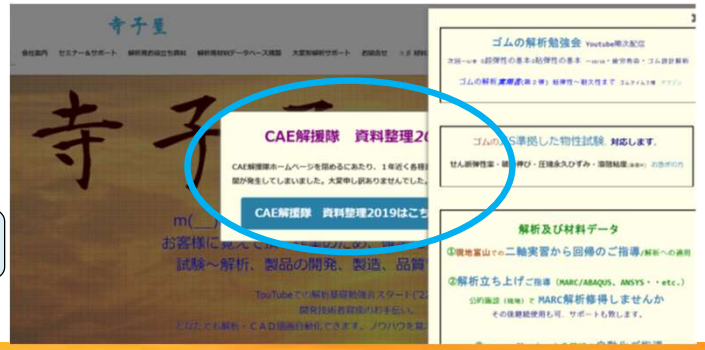
スライドショー／再生で音声も

- ゴムの粘弾性解析の肝　ダイジェスト版 ー

間違い、勘違いの多い粘弾性定義

第１弾

- 自己紹介
- ゴムの解析の難しさ
- これさえ押さえれば簡単



第２弾

- 超弾性解析の基本
- 粘弾性解析の基本

第３弾

- 防振ゴム設計
- 疲労寿命

2022.9.29.　寺子屋

寺子屋/CAE解援隊

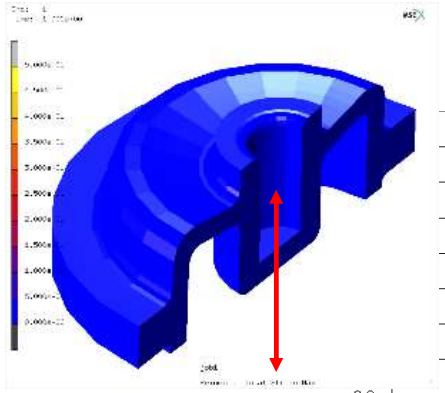
連絡先　hagi@terakoya2018.com

粘弾性解析とは、超弾性との違い

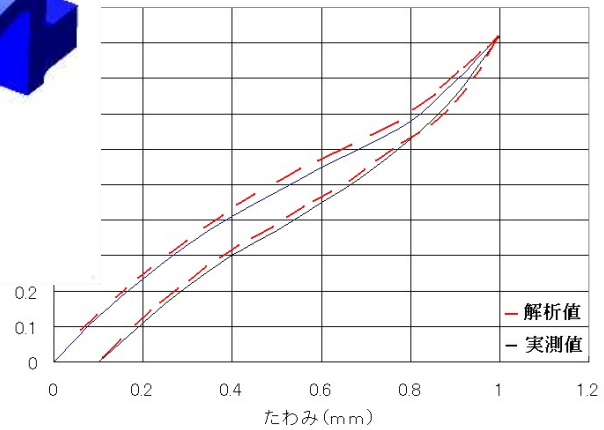
超弾性解析という言葉も、ゴムを表す・・ということを理解するのに時間がかかりました。

粘弾性解析という言葉、こちらは範囲が広く誤解を招きやすい機能で、より理解に苦しみます。

粘弾性解析の例

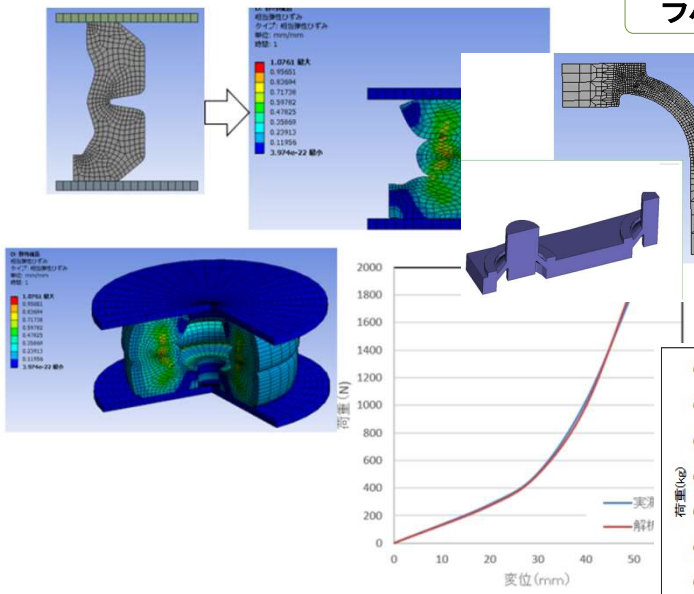


戻りの特性比較

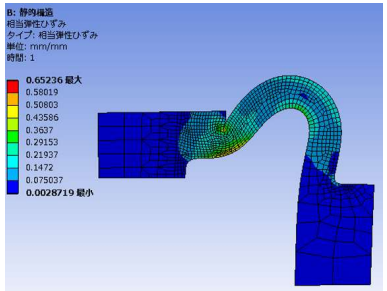


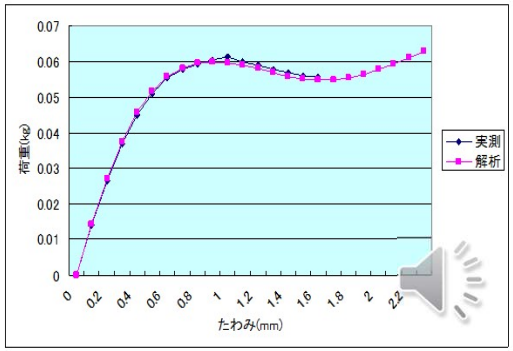
超弾性解析の例

ラバースプリングの変形解析



ラバーコンタクト変形解析



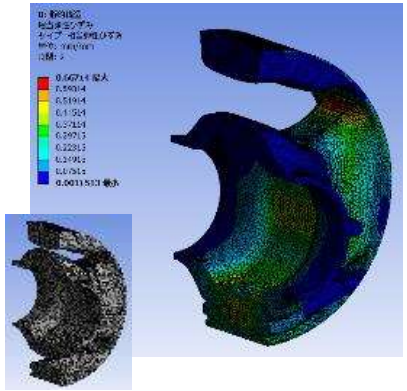


粘弾性特性は、時間依存性ですが
静解析の領域

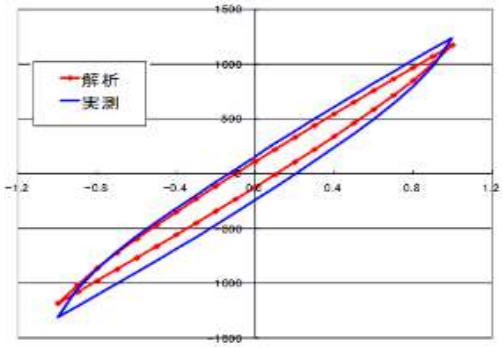
ロスを、戻り特性を表現できるか・・・

粘弾性解析とは、超弾性との違い

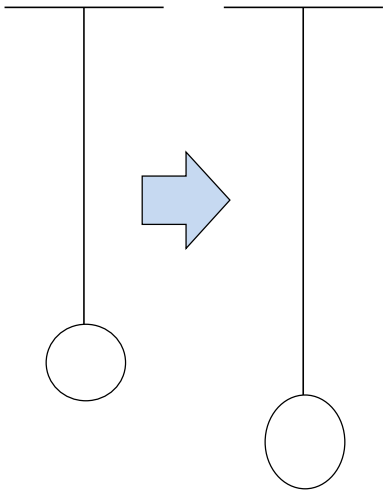
これらも粘弾性解析・・・すべて同じデータで解析可能です



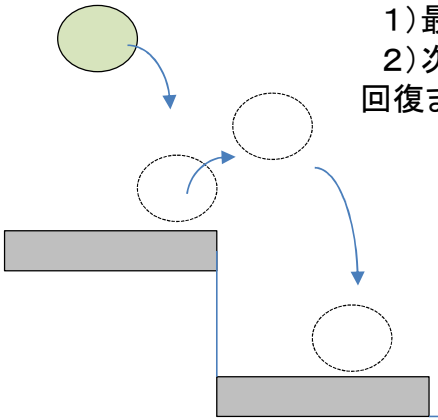
リサージュ波形



クリープ



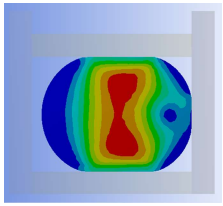
粘弾性（Viscelmoon等)で解析、
1）最初にバウンドするとき
2）次にバウンドするとき
回復までの解析ができます。

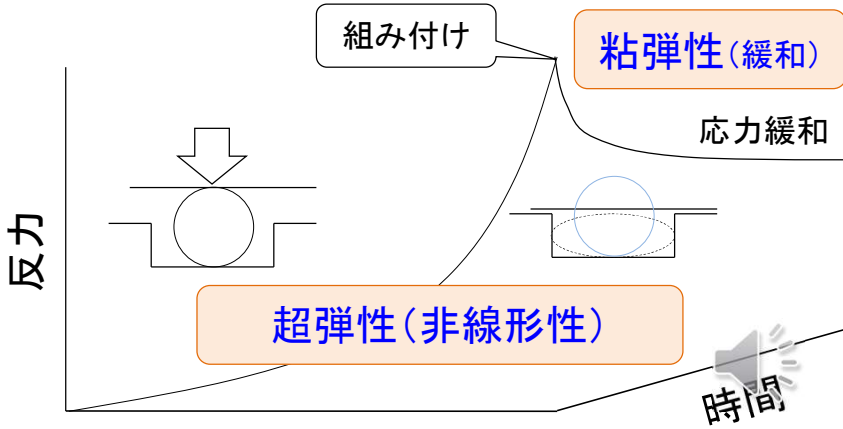


同様の定義で
ダメージ(Mullins)
効果も定義可能

クリープも同じデータで解析可能。

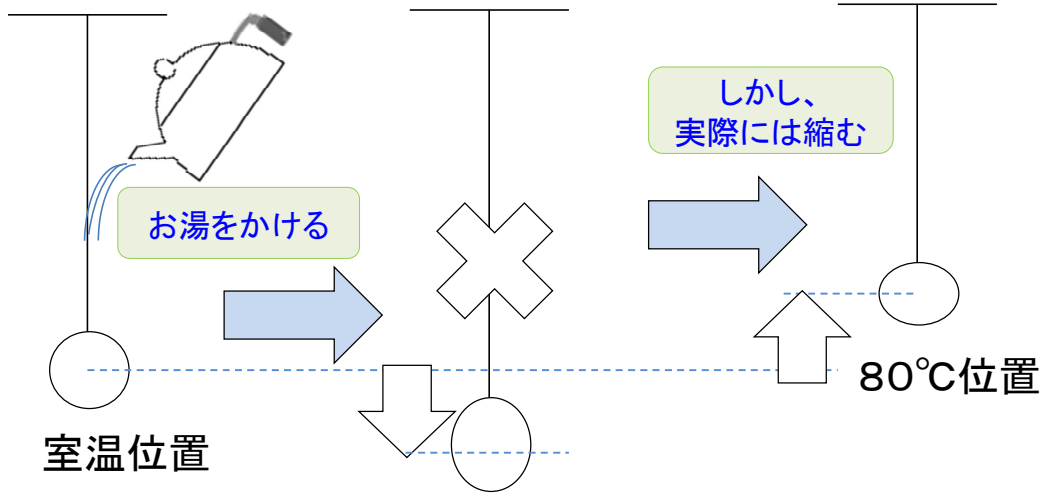
シール組み付け



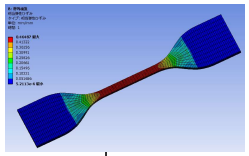


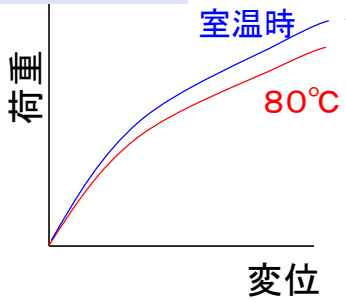
熱時剛性

常温剛性　≧　熱時剛性



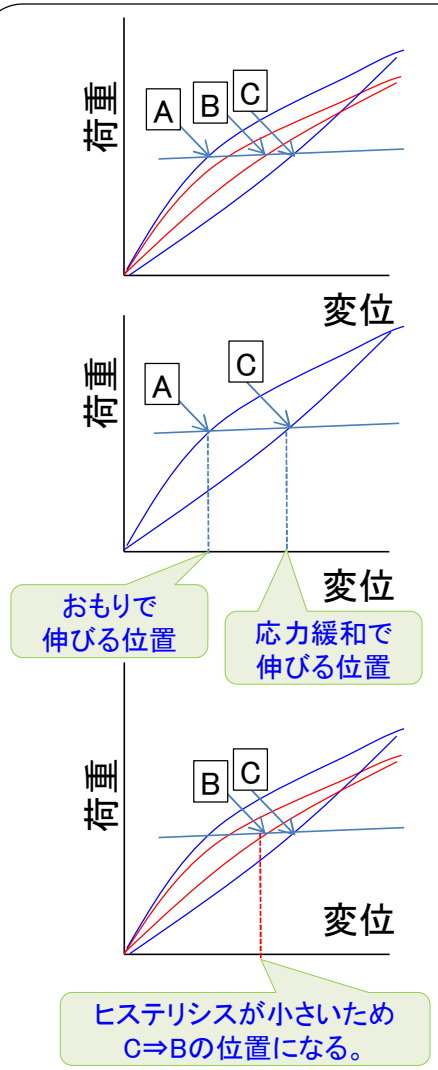
高温時剛性低下
伸びるはずである





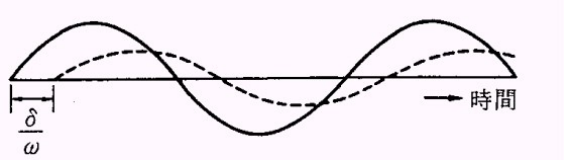
この現象一つでも、勘違いが発生している。
ゴムの分かり難い、難しいという所以であるが、実際謎解きすれば簡単である。

その理由は
ヒステリシスと考えられる



勘違いを招く熱時の表現、剛性の影響ではなく粘弾性（ロス）の影響です。

粘弾性材料定義



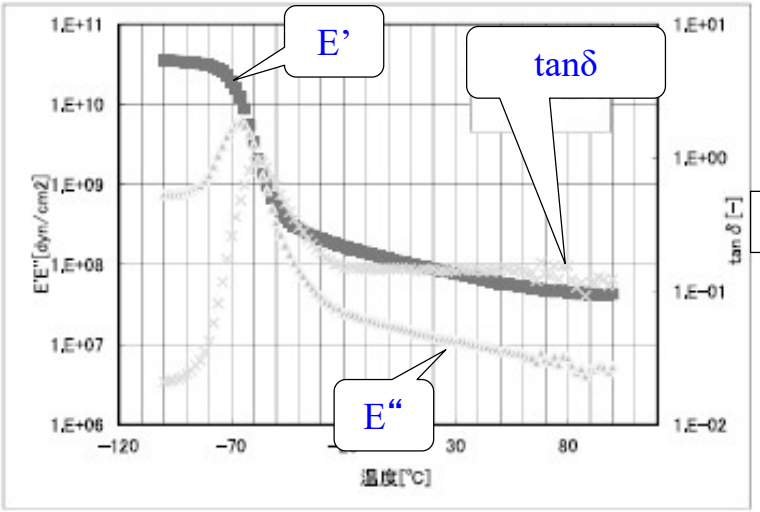
加振応答側の位相差特性

$$E^* = E' + iE''$$

となり，E'，E'' は各々式（2.21）で表される．

$$E' = \frac{\omega^2\tau^2}{1+\omega^2\tau^2}E, \quad E'' = \frac{\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2}E$$

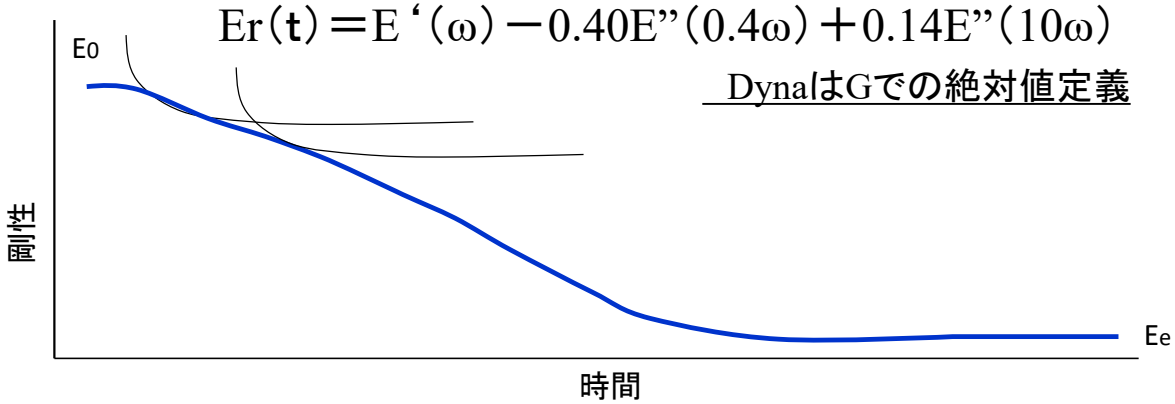
E^* を複素弾性率（complex modulus）
E' を動的貯蔵弾性率（strage modulus）
E'' を動的損失弾性率（loss modulus）



二ノ宮の式

$$Er(t) = E'(\omega) - 0.40E''(0.4\omega) + 0.14E''(10\omega)$$

DynaはGでの絶対値定義



1材料の測定で1週間程度、そこから回帰、定義と非常に手間がかかります。
データを利用した簡易法の用意があります。

粘弾性解析用の材料定義

幅広い領域定義の為
時間温度 換算則を使用します

粘弾性解析は、

超弾性（Mooney、Ogdenなど） ＋ **粘弾性緩和係数**（Proney級数） **で定義します。**

実際の解析 超弾性定義 ＋ 粘弾性定義 $\log\alpha_T = \dfrac{-C_1(T-T_R)}{C_2+(T-T_R)}$

Tg ：ガラス転移温度
C_1=886 C_2=101.6
T_R = Tg＋50
（参考値）

一般的にMooney、Ogdenが使われます。

Mooney式

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

Ogden式

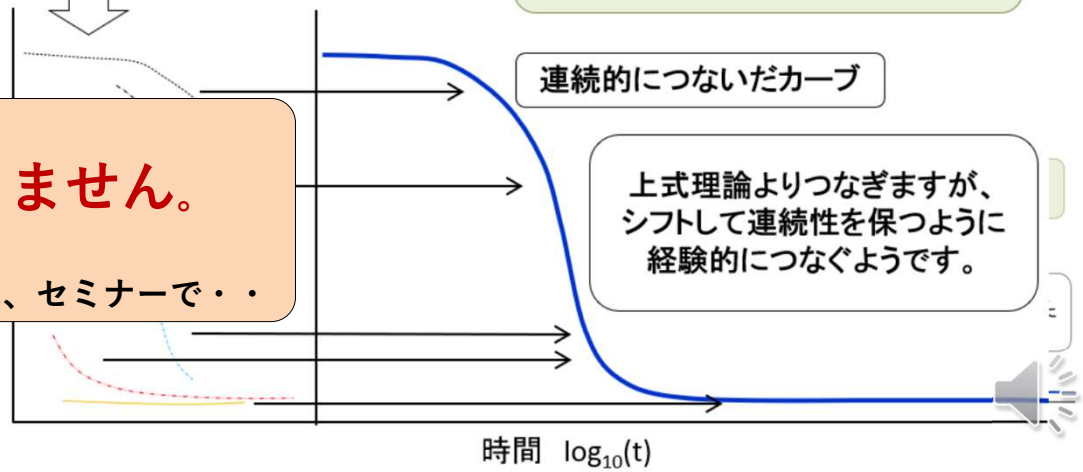
$$W=\sum_{i=1}^{n}\frac{\mu_i}{\alpha_i}(\lambda_1^{\alpha_i}+\lambda_2^{\alpha_i}+\lambda_3^{\alpha_i}-1)$$

Proney級数

それぞれの温度での
周波数変化でのデータ

狭い領域

これら参考地で
実際には重ね合わせです。



別々に定義しますが、

それぞれ **超弾性係数＋粘弾性係数** では **解析できません。**

必ず調整が必要**になります。** **その理由は、セミナーで・・**

順番に粘弾性データを定義すると

粘弾性データ調整方法

超弾性データは本来、瞬間（ゼロ秒後）のデータ　・・丁寧な測定以外、
通常の測定では測定不可能

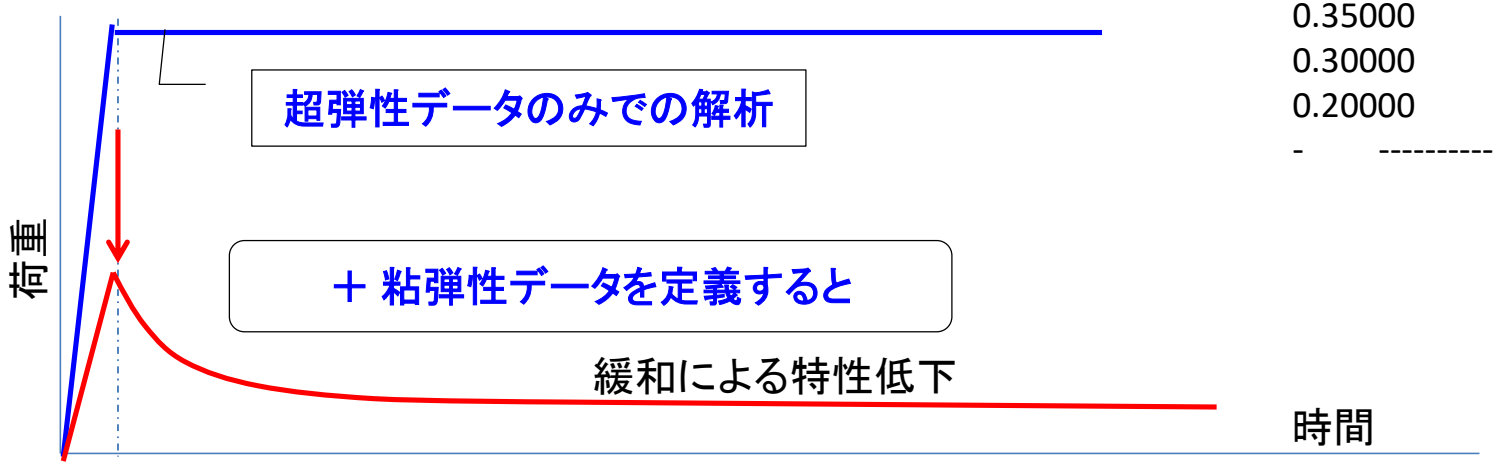
超弾性データ/一般的定義

単位：N/mm2

C_{10}	C_{01}	C_{11}	C_{20}	C_{30}
5.6571E-01	-2.0063E-01	1.2288E-01	-1.4594E-01	2.9926E-03

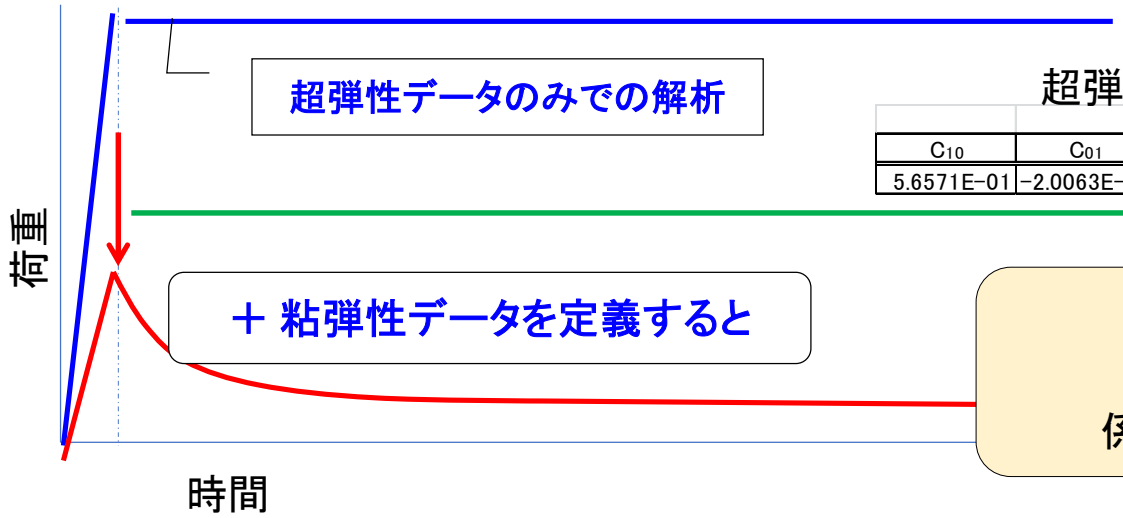
＋粘弾性定義

粘弾性データ
1　8
0.05000　　1.0000e-10
0.35000　　1.0000e-08
0.30000　　1.0000e-07
0.20000　　1.0000e-05
-　　----------



既に超弾性データは、緩和を加味した値で定義しているため、さらに緩和が加わる。

簡易粘弾性データ定義方法



超弾性データのみでの解析

＋ 粘弾性データを定義すると

超弾性データ

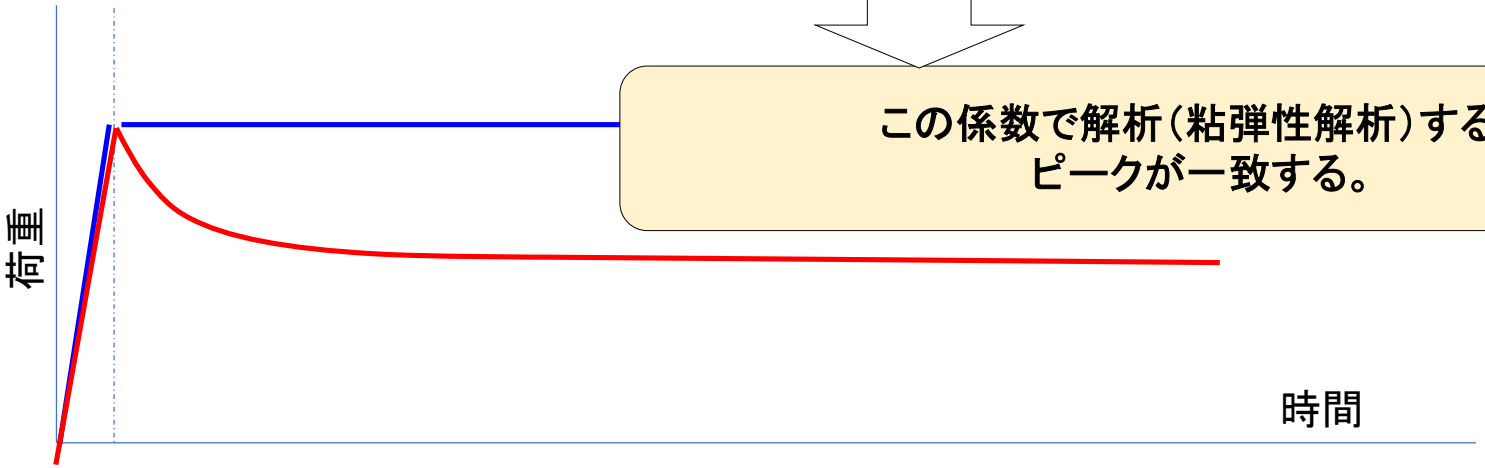
単位：N/mm2

C_{10}	C_{01}	C_{11}	C_{20}	C_{30}
5.6571E-01	-2.0063E-01	1.2288E-01	-1.4594E-01	2.9926E-03

約30倍です。
低下分を倍率をかけて補正
係数によって1/1000となることも・・・

C_{10}	C_{01}	C_{11}	C_{20}	C_{30}
1.8867E+01	1.9666E+00	5.5673E+01	-2.7837E+01	9.2183E-02

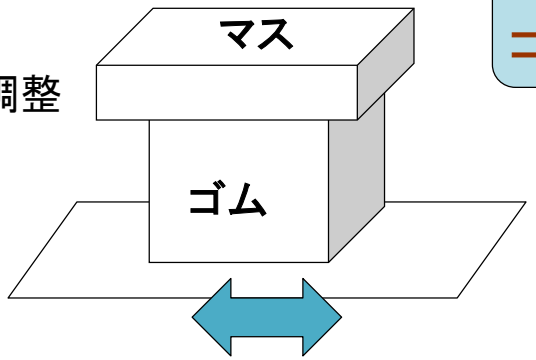
この係数で解析（粘弾性解析）すると
ピークが一致する。



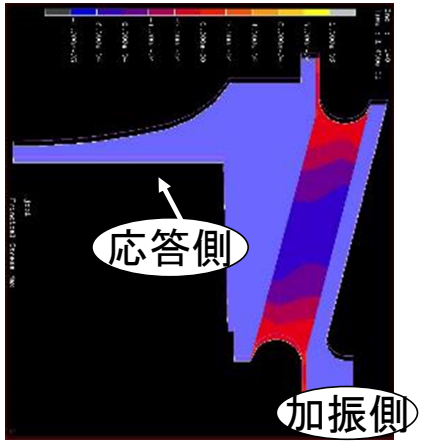
粘弾性解析定義の誤解

1）固有値解析には、**粘弾性定義は無効化**される。

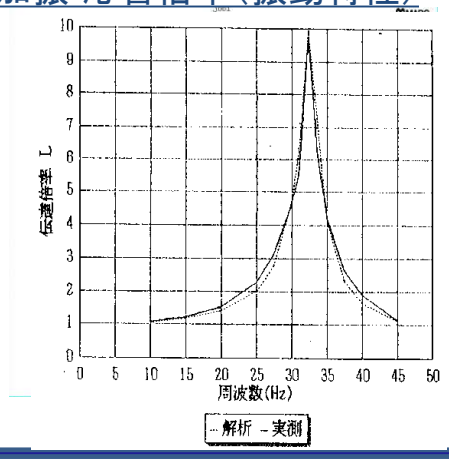
・ひずみエネルギー密度関数を固有値解析用に調整
・時刻歴応答解析（粘弾性効果含む）
いずれかの方法が考えられる。
⇒固有値解析用の材料データが必要。



粘弾性定義しても
ゴムの固有値は合いません。



加振-応答倍率（振動特性）



時刻歴応答解析で求める

粘弾性データとEXCELツールで
直接固有値解析可能なツールの提供

時刻歴応答解析より
遥かに解析時間短縮

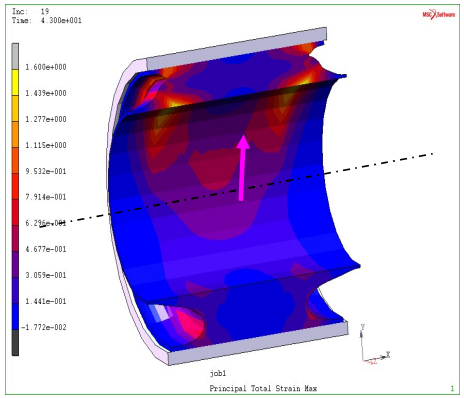
寺子屋**特有のツール**

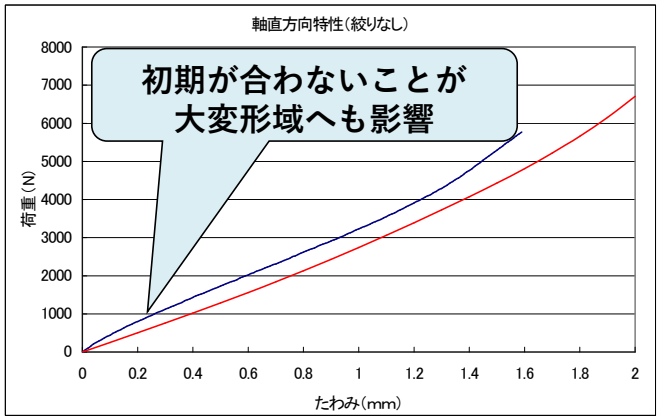
BUSH特性予測技術

静特性、往きの特性でも必要なものも

BUSH製品； 初期及び大変形領域も予測精度が悪い。
MTに比べて、**粘弾性特性効果が非常に大きく、その因子も含めて検討**が必要。

単純なBUSHの解析例

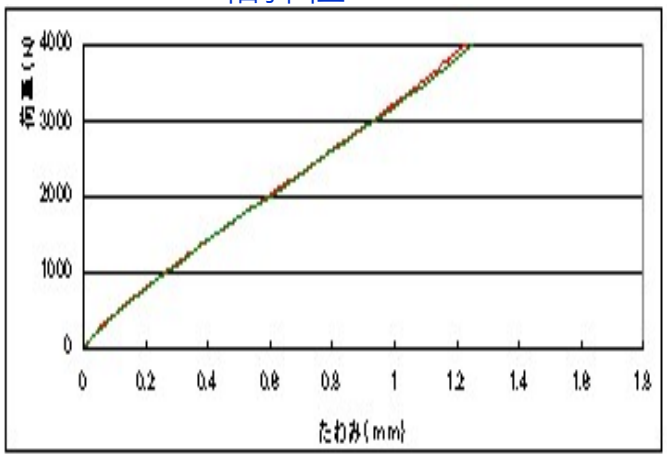




＋ ［**粘弾性特性**］

$Y = K(x) \cdot G(x,t) \cdot X + \cdots$

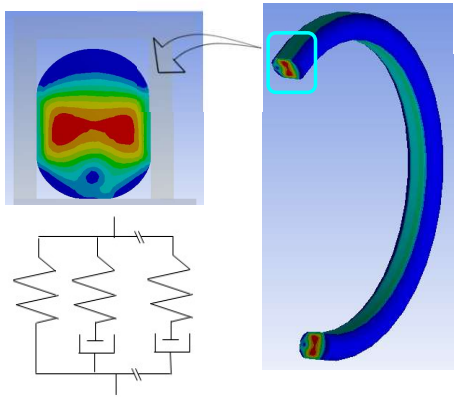
超弾性　粘弾性



単純な形状でも超弾性解析だけでは合わないものもあります。

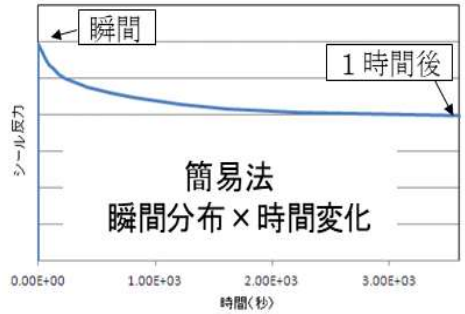
その他の要因・へたり

シール等もう1つの解析工夫

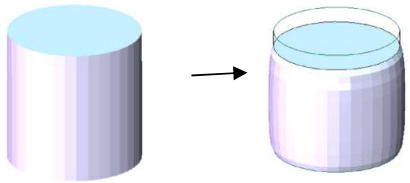


$$\sigma(t) = \varepsilon(t)\sum_{i=1}^{N} Ei\, e^{-t/\tau_i} + \varepsilon(t)\sum Ee$$

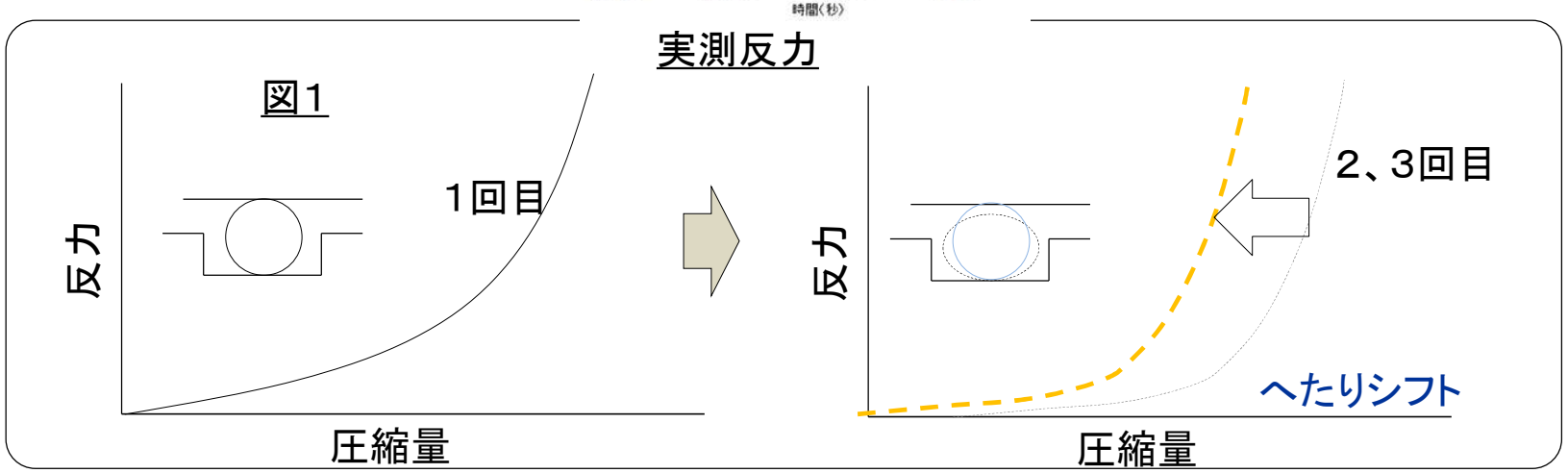
粘弾性定義しなくとも



同様にディスク等でも



圧縮変形概要



講師の履歴書

進学校の予定が
推薦入学で
オリンピックめざし
インターハイまで

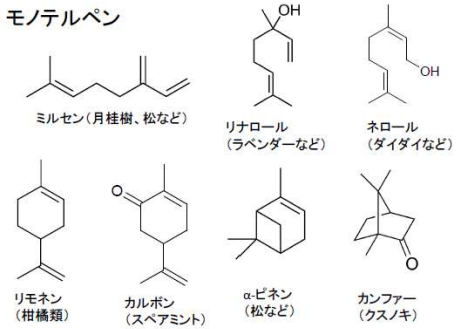
中学　⇒高校

英語勉強せず
（化学と数学で突破）

ちょっとしたこと
推薦でなく受験

大学

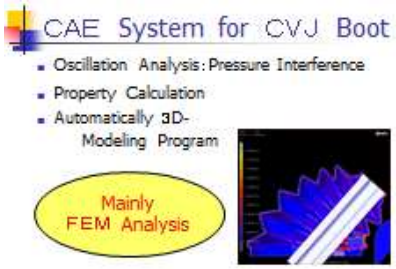
物理が苦手で化学専攻
香水の合成



就職

防振ゴムの設計/物理系

1991年～　FEM解析
主担当・海外研修
解析マニュアル全て英語



英語での講師　2000年ころ
海外からの研修・講師

現在

物理系
FEM解析での仕事

化学系出身でもこの程度できます。

寺子屋代表　自己紹介YouTube　ご覧ください

https://www.youtube.com/watch?v=fpEvkk_wow8&t=17s

広　告

検索：ゴムの解析　寺子屋２０１８

解析のお手伝い

ゴムの解析用データ構築

超弾性･粘弾性～耐久まで

ゴムの各種測定

二軸伸張試験

解析自動化･効率化

予測精度向上

セミナーの開催

基礎の無料セミナー

お客様向け有料セミナー

ご要望に合わせてカストマイズ

オンサイトサポート

解析立ち上げ

解析実用化

全体をまとめた書籍

寺子屋は発展するCAEを一緒に学びながら成長していく会社です。

寺子屋/CAE解援隊

連絡先　hagi@terakoya2018.com

寺子屋　サポート概要

ノウハウを提供する会社です。自立して頂く・・・

ゴムのお困りごと、何でも相談ください。

ＣＡＥ適用

立ち上げお手伝い

- ・セミナー、育成サポート（座学）
- ・解析初心者ご指導
- ・ゴム材料定義
- ・解析条件の定義方法、見直し/間違え易い定義
- ・結果の見方、処理

効率化

- ・CAD自動化
- ・解析自動化/条件設定、結果処理
- ・リバースエンジニアリング
  変形状態のCAD化、Assy組み込み

実用化・運用

線形～大変形解析

- ・クリープ～応力緩和解析
- ・動解析
- ・熱・金型設計
- ・衝撃、落下解析
- ・疲労寿命/耐久性予測

品質管理

- ・不良原因解明
- ・原因の可視化
- ・工程改善

知識集約情報発信
標準化はCAEの役割です

寺子屋/CAE解援隊
連絡先　hagi@terakoya2018.com

1991年から同志社大学で坂口教授のもとで研究スタート、今も勉強中

ゴムの二軸伸張試験、承りります。 -ゴムの専門家として解析適用までサポートします。-

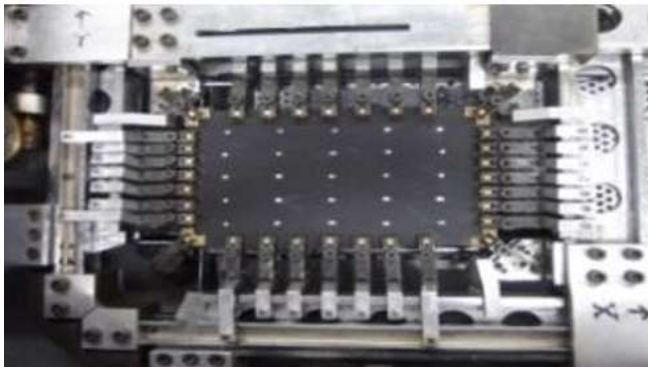
二軸伸張試験実施 ⇒ひずみエネルギー密度関数（Mooney, Ogden等回帰、係数算出。 25万円～複数割あり

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

Ogden定義も可能です。

・エネルギー関数の真実、注意すべき点
・ゴムの解析への適用方法
・線形解析での間違えやすい点、その他サポート

現地（富山）の二軸試験機



サンプル取り付け部

簡易試験機

高さ80cm、重さ30kg

従来の試験機は、横置き型・大型 非常に高価 旧型、富山工業試験場、昭和生まれですがまだまだ現役です。

材料定義をご自身で修得

お問い合わせリンク
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。

富山県産業技術研究開発センター (pref.toyama.jp)

**現在、現役の試験機ですが何分、昭和生まれですので・・
使えるうちに覚えましょう。**

寺子屋/CAE解援隊
URL https://terakoya2018.com
連絡先 hagi@terakoya2018.com
080-2230-8785

セミナーのご案内

無料セミナーはご招待いただき開催も検討

ホームページに無料・有料セミナー順次更新

ゴムの解析基礎・応用

防振ゴム設計・解析基礎
応用

シール設計・解析基礎
応用

ゴムの粘弾性から耐久性

解析・CAD自動化

解析実習
１日でMARC習得

ひずみエネルギー密度関数
サンプル無料プレゼント

第2弾ゴムタイムス社様から発売中
アマゾンからも購入可
第１弾（超弾性部のみ）~~プレゼント~~

問い合わせの方　第１弾（超弾性部のみ）ゴムのFEM解析　まもなく完売
メール：hagi@terakoya2018.com