

ゴムの本当の剛性とは 解析予測精度が向上しない最大の原因

2023.12.10 寺子屋 萩本

寺子屋/CAE解援隊

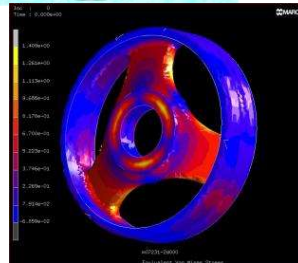
連絡先 hagi@terakoya2018.com



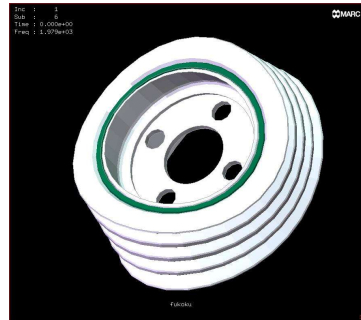
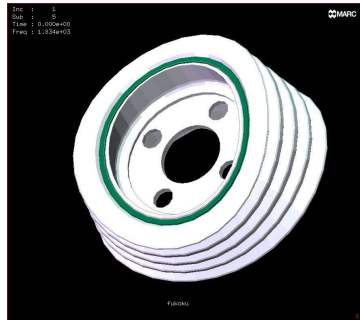
ゴム材料の定義の前に -金属の解析用材料定義は簡単-

自動車用エンジン防振製品

プーリーダンパー形状



ハブの応力解析



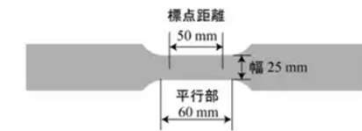
プーリーダンパーの固有値解析

伸張試験機



島津製作所様HPより

<https://www.an.shimadzu.co.jp/industries/engineering-materials/metal/metal-stress/index.html>



幅25 mm、厚さ1 mm、標点距離50 mm、平行部長さ60

試験片から正確に測定可能

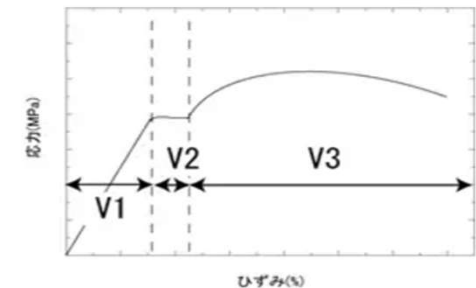


Fig.1 制御速度イメージ

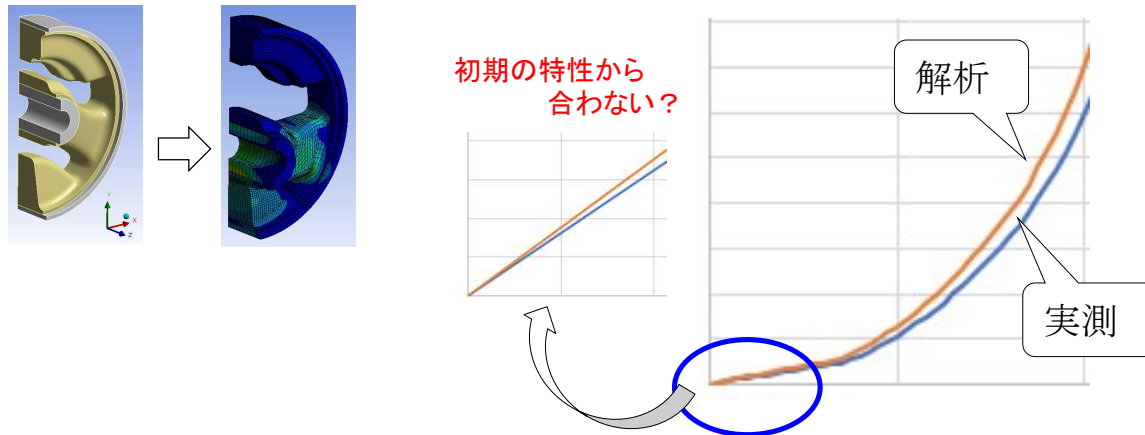
材質が明確になれば材質ごとの剛性、密度等のデータが入手可能。

金属は線形材として、また、降伏点含めて測定が簡単。
材料データベースも日本ベルパーツ様などのデータで正確に定義可能。

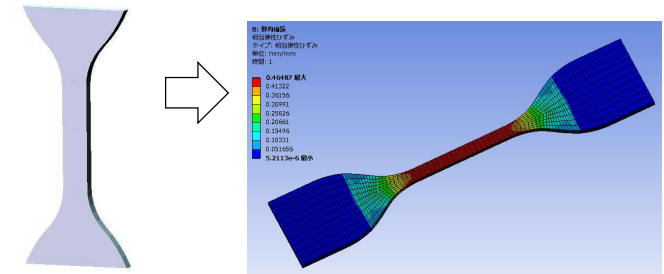
こんな経験ないでしょうか

ネオフック $W = C_{10}(I_1 - 3)$ での解析で、初期特性から合わない経験ありませんか？

丁寧に材料試験を実施して、ネオフックなら大丈夫と思ったのに・・・。



ダンベル、若しくは圧縮試験から



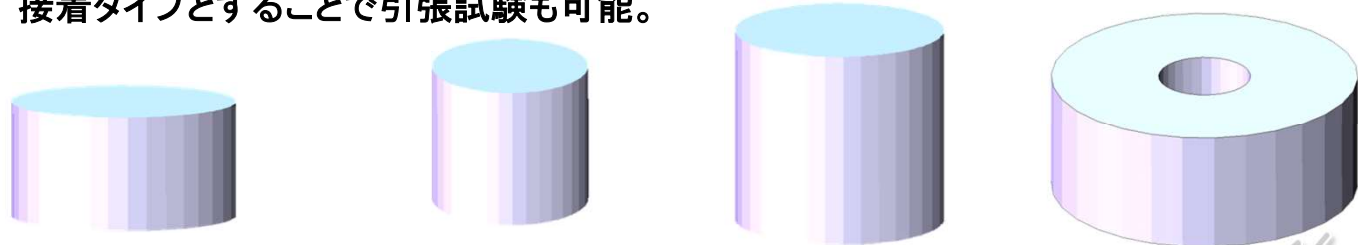
関係式 **ヤング率 $E = \sigma / \epsilon$** より E を求めた。

- ・工学ひずみ ϵ = 変位 / チャック間距離
- ・工学応力 σ = 荷重 / 断面積

その他、ディスクの圧縮(引張)も

右のようなゴムディスクでも
同様のことが発生します。

接着タイプとすることで引張試験も可能。

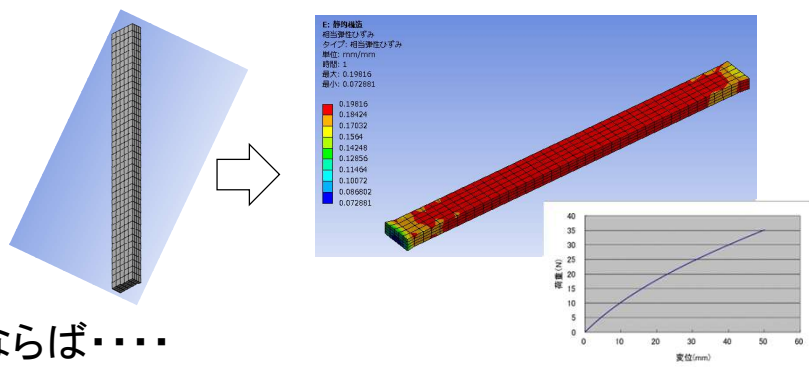


単純なネオフック、ヤング率でも注意しないと合わないこともあります。

ヤング率 $E=\sigma/\varepsilon$ がどんな形状でも成り立つとは限りません。

日本車両様 発行の防振ゴム(書籍)に記載され、明確に証明できます。
詳細は省略、形状率Sが原因です。

本当のヤング率は短冊で



短冊ならば……

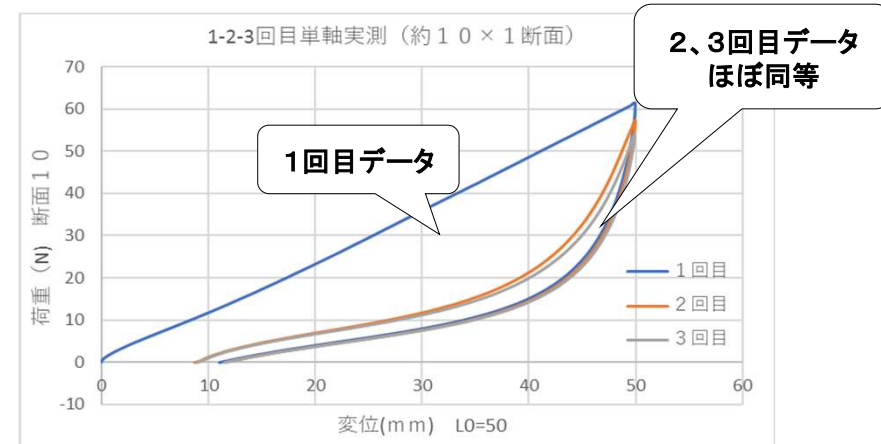
また、非線形特性なので10%伸張で計算します。

※諸々の理由から10%が最適。(詳細略、別資料or問い合わせ下さい)

また、ゴムの特性を理解することが必用です。

JISの解釈は注意が必要

JISでゴムの試験方法にいろいろと記載があります。
残念ながら解析用に定義されていません。

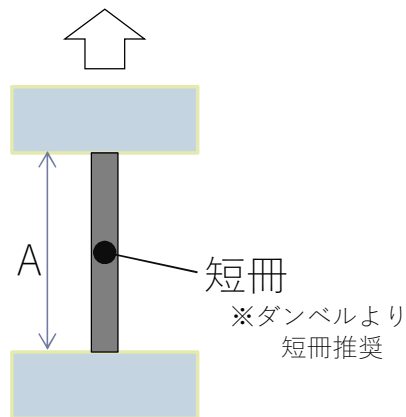


1回目と2, 3回目の特性は大きく異なります。

製品に合った特性を採ることが重要(シールは組付けの1回目、防振は繰り返しの為3回目、3回目以降は同特性)

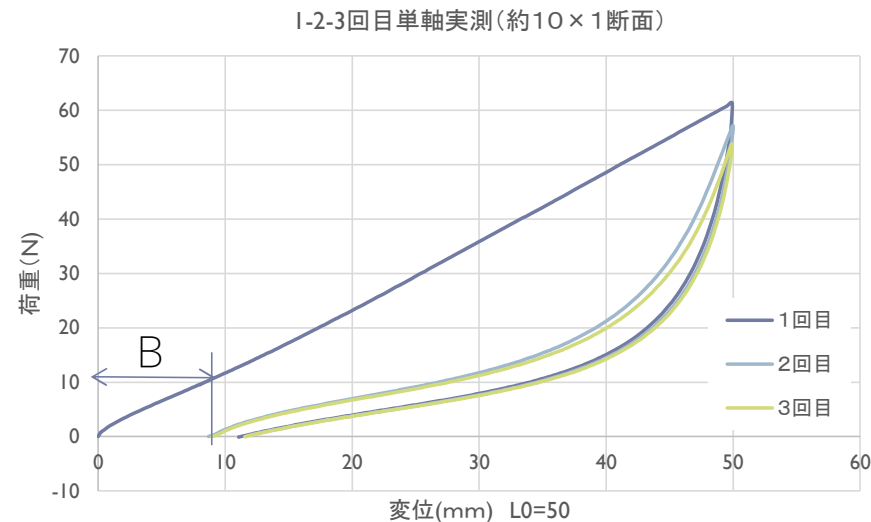
ゴム材料の基本知識

単軸試験/重要ポイント



材料定義のポイント

- 1 回目は、まずそのまま工学ひずみと工学応力で10%伸張でヤング率を定義。(C10=ヤング率E/6)
⇒そのまま組み付けるシールのような製品は1回目を使用。
- 3 回目 ゼロ点まで戻らないのでへたり (B)を考慮して計算する。
ひずみをへたりを考慮して、 $\text{ひずみ } \varepsilon = \text{変位} / (\text{セット長} A + \text{へたり} B)$ としてヤング率算出。
⇒防振製品は繰り返し使用することとスペックが3回目で定義されるなど3回目特性とする。

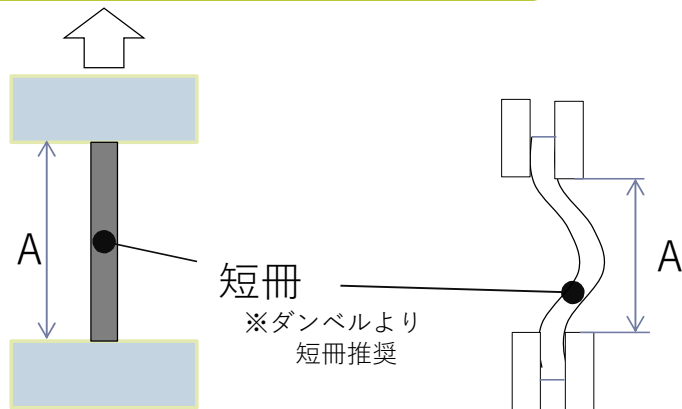


二軸も同様にこのへたりを考慮、補正する必要がある。

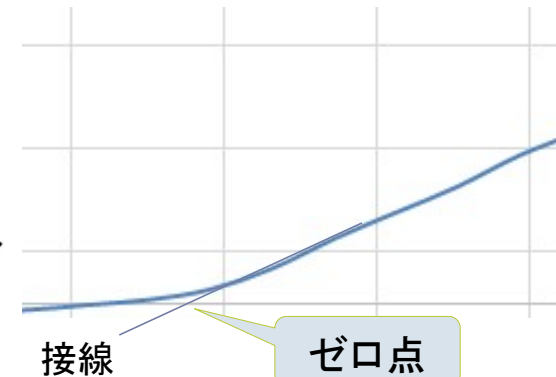
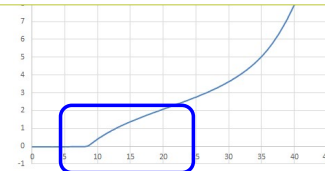
ゴム材料の基本知識

単軸試験/重要ポイント

実際の測定では



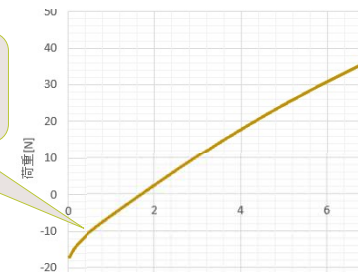
ダラダラと荷重が上がってくる。



ゴムの特性から接線を引いてゼロ点を補正する。

反対に圧縮の力を検出

へたりから
負の反力検出

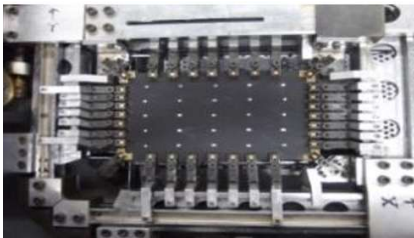


このとき、ゼロ点を探すべくセット長Aを移動してはいけない。

このへたりを考慮、補正する必要がある（二軸も同様）。

二軸試験と粘弾性への工夫

二軸試験での調整



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

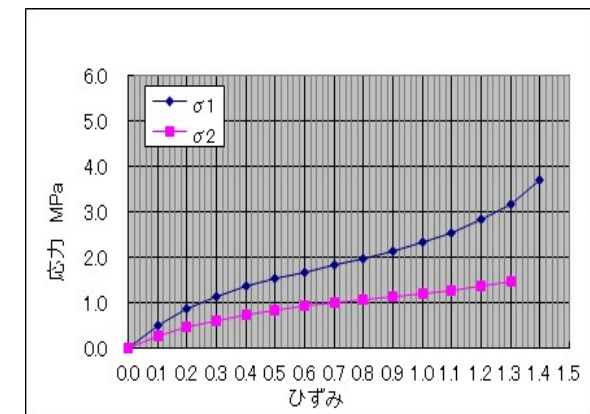
ヤング率との関係

ヤング率 $E = 6 (C_{10} + C_{01})$

へたりの補正が難しい二軸試験は、
単軸で求めたEから係数調整する必要がある。

正確には、 $E = 6 (\partial W / \partial I_1 + \partial W / \partial I_2)$
であり、 $\partial W / \partial I_1 = C_{10} + C_{11}(I_2 - 3) + \dots$
 $\partial W / \partial I_2 = C_{01} + C_{11}(I_1 - 3)$ $I_1, I_2 \Rightarrow 0$ 近傍から

当然Ogdenも関係式が



粘弾性での剛性調整

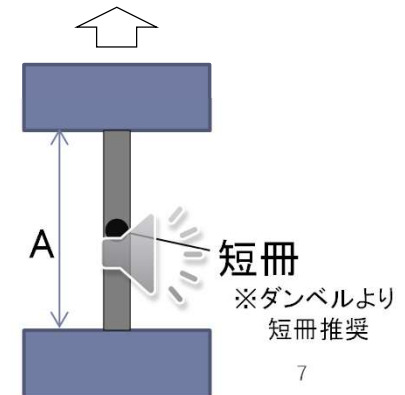
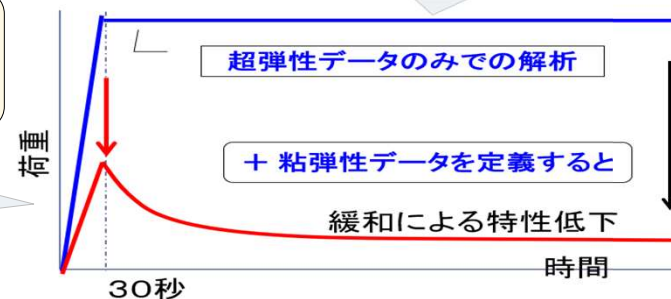
◎粘弾性解析の真実-誤解231027.ppt(材料定義)
でも紹介。

ひずみエネルギー密度関数導出に伴う四隅の荷重の扱い231211
Youtube及びPPT資料で四隅の荷重の扱いについて紹介しています。

超弾性定義 + 粘弾性定義 $\Rightarrow$ 調整入れて初めて正解 (👉)

両方のデータが必要ですが、定義にはコツが必要です。
残念ながら足し算のみでは使えません。

実測ではなく
解析同士の比較



解析予測が実測とあ合わない3つの大きな原因

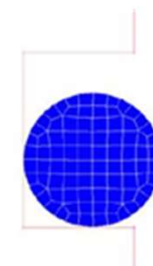
1. 正確な正しいヤング率定義 (ヤング率/6 = C10 ネオフック)

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。

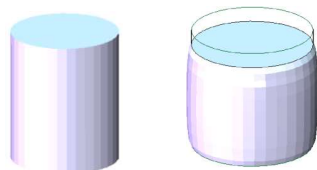
寸法	公差・1 級	2 級	3 級[単位 : mm]
3 mm 以下	± 0. 2	± 0. 3	± 0. 4
3 ～ 6 mm	± 0. 2	± 0. 4	± 0. 5

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

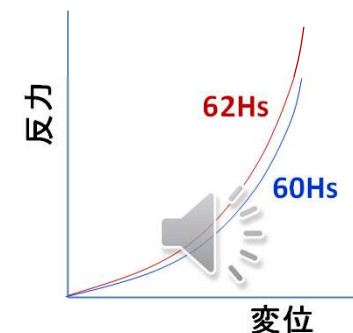


ディスク変形

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。

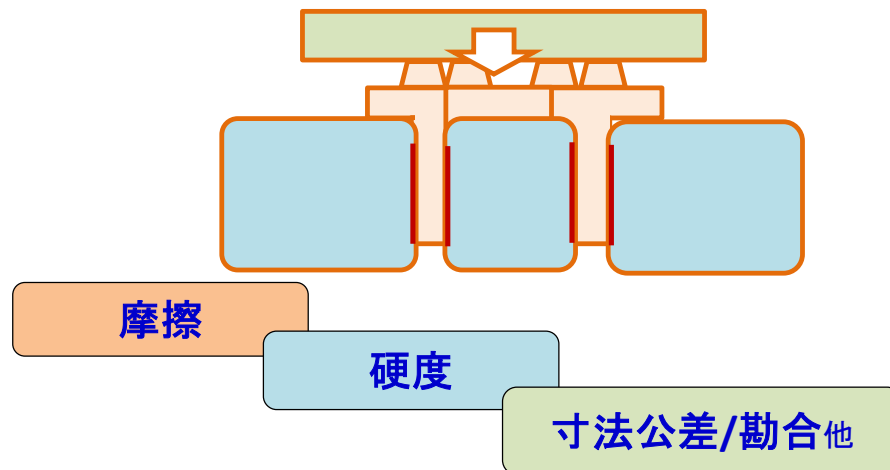
ゴムは寸法公差、硬度(中心±3Hsなど)差が大きい。
解析が合っていないと考えることも多い。⇒**実際は合っている。**



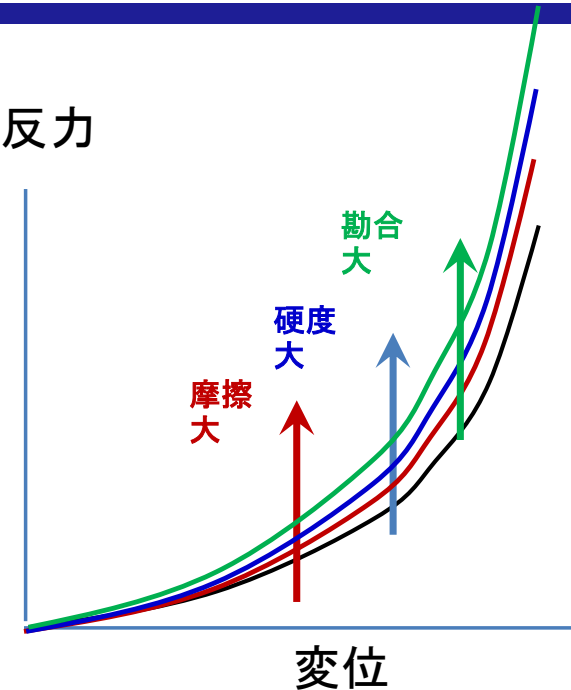
正しくヤング率を定義して、

ヤング率、ひずみエネルギー密度関数を正しく定義して

例えば、圧縮時の荷重



反力



寺子屋

<https://terakoya2018.com/>

TEL : 080-2230-8785

MAIL : hagi@terakoya2018.com

ゴムの様々なばらつきから安定品質の難しさ

M A R C解析を公共機関で修得しませんか

だれでもできる解析・C A Dの自動化/効率化
これとの組み合わせで1日で修得可能です。

20名程度、
1時間程度の実習で修得しています。

問合せはこちらから
<https://terakoya2018.com/question>

寺子屋/CAE解援隊

連絡先 hagi@terakoya2018.com



1 日でFEM/MARC-ゴム製品の解析を修得 –タイムスケジュール

週末を利用して、神戸・秋田でMARCを1日で修得しませんか。講習後は、バックアップ万全です。

開発・設計業務にゴムのCAEを効果的に活用するため基礎理論とFEM解析技術を展開

理論、実習面

1. 解析の基礎 理論及び実習

- 1) メッシュの作成からモデル化：平面ひずみ、平面応力、軸対称要素の説明と解析
- 2) メッシングの基本実践と理論：ご要望により調整、解析モデル持ち込み可
メッシュ作成の基本から解析まで簡単なモデル、若しくはお持ち込みモデルでの解析
- 3) 解析結果の見方：ひずみ、応力、荷重たわみ特性、面圧、その他
ゴムの基本として応力評価してはいけない/理論説明含めて

2. 解析応用 2D～3次元への展開

- 1) モデリング手法/拡張
- 2) 解析条件設定
- 3) 結果の見方と結果を簡単に出力する仕組み
- 2) 解析の自動化～CAD自動化への展開
- 3) 熱膨張及び収縮解析

ここまでAM/実習中心・理論は補助

3. 解析の便利機能

- 1) スムージング解析（回転体など）
- 2) ズーミング解析：局部の詳細解析への展開
- 3) 線形解析でも陥りやすいポイント、改善方法

※理論：ゴムのFE解析[書籍]プレゼント、詳細の説明あり。また、オペレーションのみではなく、
順次、解析の基礎及び注意すべきポイント、ゴムの解析用材料データの構築について説明。



導入検討・即開発適用、25万円+税ですぐに2次元（平面、軸対称）から3次元展開まで使えるようになります。

材料定義をご自身で修得

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解援隊

URL <https://terakoya2018.com>

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

お問い合わせリンク

<https://terakoya2018.com/question>

富山県
産業技術研究開発センター

Google 検索
○ WWW を検索 ● センター内を検索

リンク お問い合わせ

HOME 技術支援 センター概要 お知らせ 主要設備 刊行物 研究開発 産業財産権
Program About News Facility Publication Development Industrial property rights

ホーム > 概要 > 組織・研究職員 > 生活工学研究所

概要・沿革 組織・研究職員 交通案内

生活工学研究所

「衣」、「住」、「遊」といった人間生活に係る産業製品の開発や生産を支援するための研究指導を行っています。特に、感覚、生理あるいは動作等人間特性の計測評価をとおして人間適合型の生活関連製品の開発、生産を促進するための研究に重点を置いています。

〒939-1503 富山県南砺市岩武新35-1 TEL:0763-22-2141 FAX:0763-22-4604

富山県産業技術研究開発センター (pref.toyama.jp)

- プログラム（案） -

1. ゴムの測定からデータのまとめ方、注意点（最重要）と概要 10:00～10:20

1-1. 短冊、ダンベルでの単軸伸張試験の注意点

実習で行う単軸試験でのセット時のへたり補正方法について説明し、単軸試験でのゴムの挙動を確認します。

1-2. 見かけ上のヤング率について

サンプルの選定、測定方法で本当の剛性が求められないことがあります。

速度依存性を気にする方もいますが、そこはほとんど影響ありません。明確に説明します。

※お問い合わせいただければ資料で説明します。

※ゴム製造メーカーへの上手な問い合わせ方法を提案します。

1-3. 二軸理論と実習前の試験機の操作概要と注意点

ネオフックからムーニー高次関数、またオグデンでの定式化を説明します。

1-4. 試験時にやってはいけない注意点のみ説明します。

2. 単軸試験実習及び二軸試験実習

10:25～14:50

昼食休憩 (12:00～13:00)

4. 単軸及び二軸試験のまとめ

15:00～16:00

EXCELひな形を使って、回帰からエネルギー関数を定義します。

その際に、二軸試験機の制約から正確なヤング率が取れていないので、補正を行います。



費用：1名20万円、1名追加＋5万円/税別 お弁当をご用意します。

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他自動化
(議事録、EXCEL作業も)

解析実習
1日でMARC習得

ひずみエネルギー密度関数
富山での1日実習

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

寺子屋

<https://terakoya2018.com/>

TEL : 080-2230-8785

MAIL : hagi@terakoya2018.com

初心者のための
ゴムの有限要素法解析

rubber

萩本光広 著

ゴムタイムス社

