

線形FEM解析でできるゴム製品非線形特性予測

-線形解析で防振ゴム開発をおこなう-

2022. 10. 17. 寺子屋 萩本

寺子屋/CAE解援隊

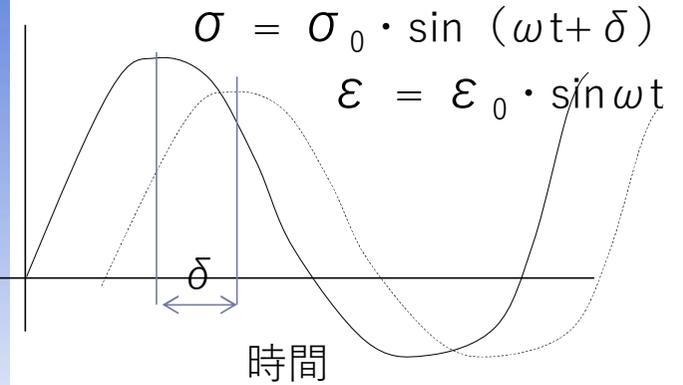
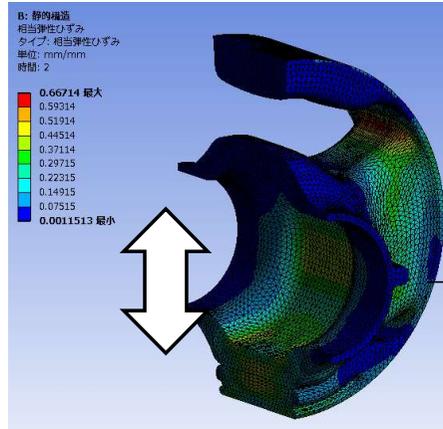
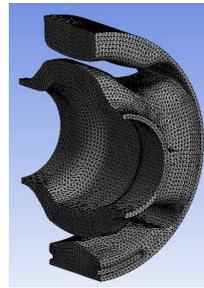
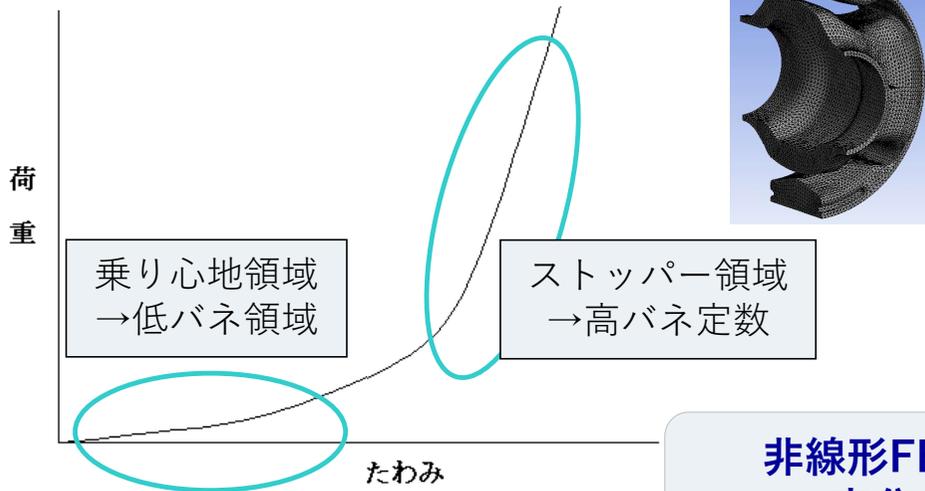
URL <https://terakoya2018.com>

連絡先 hagi@terakoya2018.com
080-2230-8785

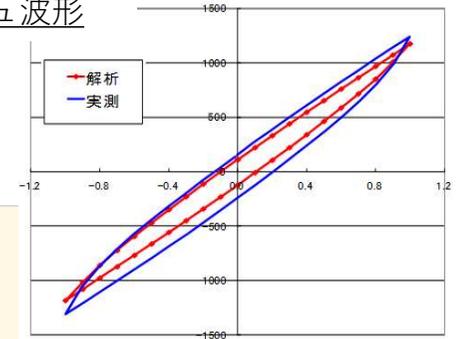


ゴムの解析

防振ゴム特性の特徴



リサージュ波形



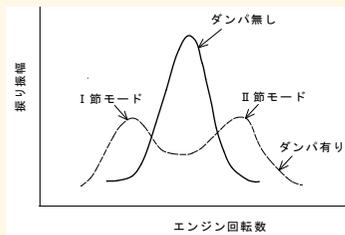
非線形FEM解析で適切な解析を行えば
十分な予測、設計が可能です。

いずれにしても固有値が重要

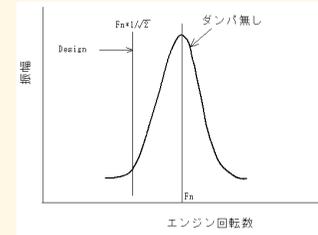
固有値を求めることが重要で、
本来は、静ばねよりも
動ばねを求めることが重要。

静ばねから静動比を乗じて求める。

ラバーダンパー型



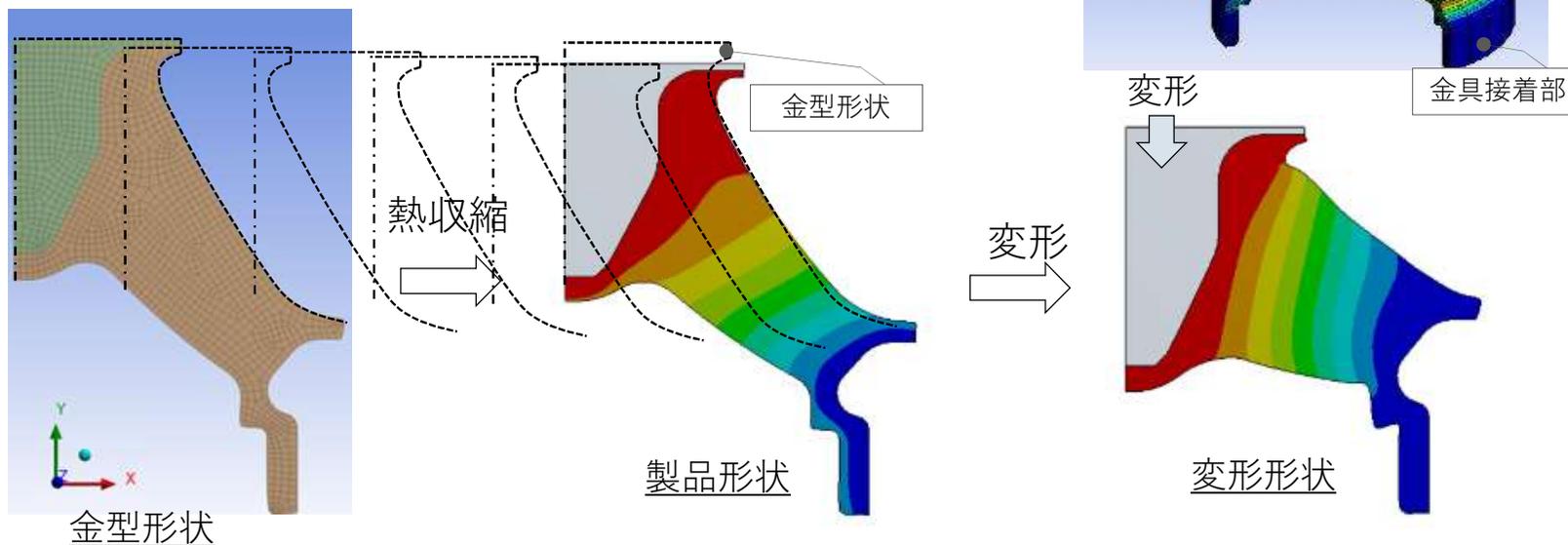
エンジンマウント型



ゴムの F E M 解析 - 静ばね解析基本フロー -

非線形解析であれば適切に、正確に静ばねを求められる。

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、熱収縮解析が必須だと考えます。



線形解析ソフトは、CADと一体で普及が進んでいます。
しかし、非線形、特にゴムの解析ソフトは高価であり導入が難しいものです。

諦めていませんか？

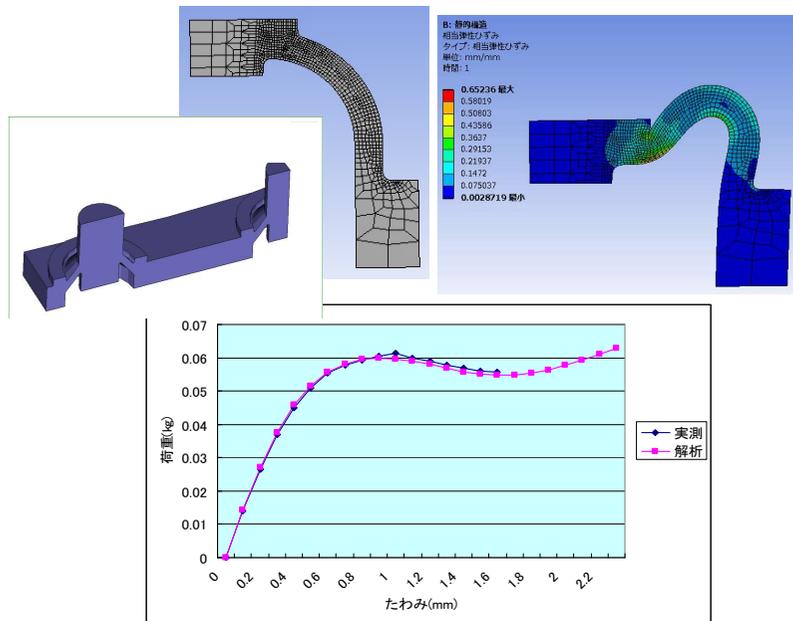
防振ゴム等のばねをFEM解析で予測する方法

方法1：公共機関での解析

MARCに限らず、工業試験場で解析ソフトが使えます。1時間2千円程度と安価です。

MARC解析とすれば、

- ①自動化推進/仕組み作り ②材料データ構築 ③解析の修得 ④結果の見方



メッシュが切れば
ほとんど解析できます。

材料データの準備

事前打ち合わせから
MARC現地解析

- ・マニュアル準備
- ・自動化で次にはそのまま解析 (ひな型でも...)

公共機関で解析覚えませんか

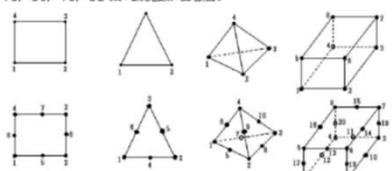
MARC/MENTATマニュアル一部

2 使用要素

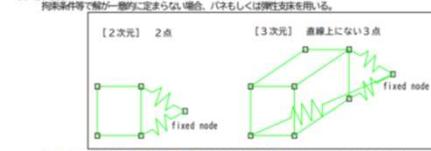
要素番号	要素名	注
10	2D (四角要素)	52
11	2D (三角形要素)	50
12	2D (四角要素)	54
13	2D (四角要素)	54
14	2D (四角要素)	54
15	2D (四角要素)	54
16	2D (四角要素)	54
17	2D (四角要素)	54
18	2D (四角要素)	54
19	2D (四角要素)	54
20	2D (四角要素)	54

- 注: 1) "7"は、必ず指定しなさい。
 2) "12", "13"は、中継要素が指定されない、異性は、この要素と同一ことが確認された。
 3) "14"は、指定しなさい。
 4) "15"は、指定しなさい。
 5) "16"は、指定しなさい。
 6) "17"は、指定しなさい。
 7) "18"は、指定しなさい。
 8) "19"は、指定しなさい。
 9) "20"は、指定しなさい。

2.1 メッシュ作成 (要素作成方法)



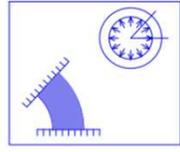
2.2 ばね要素



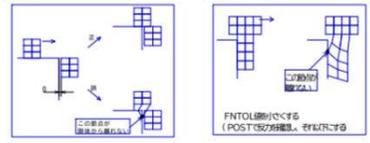
注: 接触要素の場合は、外表面に位置する節点を使用しない。(transformation等の変換のための) また、節点のみでも、節点に作用するものへの使用は避ける。

MARC一部

- (2) 接触要素の注意点
 (a) 縮体要素の適用について
 縮体要素は、一辺の長さが"0"の四角形要素である。
 接触要素でのBody Contactの定義の場合、アウトラインに長さ"0"の辺が存在するとエラーとなる。



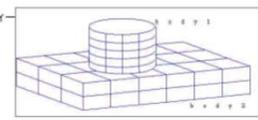
- (b) FNTOL値が大きすぎるとき
 FNTOL値が大きすぎると、剛体と変形体が離れなくなる問題が発生する。



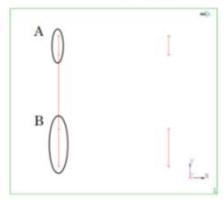
以下に示すように、CONTACT TABLE (変更する)
 1. CONTACT TABLE
 2. (節点)
 3. ボデー番号、ERROR値、FNTOL、μ
 4. 上記ボデー番号と接続するボデーのリスト

- (c) 荷重増分値の与え方
 ・収束しない場合、通り抜け等が発生した場合、"ERROR値×4"変位増分とする。
 (d) 摩擦の相対滑り速度について
 ・これを決定するには、サブルーチンufric.fで、write文により、相対滑り速度を出力する。
 ・その1/2の程度を相対滑り速度とすると良い。
 (e) 接触判定距離(ERROR)
 ・アウトプットの中に、下のような値が示される。これを参照して、ERROR値を決定すれば良いが、未入力で解析はOKである。

 distance below which a node is considered touching a surface is 1.0000E-02

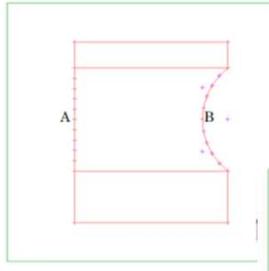
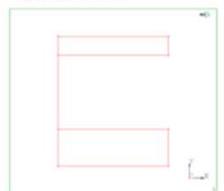


- (f) GLUED OPTION
 2つの不整合メッシュを付けて、1つのボデー(手組で定義)する場合、CONTACT TABLEのGLUEDオプションを用いる。



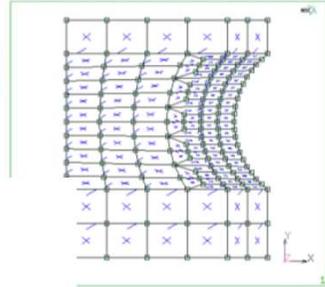
・下図のAとBの線を、それぞれ10分割する。
 M / MG
 → CONVERT
 → DIVISIONS
 → 10 10 キーイン
 → GEOMETRY / GEOMETRY — CURVES TO POLYLINES
 → AとBの線を選択して実行

・前と同様の操作 (CRVS — ADD) で、下図の様に4本の線をつなぐと、外筒と内筒の外形が見えてくる。

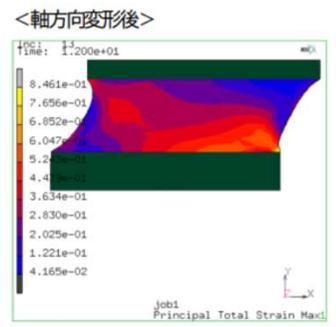
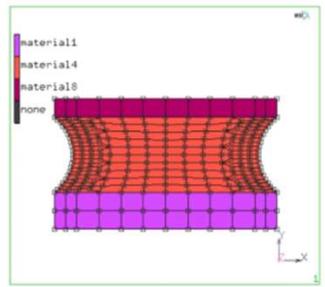


MENTAT自習書一部

- TRANSLATIONS
 → A部は 0 5 0 キーイン (or B部は0 -5 0)
 → REPETITIONS
 → A部は 1 キーイン (or B部は2)
 → ELEMENTS
 → A部の要素を選択 (or B部)



10 10 キーイン
 THERMAL EXP.
 THERMAL EXP. COEF
 0.000175 キーイン
 → OK ×2
 → ELEMENT — ADD
 → オレンジ色部分の要素を選択して実行

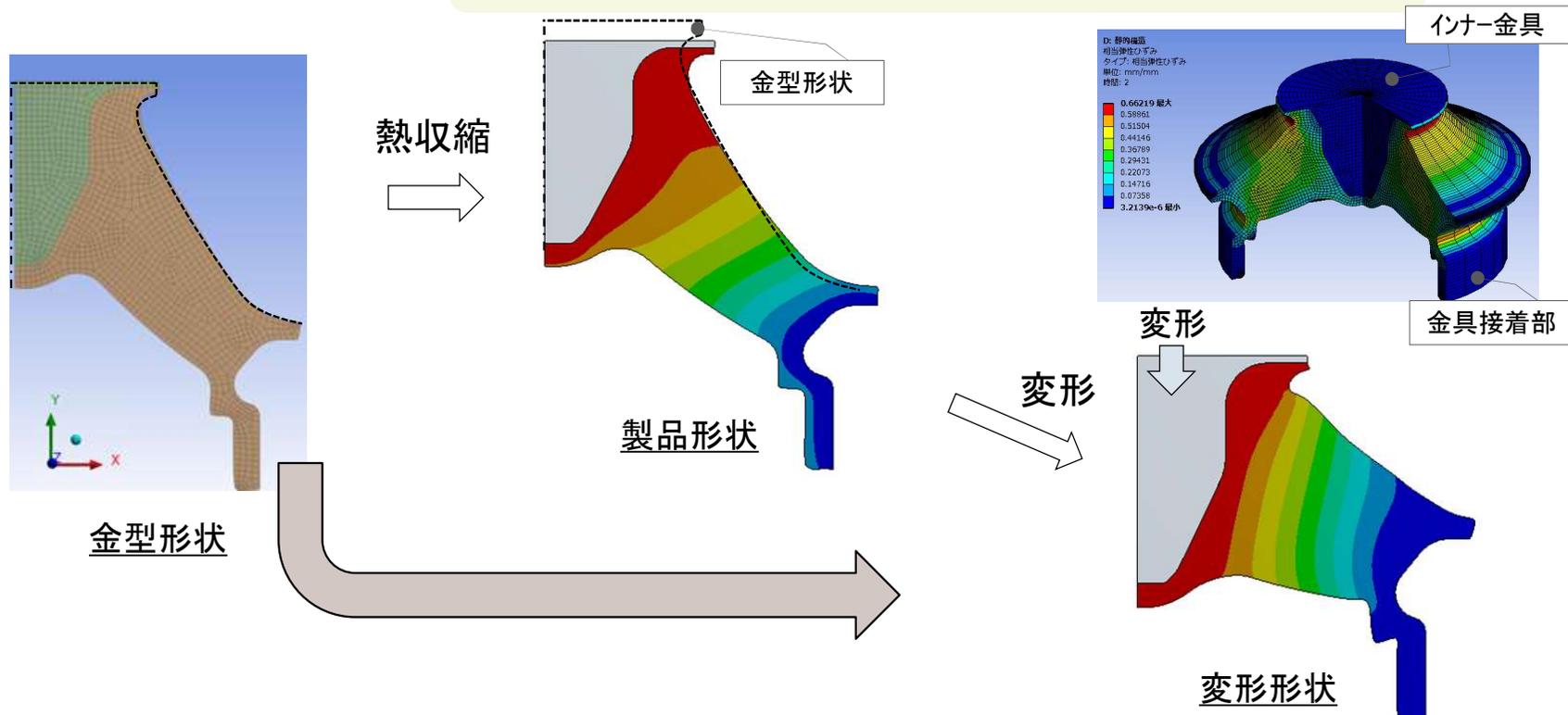


20名程度、1時間程度の実習で修得しています。

防振ゴム等のばねをFEM解析で予測する方法

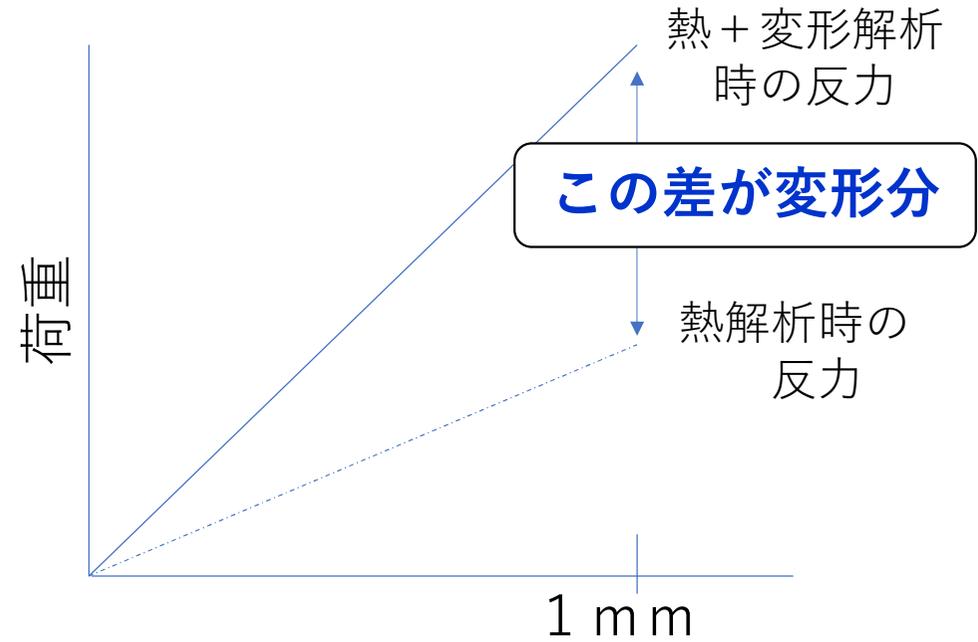
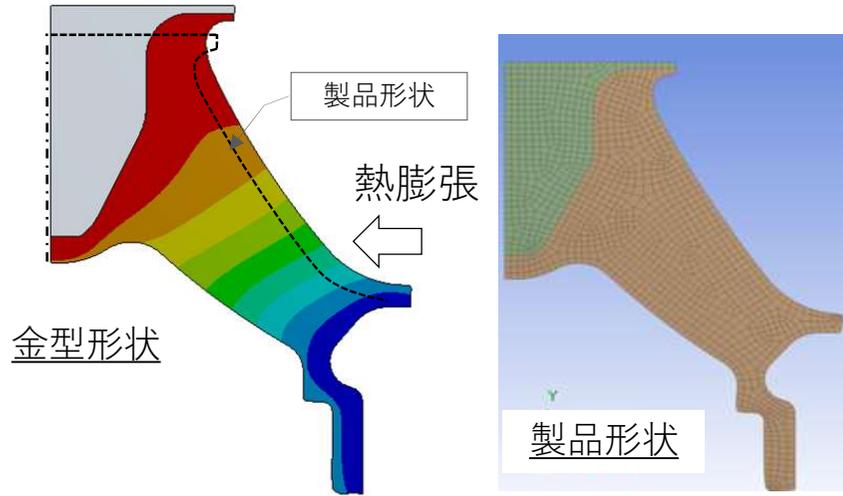
方法2：線形FEM解析の利用

熱+変形解析=非線形解析



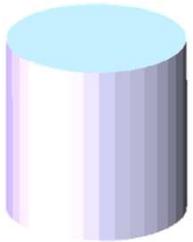
多段階の解析が必要な非線形解析を、**1段階で差分ではねを確認すれば線形で十分。**
また、ゴムの特性のお話し(YouTube)で紹介、大変形も予測可能。(ここでは省略可)

金具接着タイプは基本として熱膨張 ⇒ひずみキャンセル

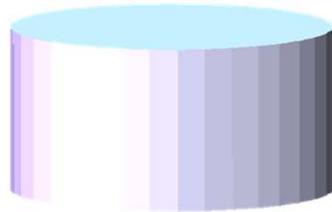


ゴム単体製品はそのまま解析

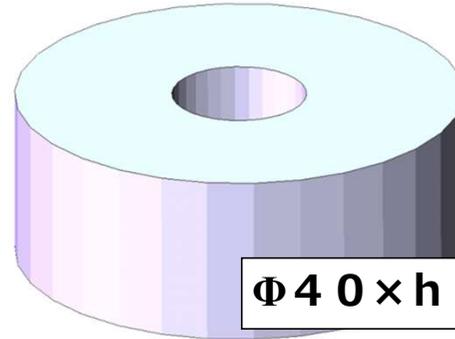
他の条件が入っても、この差ができるよう条件付け



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



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

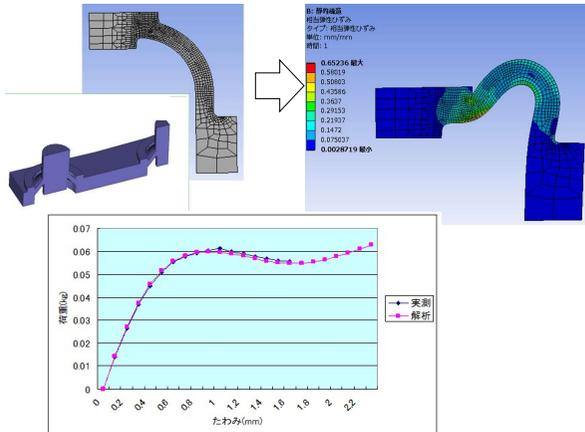


$\Phi 40 \times h 15 \text{ mm}^3$

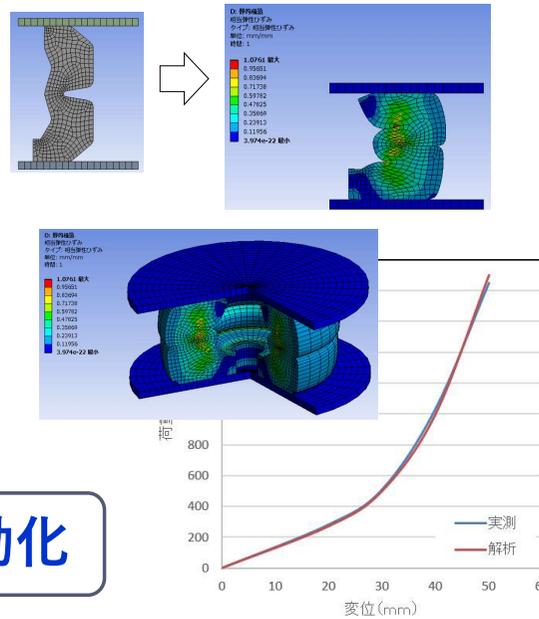
情報

①ゴムのFEM解析基礎

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

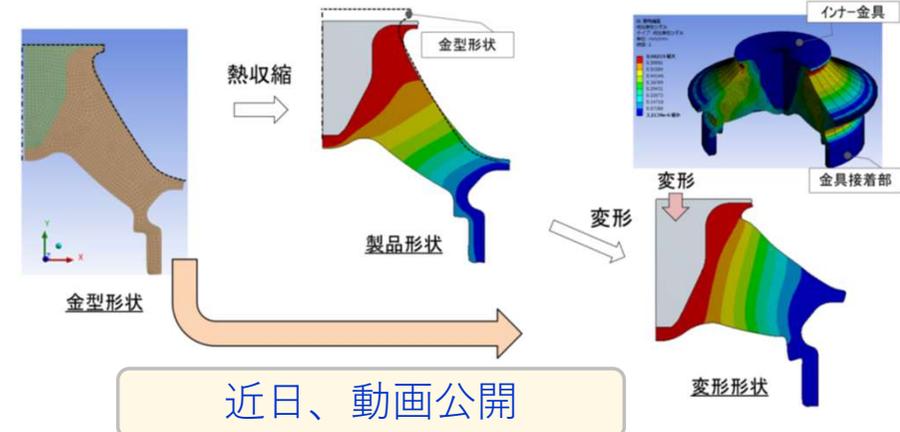


③FEM解析の自動化

お手伝いします、ご相談ください。

②線形FEM解析で防振ゴム設計

線形解析ソフトでの 熱+変形解析=非線形解析



③CADの自動化（自動描画）

④業務の効率化

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

初心者のための
ゴムの有限要素法解析

萩本光広 著

コトカタムス社

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

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

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

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。-

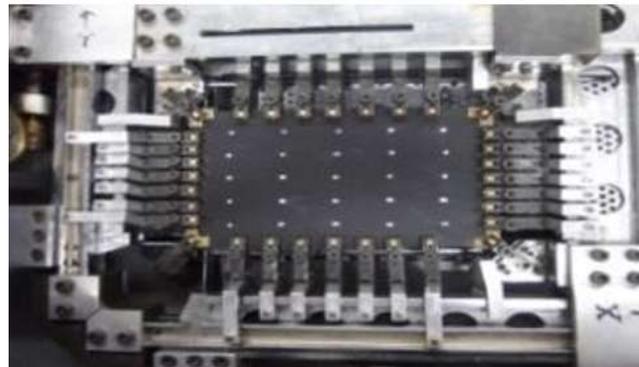
二軸伸張試験実施 ⇒ひずみエネルギー密度関数(Mooney, Ogden等回帰、係数算出。 25万円～複数割あり

$$W=C10(I1-3)+C01(I2-3)+C11(I1-3)(I2-3)+C20(I2-3)^2+C30(I2-3)^3$$

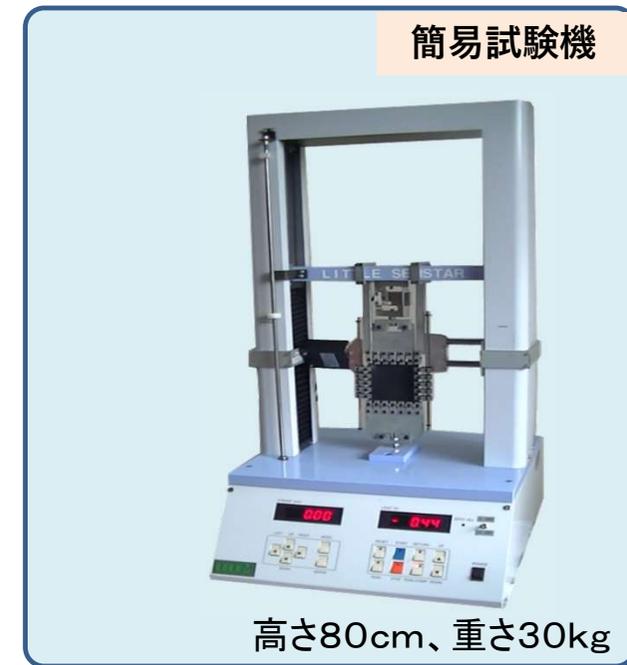
Ogden定義も可能です。



- ・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
- ・線形解析での間違いやすい点、その他サポート



サンプル取り付け部



簡易試験機

高さ80cm、重さ30kg

現地（富山）の二軸試験機

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。

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。

The screenshot shows the homepage of the Toyama Prefecture Industrial Technology Research and Development Center. At the top, there is a Google search bar and navigation links for 'HOME', '技術支援 Program', 'センター概要 About', 'お知らせ News', '主要設備 Facility', '刊行物 Publication', '研究開発 Development', and '産業財産権 Industrial property rights'. Below the navigation bar, there are breadcrumb trails: 'ホーム > 概要 > 組織・研究職員 > 生活工学研究所' and '概要・沿革 組織・研究職員 交通案内'. The main heading is '生活工学研究所'. To the left of a building image, there is text describing the center's focus on research and development for products related to '衣' (clothing), '住' (living), and '遊' (leisure). To the right is a photograph of a modern, two-story industrial building with a blue facade and a large parking lot. At the bottom, contact information is provided: 〒939-1503 富山県南砺市岩武新35-1 TEL:0763-22-2141 FAX:0763-22-4604.

寺子屋/CAE解援隊

URL <https://terakoya2018.com>

連絡先 hagi@terakoya2018.com

080-2230-8785

富山県産業技術研究開発センター (pref.toyama.jp)

解析に使用する材料データの定義方法

寺子屋 サポート費用の考え方

材料定義から予測精度の向上

材料定義

- ・ 富山での修得、自力定義 20万円～
※自力で定義することにより追加材料費用は試験機使用料のみ。
- ・ 委託定義 2材料程度 35万円～
粘弾性、スポンジなどは別途追加費用

解析の見直し

- ・ ゴムの解析基本修得
- ・ 条件見直し
- ・ 誤差原因の確認
- ・ 収束性向上

結果の見方

- ・ ゴムの結果の見方
- ・ 誤解の排除、ソフトの癖etc.
合っているのに合っていないと勘違い

1案件 ～90万円

※お客様が実施分、費用圧縮させていただきます。

※※スポンジゴムの解析をメールのやり取りのみで実用化したお客様も。

効率化・実用化

効率化・自動化

適用

動的・固有値

緩和・クリープ

熱・型設計

疲労・老化

材料再定義など

リバースエンジニアリング

設計・開発者への展開

結果のみでなくノウハウまで提供 ～200万円

●メールでの対応はどんなことでも無償対応です。●web会議招待いただければお困りごとに対応します。

ゴムのFEM解析を中心としたお手伝い

解析用材料定義から予測精度の向上

セミナー開催・お役立ち情報の発信

ゴムの疲労寿命・
耐久性予測

CAD、FEM解析の効率化・自動化

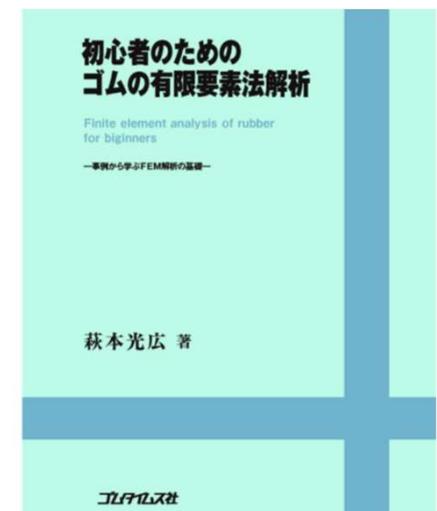
ご不明な点があれば何なりとお問合せください。

メールでの対応はどこまでも無料です。

寺子屋 検索：ゴムのFEM解析 寺子屋

<https://terakoya2018.com/>

MAIL : hagi@terakoya2018.com



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) 販売完了

代表の個人的な **実績**

二軸伸張試験からFEM解析予測精度の向上

1991年から同志社大学坂口一彦教授のもと
ひずみエネルギー密度関数研究をスタート(社会人4年目)

・ゴム材料定義 ノウハウ含めて2000年MSCソフトウェアで発表
最優秀事例発表賞を受賞 社内でも評価上がる

・解析条件の定義方法及び材料定義確立から、2005年会社を移り
ゴム製品製造の会社、2社で解析予測精度の向上
自動化による解析工数の80%カットを行い2016年起業

[主な事業内容]

線形から非線形解析全般

・解析初心者のご指導

・セミナー開催、育成サポート

・CAD自動化、効率化のお手伝い

・ゴムの二軸伸張試験からのエネルギー関数定義、動的、熱、疲労寿命まで

全てノウハウからご提供します。社内技術構築にもお役立てください。

寺子屋/CAE解援隊

連絡先 hagi@terakoya2018.com

講師の履歴書 youtubekワード ゴムの解析 寺子屋 自己紹介

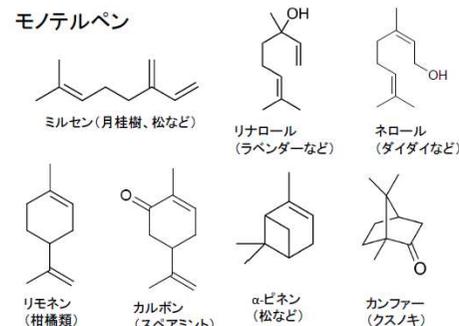


進学校の予定が
推薦入学で
オリンピックめざし
インターハイまで

中学 ⇒ 高校

大学

物理が苦手な化学専攻
香水の合成



快い香りのものが多い

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

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