

ゴムは応力で評価してはいけない

耐久性に限らず、ゴムはひずみで判断

金属のヤング率 約 $2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$

⇒ 同じ変形なら応力も同じ
応力で評価可能

応力測定もひずみゲージ
ひずみから換算

ゴム

同じ変形でも

ゴム硬度

ヤング率 (目安)

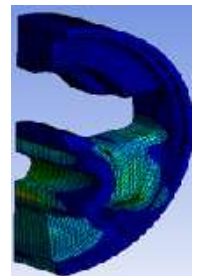
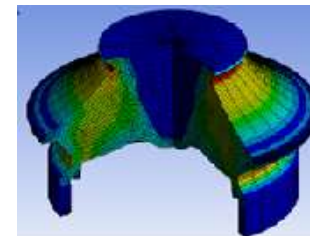
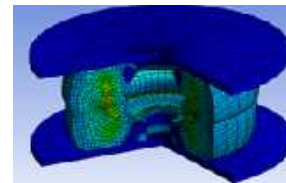
40 Hs ⇒ 1.2 MPa

60 Hs ⇒ 3.0 MPa

75 Hs ⇒ 5.4 MPa

同じ変形でも応力が異なる。

※繰り返し変形時、硬度高いと発熱も大きく耐久性低下も。



変形解析

耐久性の見方

金属材料

金属材料の種類により、

- ①ミゼス応力説 ②せん断応力説 ③最大主応力説
など、それぞれ相応の指標がある。



1. スミス線図

応力振幅vs回数

6.2.4 疲労限度線図, S_a - S_m 線図

疲労限度が平均応力によって変る様子を示す線図を疲労限度線図という。

図 6.7 は S45C 鋼の引張圧縮疲労試験において、平均応力 σ_m を -10, 0, 8

および 16 kgf/mm² として得

られた $S-N$ 曲線で、それぞれの曲線から、疲労限度が得られる。図 6.8(a) は平均応力を変えた場合の疲労限度における応力波形を表すものとする。図 (b) は横軸に平均応力、縦軸に疲労限度応力波

形における最大、最小応力の2点をプロットした線図で、疲労限度線図の一つでスミス線図 (Smith diagram) という。

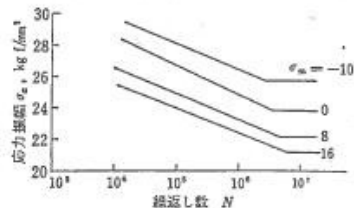


図 6.7 平均応力をパラメータとした $S-N$ 線図 (S45C 鋼)

2. 疲労限度線図

⇒ グッドマン線図

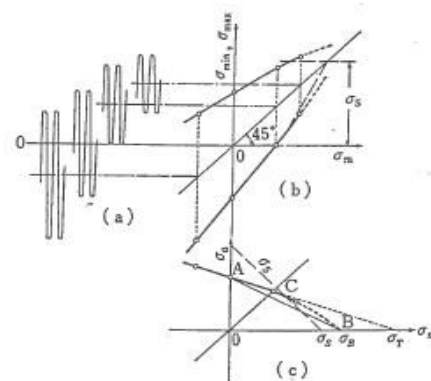


図 6.8 疲労限度線図

(b) Smith 線図 (c) 疲労限度線図

軸引張試験における真の強さを σ_m とほぼ一致するので、疲労限度線を簡単に

疲労限度の上下

2 線と、降伏限界 σ_s 線に囲まれる範囲となる。

図 (c) のように、縦軸に応力振幅 σ_a 、横軸に平均応力 σ_m をとった疲労限度線図の方が簡明であるので、多く用いられ、この曲線はふつう右下がりの曲線となる。直線部を延長して、横軸と交わる点は、

その他、モール円応力での評価など

ゴム材料

- ・滋賀県立大学山下先生(現福井大)
2軸試験による疲労寿命の研究
- ・豊田合成殿の論文

日本ゴム協会誌(第66巻, 第4号, 1993) 防振ゴム材料の耐久性評価

参考となる文献は少ない。

金属は専門の研究機関あり
ゴムは各社でノウハウを持つ。

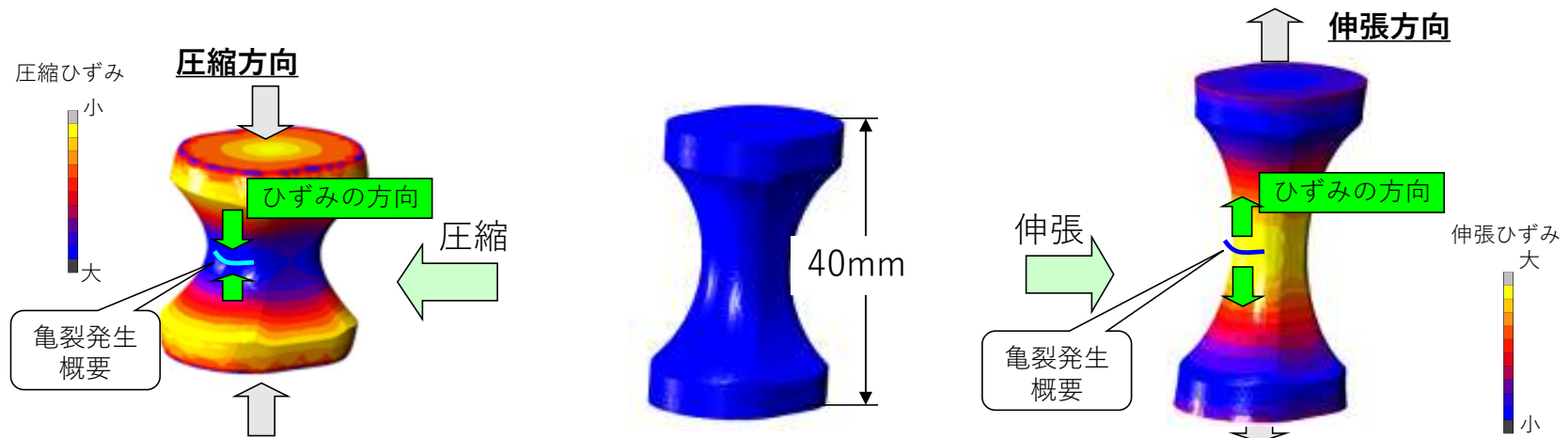


公開しない。大学研究者激減

耐久性指標の検討 文献の検証

実際に、豊田合成殿の疲労寿命予測用TP作成、耐久試験を実施。

圧縮-伸張の繰り返し変位による耐久試験

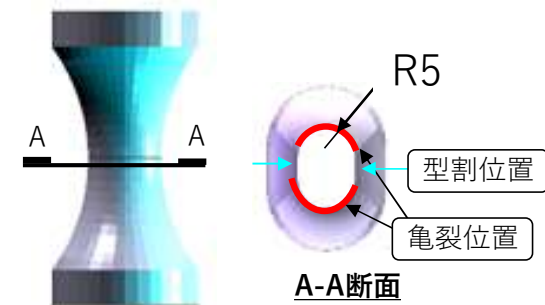


1. 亀裂は、圧縮-伸張ひずみの方向に直行して発生する。

即ち、**ひずみの方向に直行して亀裂が発生**する。

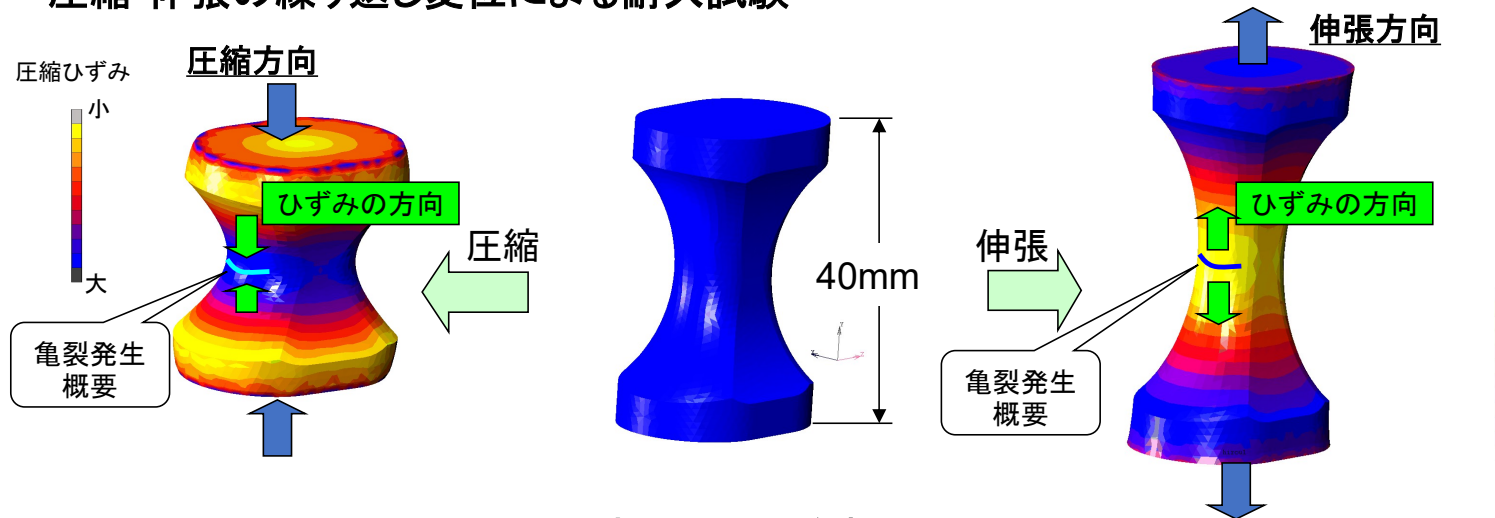
2. 断面形状を長円とすることで、亀裂位置に金型の
パーティションの影響のないTPを作成する。

亀裂の方向は、発生するひずみと直行方向に発生する。

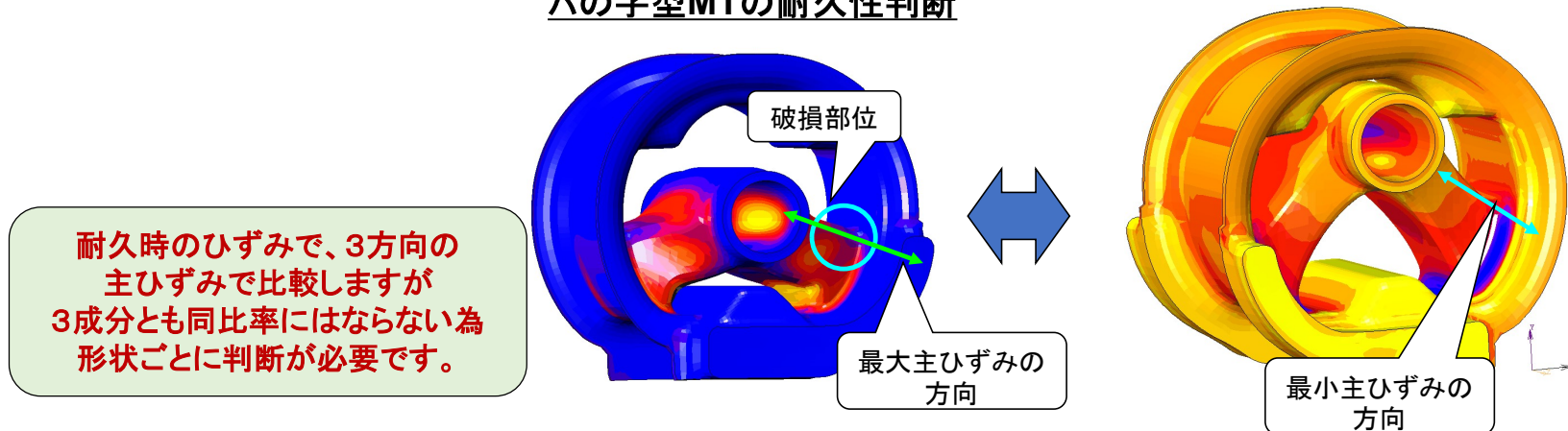


亀裂はひずみに直行方向に発生する

圧縮-伸張の繰り返し変位による耐久試験



ハの字型MTの耐久性判断



必ずひずみの方向に直行して亀裂が発生する/金属と同様

耐久性指標 ε -N線図作成方法

ハの字MTで見ると、



伸張変形時

伸張ひずみ 0.41

圧縮変形時

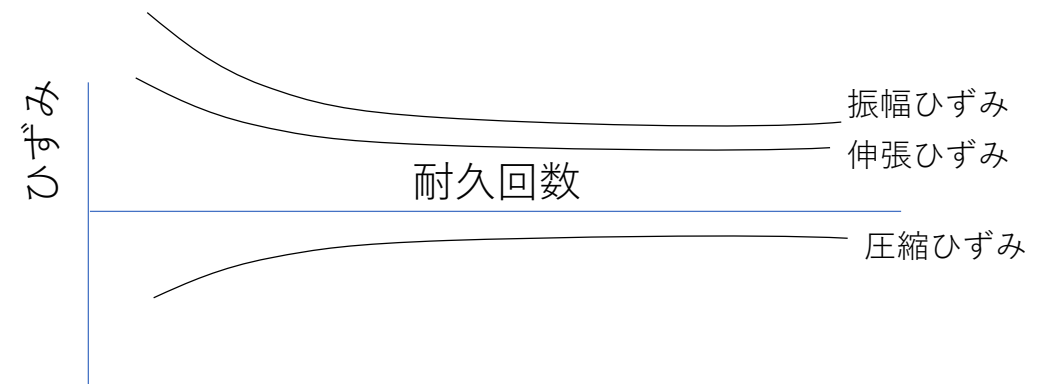
圧縮ひずみ -0.35

差、即ち振幅ひずみ -0.76 である。

必ず亀裂はひずみに直行方向発生する。

ゴムは応力で評価しない。⇒ ひずみ

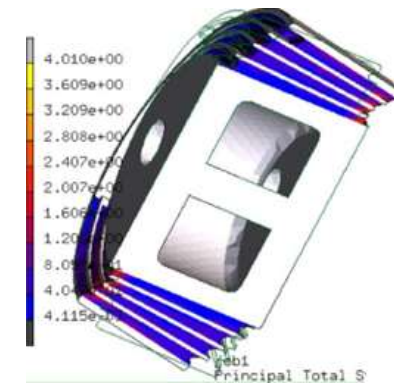
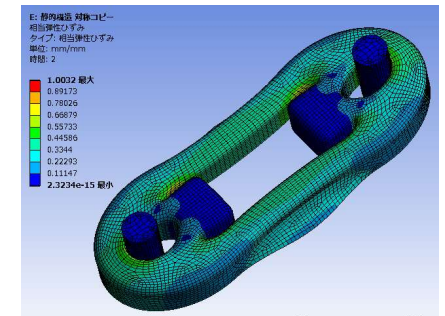
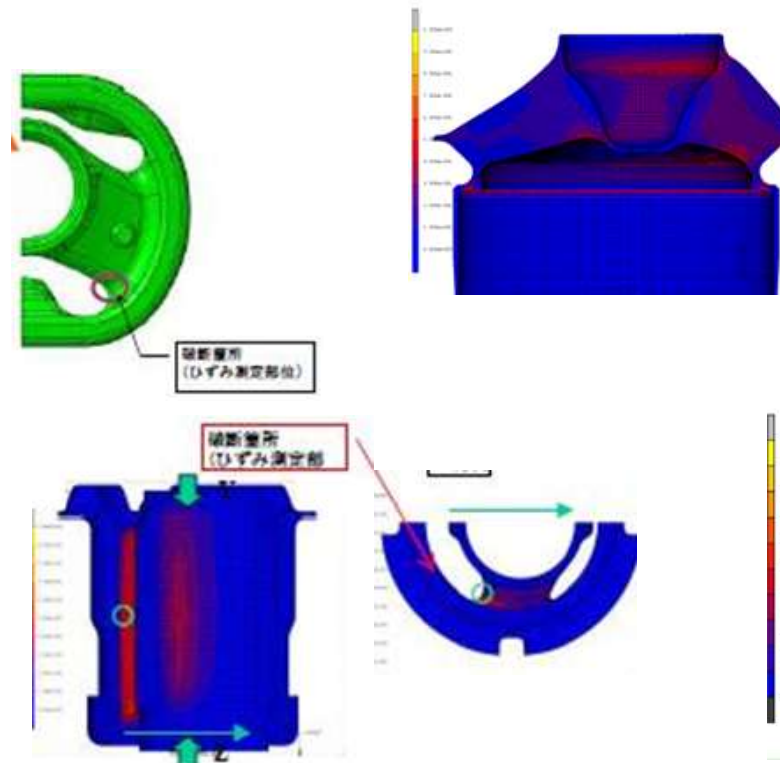
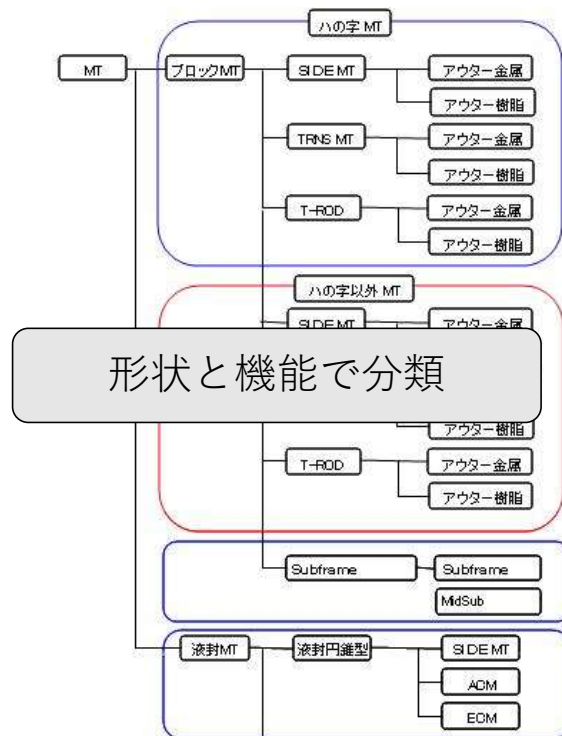
①伸張ひずみ ②圧縮ひずみ ③振幅ひずみ



現状 実用的かつ先端耐久予測手法

残念ながらすべての形状に適用できる線図はない・・・と思う。

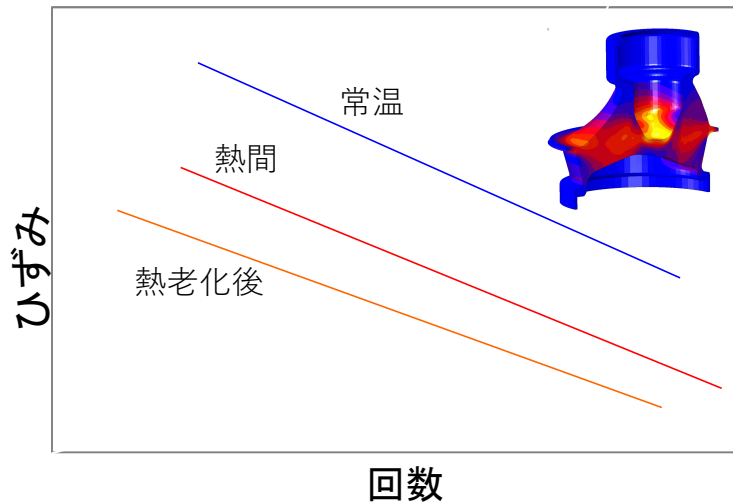
耐久 ε -N線図構築



形状ごと、変形状態ごとに分類して構築/幸いスペックの決め方が同じ

熱老化・劣化耐久性予測

耐久 ε -N線図イメージ

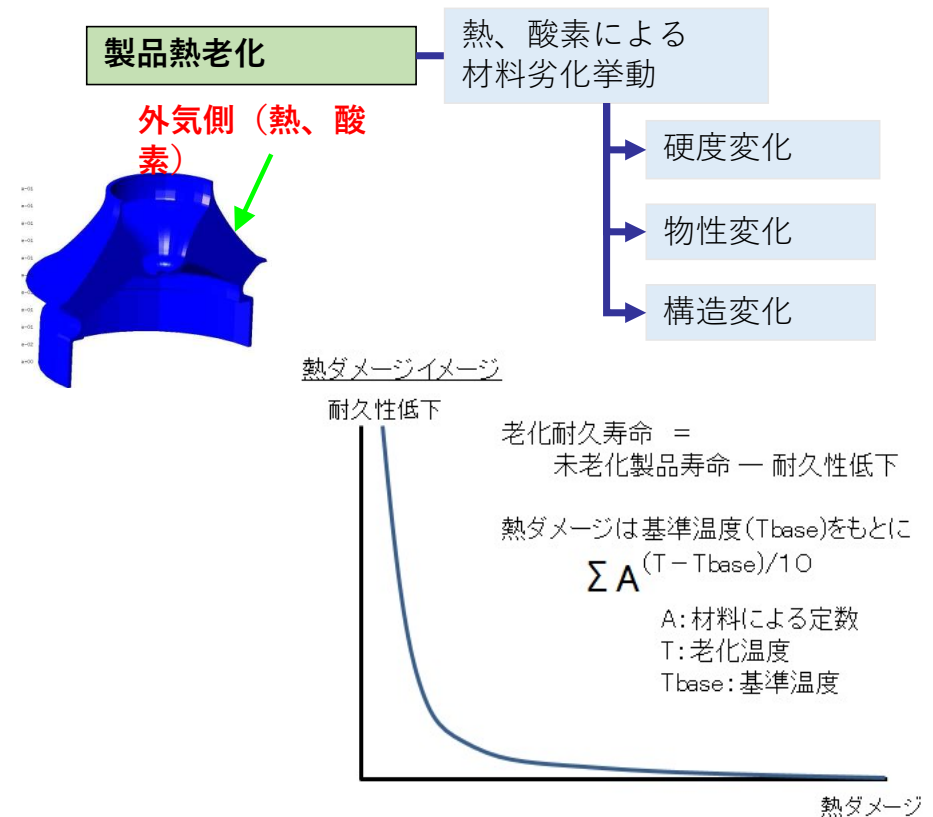


熱老化耐久予測 = (通常の) 耐久予測
+ 老化・劣化予測 として・・・

熱老化なしの状態での ε -N線図に対して、
物性変化・耐久ダウン率の補正を行い、耐久回数の予測を行う。

熱劣化－劣化の考え方

<アプローチ>



ひずみエネルギー密度関数定義

ひずみエネルギー密度関数 様々な表現式

1) Neo-Hookeanモデル

$$W = C_{10}(I_1 - 3)$$

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad [\text{対角線効果}]$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad [\text{面積効果}]$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1 \quad [\text{体積効果}]$$

2) Mooney-Rivlin

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3)$$

※ $I_3=1$ は非圧縮性

最近、紛らわしい論文(圧縮性を示す誤り)

3) Mooney高次式

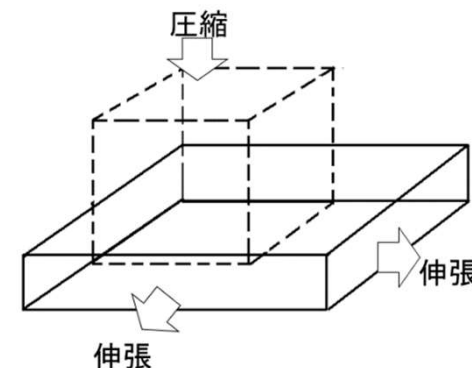
$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) \\ + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3$$

4) Ogden

$$W = \sum \frac{\mu_i}{\alpha_i} \lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3^{\alpha_i}$$

5) Arruda-Boyce

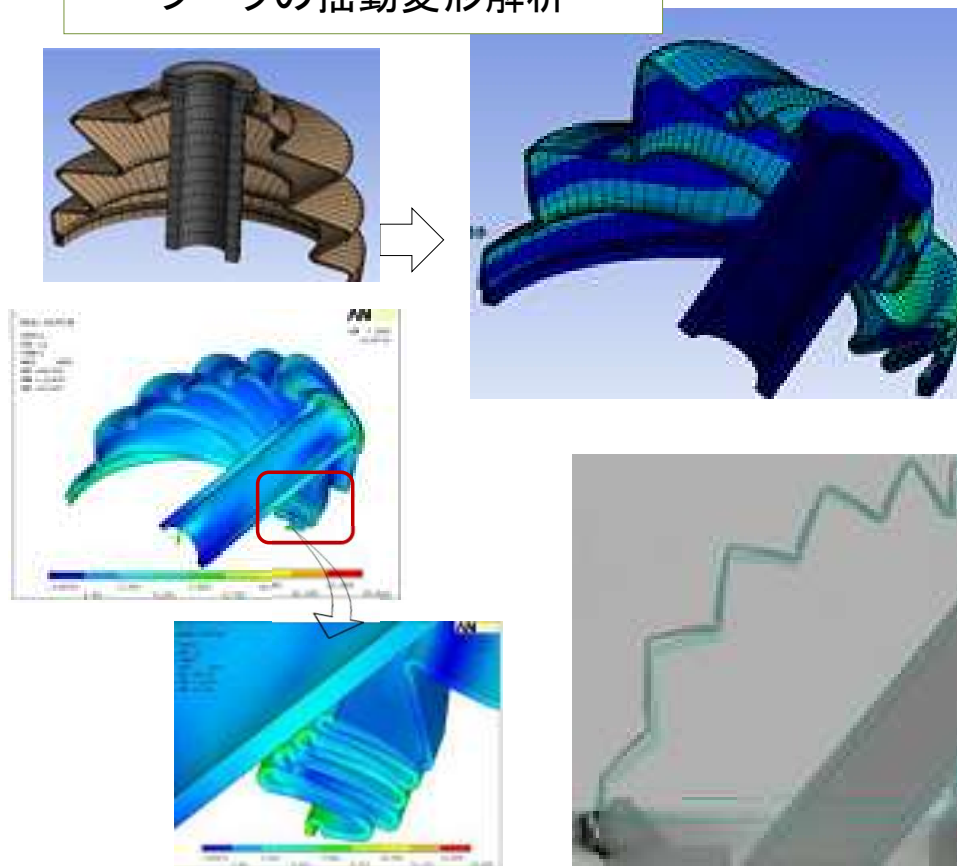
$$W = nk\theta \left[\frac{1}{2}(I_1 - 3) + \frac{1}{20N} \left(I_1^2 - 9 \right) + \frac{11}{1050N^2} \left(I_1^3 - 27 \right) + \frac{19}{7000N^3} \left(I_1^4 - 81 \right) + \frac{519}{673750N^4} \left(I_1^5 - 243 \right) \right]$$



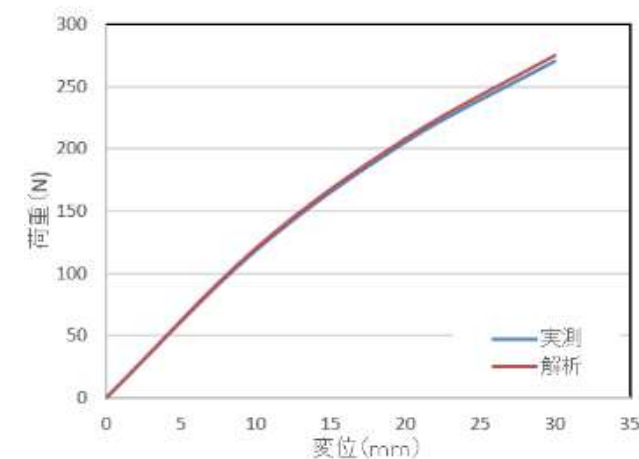
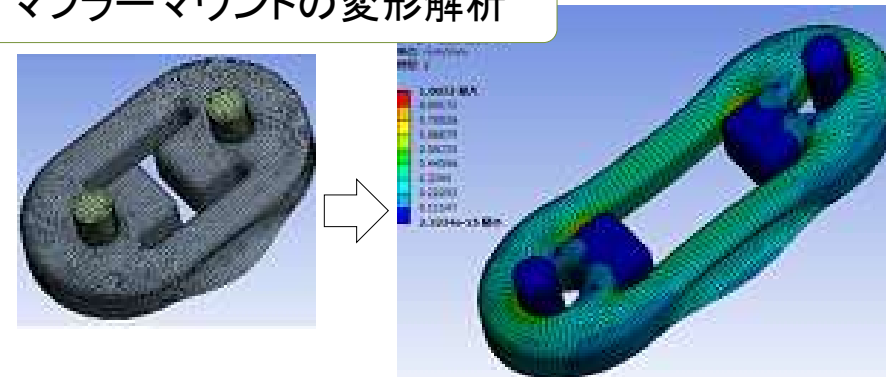
一般的にこれら定義で
解析予測精度が良いと言われる。

解析例 定義及び解析の注意点を守れば簡単に精度がアップする

ブーツの揺動変形解析



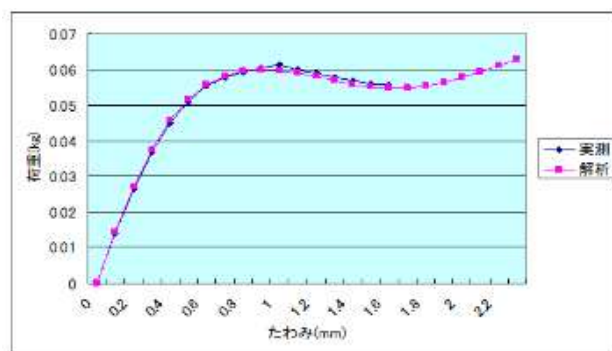
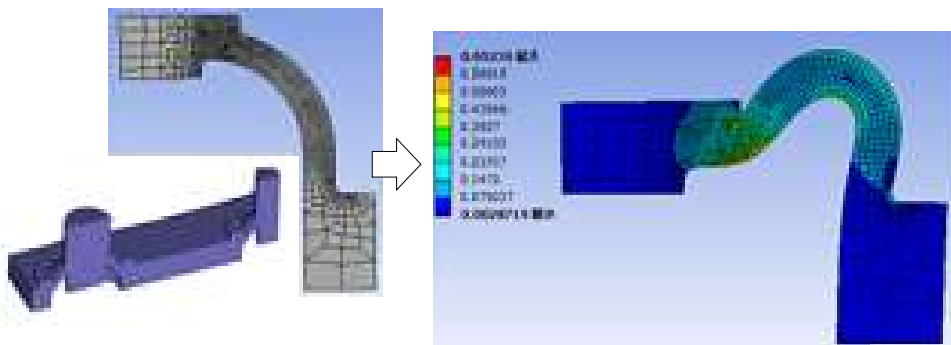
マフラーマウントの変形解析



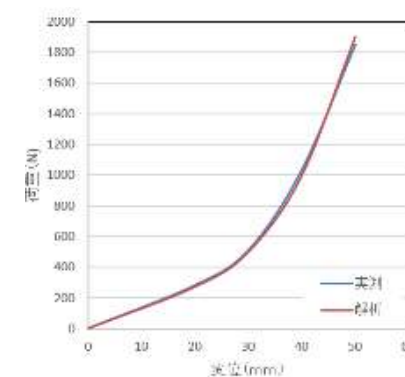
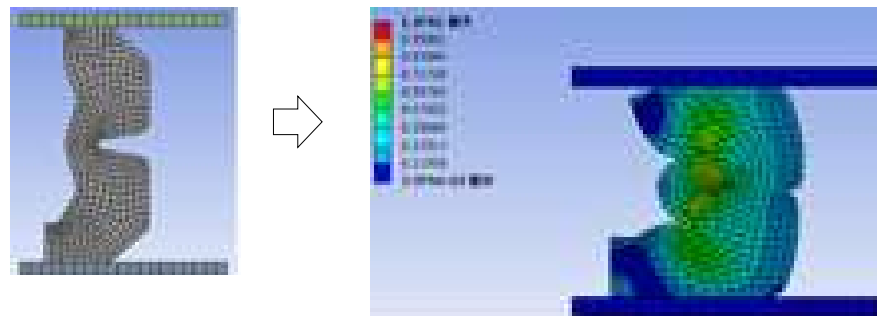
実測と解析予測が良く一致(良好)

解析例 定義及び解析の注意点を守れば簡単に精度がアップする

ラバーコンタクト変形解析



ラバースプリングの変形解析

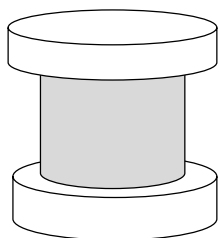


実測と解析予測が良く一致(良好)

解析が合わないのは勘違いと知識不足です。

ゴムの解析が難しい、実験値と合わない理由

荷重、反力に影響するものは、主に要因は・・・



摩擦

硬度

寸法公差

があります。

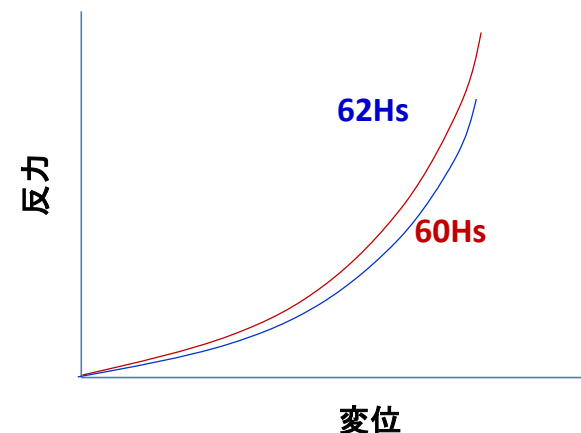
摩擦について

摩擦については非常に複雑、誤解もありますので
別途、詳しく説明します。(資料は掲載しています)
[YT版-ゴムの解析が難しいと言われる所以220918.pptxorYouTube](#)

硬度について

60Hsのゴム製品を製造しても**60Hsとは限りません**。
製造能力の面から一般的に、 60 ± 2 Hsの製品です。

解析用の材料データを60Hs、製品が62Hsということは良くあります。
1HS補正する場合、5%を考慮します。
つまり、 ± 2 Hsとは、 $-10 \sim +10\%$ の変化、レンジで20%異なります。



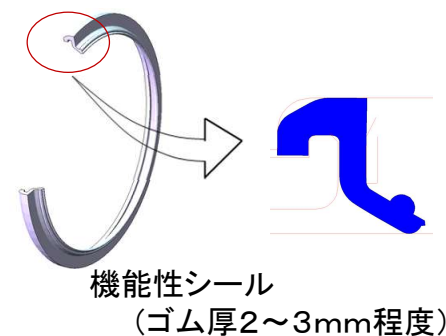
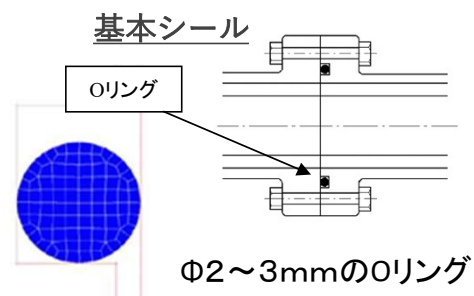
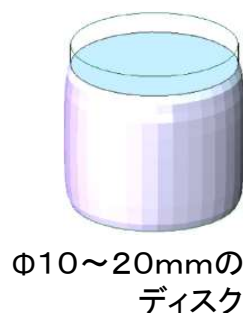
製品の硬度が必ずしも解析用データと一致していない場合もあり、硬度の確認が必要です。

寸法公差

摩擦・硬度以外に大きな影響に **寸法公差** があります。

寸法公差は精度の等級があり 1 ～ 3 級があります。

寸法	1 級	2 級	3 級	[単位 : mm]
3 mm以下	± 0.2	± 0.3	± 0.4	
3 ～ 6	± 0.2	± 0.4	± 0.5	
10 ～ 18	± 0.3	± 0.6	± 0.8	

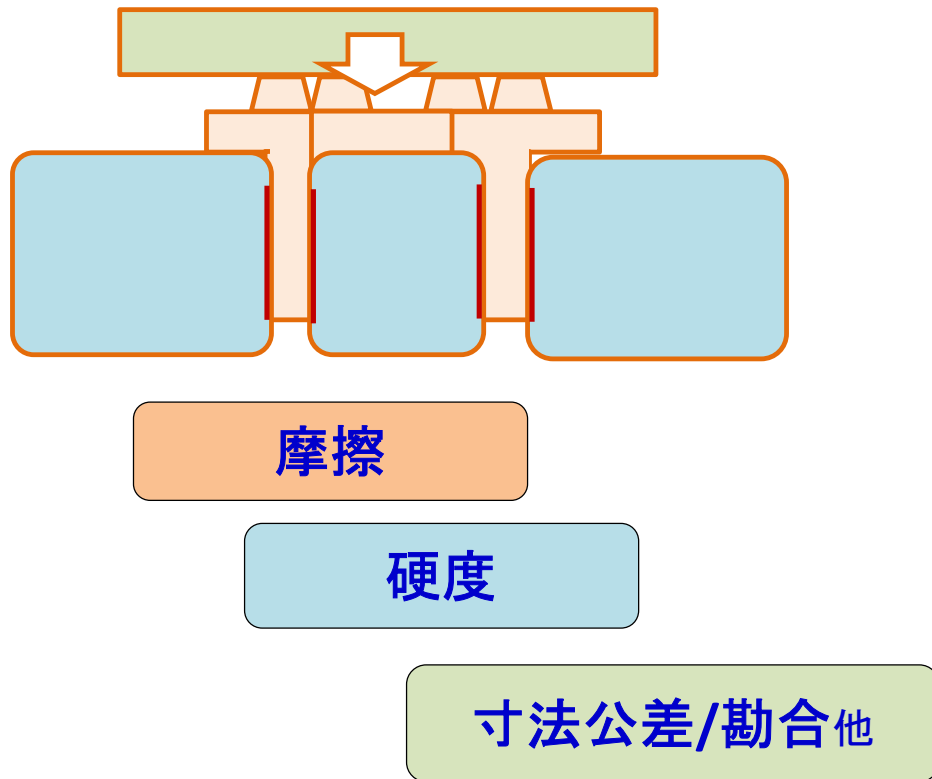


2 級公差が一般的です。OリングΦ 3 mmの製品は、 ± 0.3 mm（つまりΦ 2.7 ～ 3.3 mm）となり
寸法がΦ 3 mmの10%変化する、**結果として荷重、反力がレンジで20%以上変化**する。

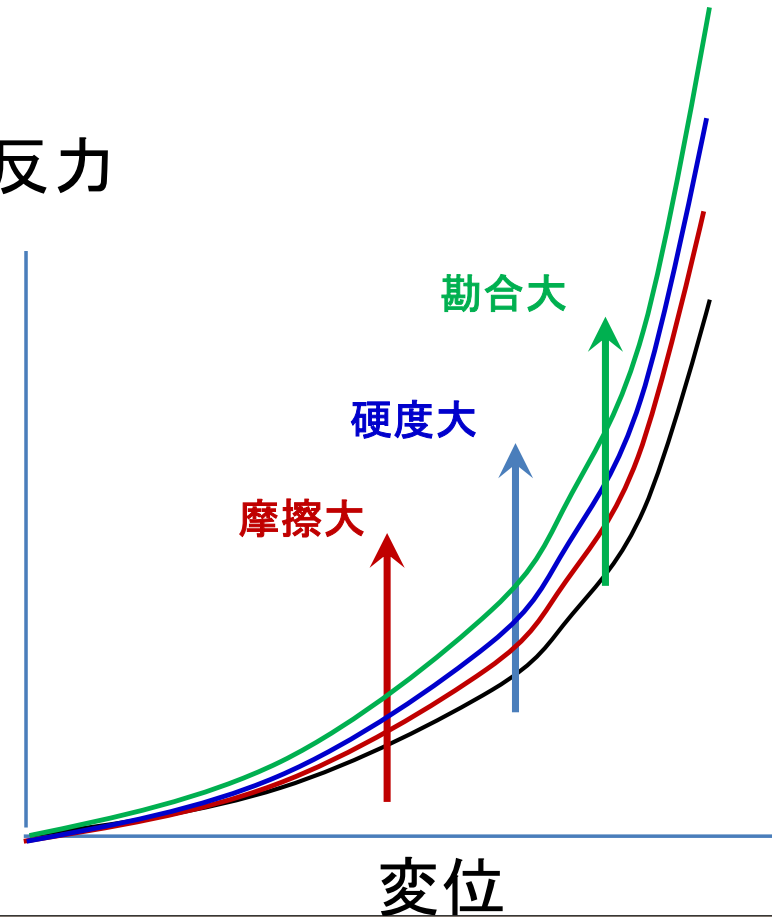
製品の硬度が必ずしも解析用データと一致していない場合もあり、硬度の確認が必要です。

複合的要因

圧縮時の荷重



反力



ゴムの様々なばらつきから安定品質の難しさ