

解析でできること/サポート可能な内容

- ゴムの関連解析について、導入後の実用化でできること
- I 線形解析でも注意が必要
 - II ゴム、樹脂の基本解析
 - III ゴムの整形に関する解析
 - IV 動的、粘弾性
 - V ゴムの耐久性検討
 - VI 解析技術
 - VII 予測精度と勘違い
 - VIII **スポンジゴム/発泡材料への展開**
 - IX ゴムの解析材料定義からスポンジへの展開
 - IX 効率化、自動化

特性予測精度を向上するには

ひずみエネルギー密度関数

ひずみエネルギー密度関数 様々な表現式

1) Neo-Hookeanモデル

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

2) Mooney-Rivlin

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

3) Mooney高次式

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

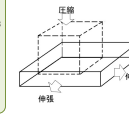
4) Ogden

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

5) Arruda-Boyce

$$W = \frac{3}{8} \ln \left(\frac{I_1}{3} \right) + \frac{1}{200} \left(\frac{I_1^2}{3} - 9 \right) + \frac{11}{10500} \left(\frac{I_1^3}{3} - 27 \right) + \frac{19}{70000} \left(\frac{I_1^4}{3} - 81 \right) + \frac{519}{6737500} \left(\frac{I_1^5}{3} - 243 \right)$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \\ I_2 &= \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_3 \\ I_3 &= \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \end{aligned}$$



適切に定義すると、1)2)の式でもある程度、3)4)5)の高次の式は次ページに示すように解析予測精度が良いと言われる。

1991年から岡山県立大学で坂口教授のもとで研究スタート、今も勉強中

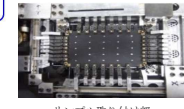
ゴムの二軸伸張試験、承りします。-ゴムの専門家として解析適用までサポートします。-

二軸伸張試験実施 ⇒ ひずみエネルギー密度関数 (Mooney, Ogden等) 係数算出。26万回〜微分あり
 $W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3$
 Ogden定義も可能です。

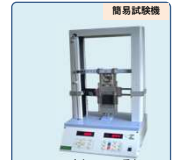
- ・エネルギー関数の真実、注意すべき点
- ・ゴムの解析への適用方法
- ・線形解析での間違えやすい点、その他サポート



現地（富山）の二軸試験機



サンプル取り付け部



高さ80cm、重さ300kg

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

材料定義を自身で修得

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。

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 解説隊

URL www.cae-kaihou.com

093-2320-3781

富山県産業技術開発センター (pref.toyama.jp)

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

3. 発砲製品

各材料の定義式

FORM材定義式

$$W = \sum \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3) + \sum \frac{\beta_i}{\beta_i} (I_1 - 3)^{\beta_i}$$

二軸ではなく単軸で、且つ圧縮での定数も良好ですがポアソン比を調整することがカーブフィットのやりになります。

ソリッドゴムの定義式

1) Mooney高次式

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

2) Ogden

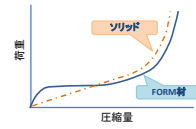
$$W = \sum \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3)$$

様々な用途で用いられるFORM材

いわゆるスポンジゴムは、大きく過泡と微泡として

様々な用途で使用されます。

特性はゴムと大きく異なり、若干の工夫が必要です。



Web (モノタロウ検索画像より)

粘弾性特性の定義

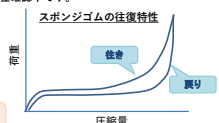
文献や解析などがネット検索すると紹介されています。
 下記文献2つほどPDF版がありますが、ご紹介可能かは、現在確認中です。

190311解析-スポンジ文献.pdf

1126528スポンジ検討検討文献Nさん.pdf

ゴムと特性状態は異なるものの、ゴム同様に往きと戻りの差、つまりヒステリシスが発生します。

(海外の) 文献の中では、**往きと戻りの特性を共に往きの特性として定義している**ようです。



粘弾性Proney係数定義

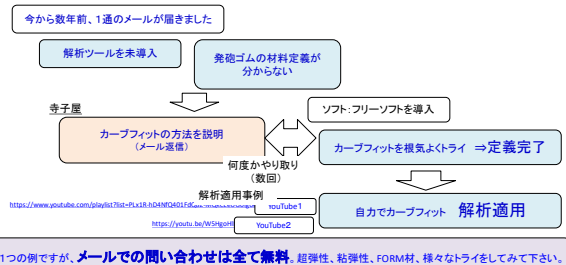
$$\sigma(t) = \sum_{n=1}^N E_n \exp(-t/\tau_n) + E_{\infty}$$

実用的には**Proney係数を定義**すると、
 しっかり**往復の材料定義**が可能です。

問合せ先 hagi@terakoya2018.com

解析や適用事例が少ないため、トラブルもなく順調に定義できています。
往きの特性はソフトのカーブフィット機能で充分でした。しかし、**粘弾性は少し厄介**でした。
 (たまたま非線形CAE協会の粘弾性データがあり、それを調整することでフィットできました。)

実用化事例、不思議な事例

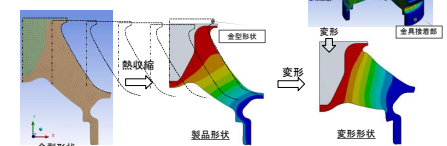


解析でできること/サポート可能な内容

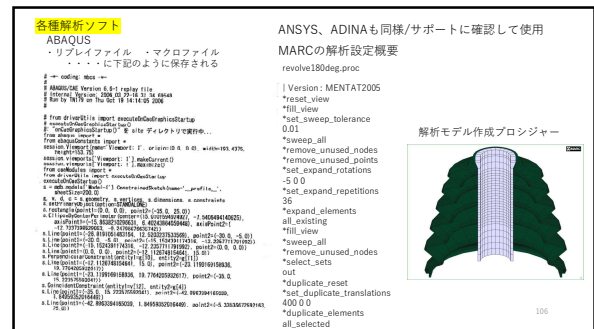
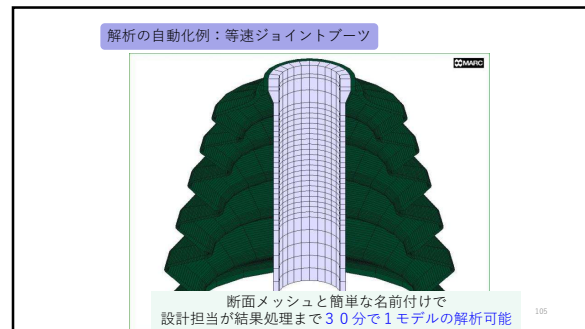
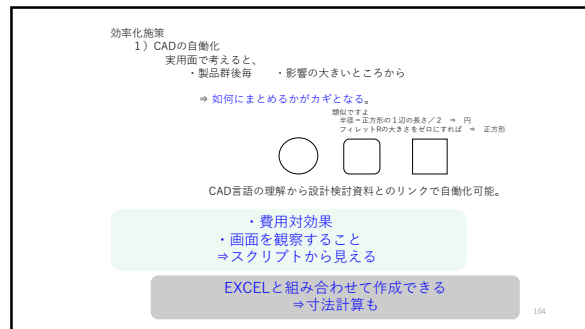
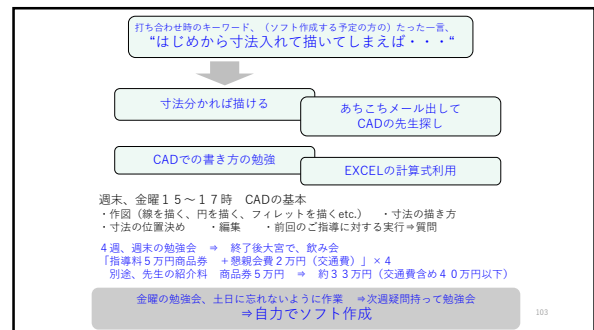
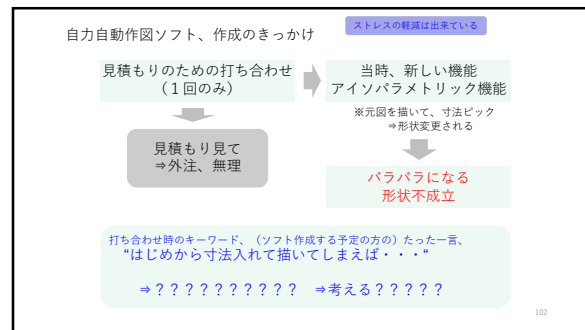
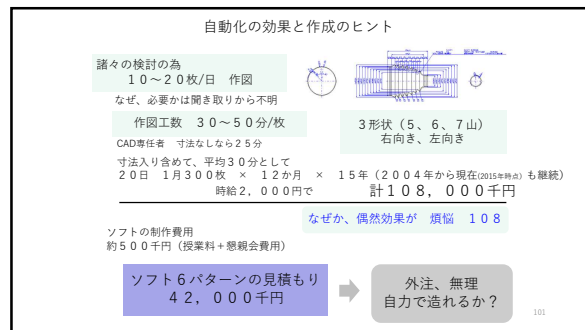
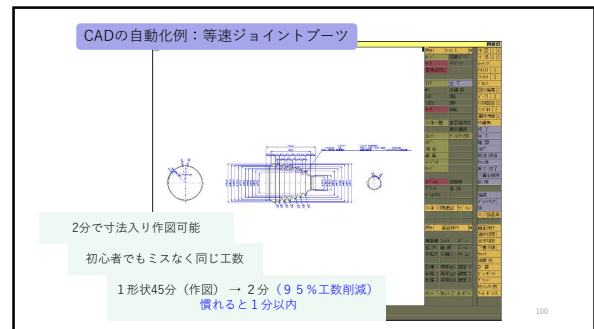
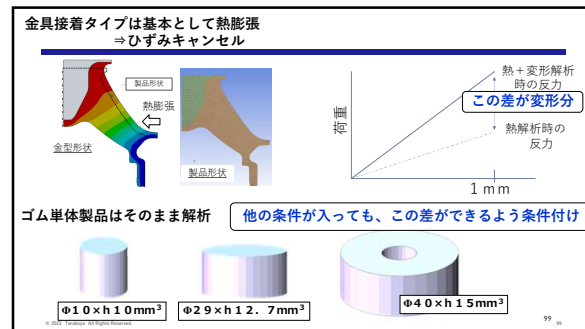
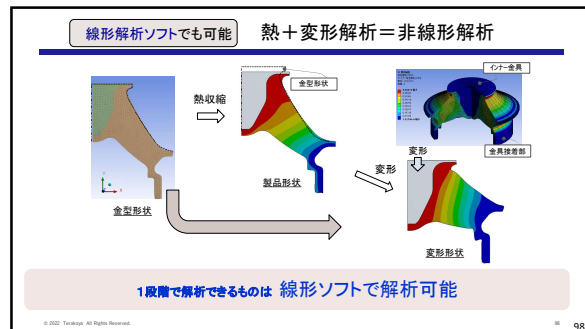
- ゴムの関連解析について、導入後の実用化でできること
- I 線形解析でも注意が必要
 - II ゴム、樹脂の基本解析
 - III ゴムの整形に関する解析
 - IV 動的、粘弾性
 - V ゴムの耐久性検討
 - VI 解析技術
 - VII 予測精度と勘違い
 - VIII **スポンジゴム/発泡材料への展開**
 - IX **効率化、自動化**
- ・線形解析でもゴムのばね設計はできます。
 - ・CAD/FEM/リパースエンジニアリング 各種
 - 自動化の効果 ⇒ 運用費削減

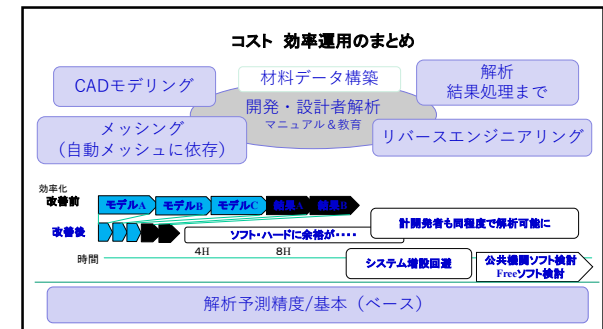
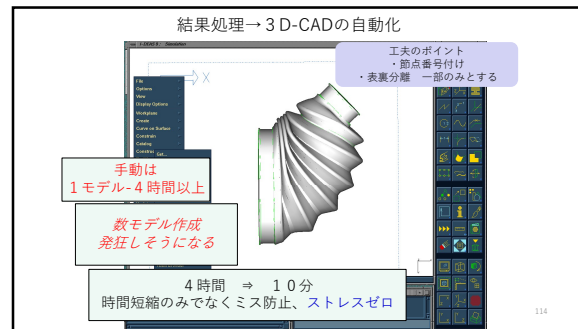
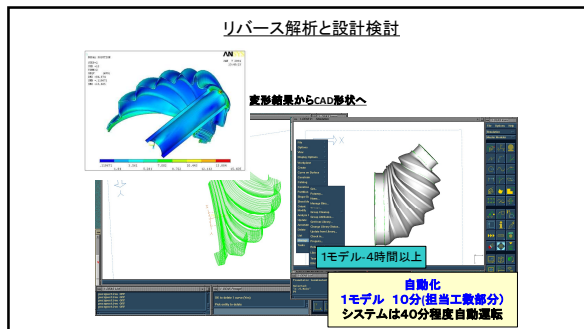
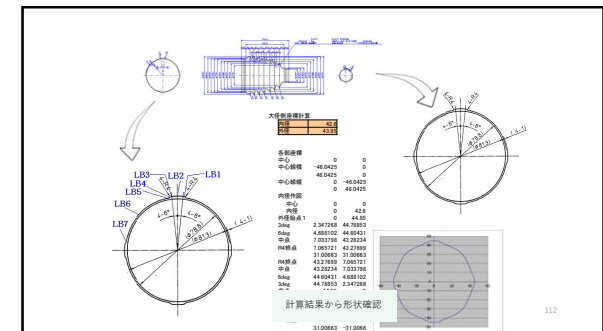
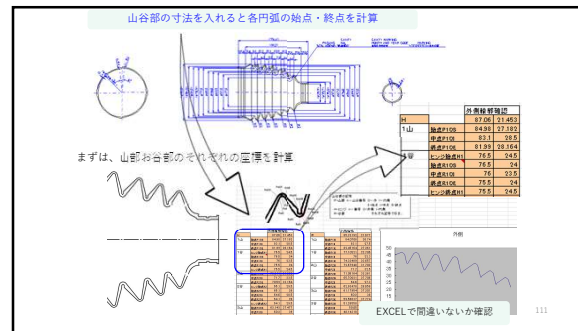
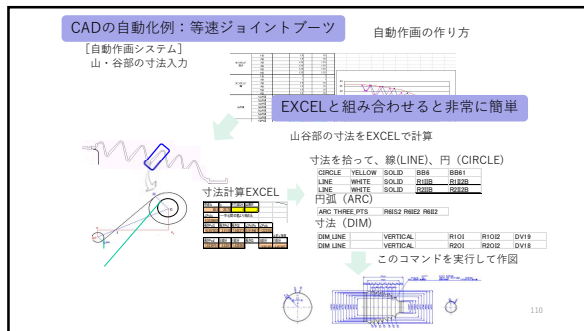
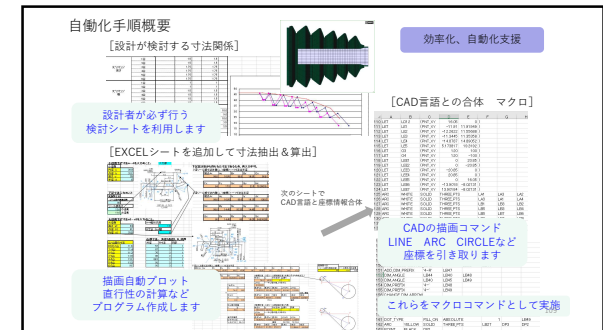
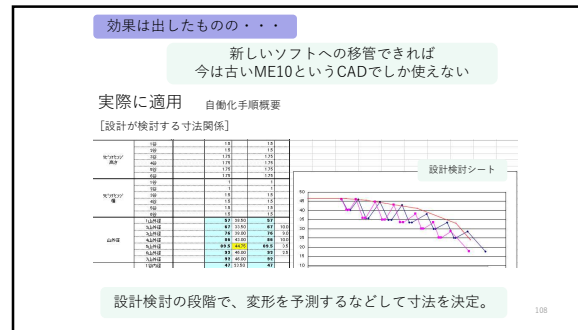
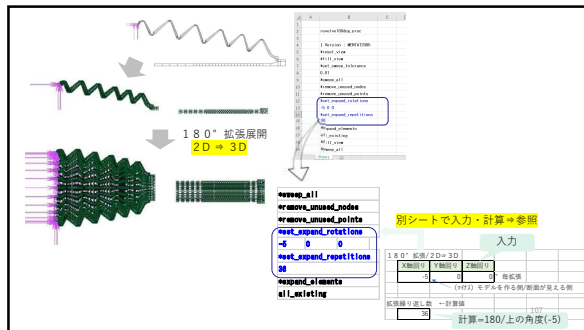
ゴムのFEM解析 基本フロー

ゴム製品は、その**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。
金具形状 ⇒ (熱収縮) 熱収縮 ⇒ 変形解析の手順を守ること。
 解析による**予測精度を倍増**に向上させることができます。





自動化の効果

自動化は工数削減だけではない

①工数削減

90%以上の工数削減可能
ブーツのCAD：自力作成
見積もり42,000千円⇒授業料+親睦会費（約50万円）
⇒システム稼働率軽減、増設の回避

②ミス防止、ストレス軽減

忙しくなると凡ミスも増える
初心者でも同じ品質の作図、解析が可能

③考える時間の捻出

単純作業時間を削減、より深く考える時間の創出

手順書、教育のシステム化から
スキルアップ、裾野知識を広げ開発に役立つ

人間の行動心理・・・失敗は繰り返しやすい¹¹⁶