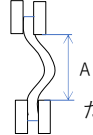
解析で入力と出力ヤング率が同じになればいい。

### 短冊測定

上からチャック

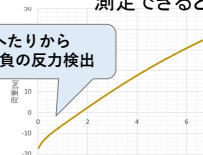


下をチャック



きれいにゼロ点から始まり  
測定できるとは限らない

へたりに  
負の反力検出



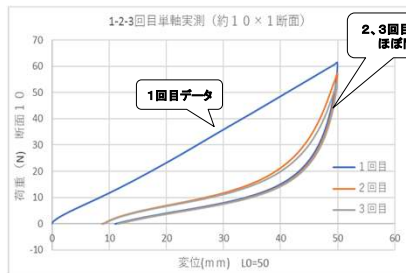
ゼロ点

6

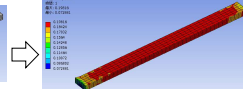
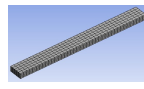
そしてヤング率は1材料で1つです。

## ゴム材料の基本知識：何回目のデータを使うか

単軸試験から**正確なヤング率**を求めること。



短冊試験

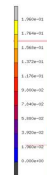


1回目と2回目は大きく異なり、  
2回目と3回目は少し異なります。

3回目以降はほぼ重なります。

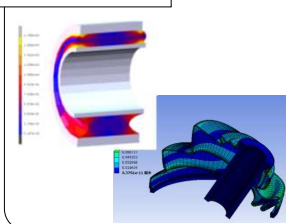
ゴムの3回の伸張データは、上記のように安定性から“3回目のデータとJISでは規定”しています。  
しかし、それだけでは解析に使うことが難しいです。/ **JISは解析用に定義されていません。**

シールの組付けなど  
1回目



組付け時のひずみ

防振ゴムなど  
繰り返し3回目



7

## 更に予測精度悪化の原因

### 解析予測が実測とあ合わない3つの原因

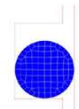
#### 1. 正確な正しいヤング率定義（ヤング率/6=C10 ネオフック）

#### 2. 寸法公差

寸法公差は精度の投球があり 1～3 級があります

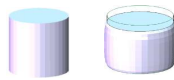
| 寸法    | 公差・1級 | 2級   | 3級[単位:mm] |
|-------|-------|------|-----------|
| 3mm以下 | ±0.2  | ±0.3 | ±0.4      |
| 3～6mm | ±0.2  | ±0.4 | ±0.5      |

一般的には2級を採用、Oリングなど直径3mm以下の製品は10%程度差があり、面積では20%。反力は20%差がみられる。



#### 3. 硬度差

剛性と硬度の関係

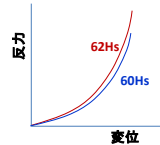


ディスク変形

例えば60Hs 必ずしも60Hsとは限りません。  
62Hs のときも「あります」。

1Hs 5%の差になり、一般的には  
±2or3Hs(±10～15%)の幅を持ちます。

ゴムは寸法公差、硬度(中心±3Hsなど)差が大きい。  
解析が合っていないと考えることも多い。⇒**実際は合っている。**



#### 4. 摩擦係数の誤解 寸法公差/勘合他

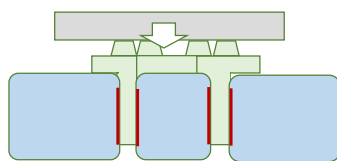
熱履歴考慮を前提に、たったのこれだけの注意で格段に予測精度アップ、実測と一致します。

8

## まとめ

## 複合的要因

圧縮時の荷重

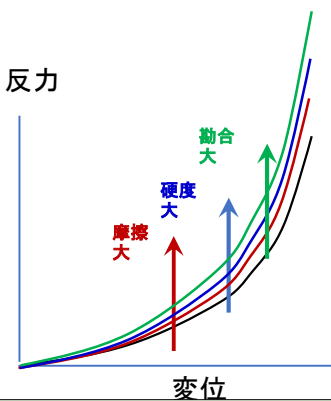


摩擦

硬度

寸法公差/勘合他

反力



ゴムの様々なばらつきから安定品質の難しさ

9

## 解析の勘違い-線形からゴムの大変形非線形解析予測精度アップ ～解析予測精度が上がらない、実測と合わないのは勘違いです～

1. ゴムの解析が実測を表現できない理由
2. 金属でも基本、気づかない点・・・・・・・・
3. ソフトのバグ、昔の常識、知らない人も多いのでは・・・

2026. 8. 12. 寺子屋 萩本

寺子屋/CAE解援隊

URL <https://terakoya2018.com>

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

