

線形からゴムの大変形解析のお手伝い

解析の基本/線形解析でも

気づいていないかもしれませんが...

樹脂・ゴムの大変形解析

動的粘弾性

緩和・クリープ

サポート

二軸試験等できなくても
製品から定義可能

線形解析ソフトでも
ゴムの解析はできます

解析ソフト紹介
無料～

材料データが分からない

測定手段がない

測定、定義方法

サンプルデータ
提供

解析手段がない

I 解析用無料サンプルデータ提供

豊富なデータベースから一般的配合のひずみエネルギー密度関数を提供します。
お試用、数種類でsたらむ無料で提供します。

せん断弾性率、その3倍のヤング率から
推定データを提供します。
その際の**本来の使い方、熱考慮の方法**も
資料提供します。

Mooney以外、Ogden材の提供も可能です。 残念ながら
測定データが同じであればどの式でも精度は同じです。

金具接着タイプの製品は、熱収縮解析が必用です。
より予測精度が上がります。

線熱膨張係数

ゴムは成型時、金型内で160～180℃で金具と接着して、型から取り出し
室温（製品）になるときに冷却、その時に金具に比べてゴムの収縮が大きい
ためひずみの偏りが発生します。

金属の線熱膨張係数 1.5e-5/deg程度、

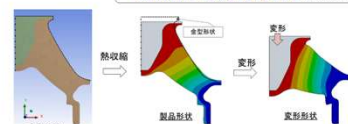
天然ゴム 40Hs相当: 1.97e-4/deg 80Hs相当: 1.73e-4/deg 程度

表1 天然ゴムNR材のせん断弾性率とMooney係数の関係

Gs	C10	C01	C11	C20	C30
0.686	3.36059E-01	4.52803E-02	#####	#####	#####
0.735	3.55768E-01	4.54418E-02	#####	#####	#####
0.784	3.75505E-01	4.58591E-02	#####	#####	#####
1.029	4.74634E-01	5.17789E-02	#####	#####	#####
1.078	4.94549E-01	5.37285E-02	#####	#####	#####
1.372	6.14693E-01	7.07735E-02	#####	#####	#####
1.421	6.34828E-01	7.45042E-02	#####	#####	#####
1.715	7.56318E-01	1.02215E-01	#####	#####	#####
1.764	7.76683E-01	1.07719E-01	#####	#####	#####
2.107	9.20194E-01	1.53324E-01	#####	#####	#####

金具接着タイプの製品、解析フロー

15ページ説
明



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 → (熱履歴) 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格段に向上させることができます。

ひずみエネルギー密度関数のヒント -二軸試験ができない場合-

どうしても二軸試験ができない、□75mmサンプルが入手できない場合

手掛かりのない方へのお試し用サンプルの提供

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

Ogden式: $W = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3)$

せん断弾性率	C10	C01	C11	C20	C30
9.500	4.27702E+00	6.56858E-01	-1.39251E-01	-2.14736E-02	1.15420E+00

N/mm²

①天然ゴム (NR) [35-80Hs]

②スチレングム (SBR) [35-80Hs]

③ニトリルゴム (NBR) [35-80Hs]

④クロロプレンゴム (CR) [48-75Hs]

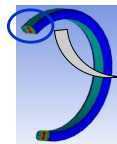
⑤エチレン・プロピレンゴム [50-80Hs]

⑥フッ素ゴム [55-80Hs]

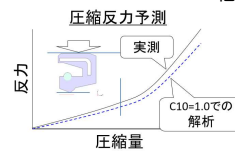
⑦シリコン [35-60Hs]

他の硬度もご相談ください。

製品しかない場合



製品試験と解析から



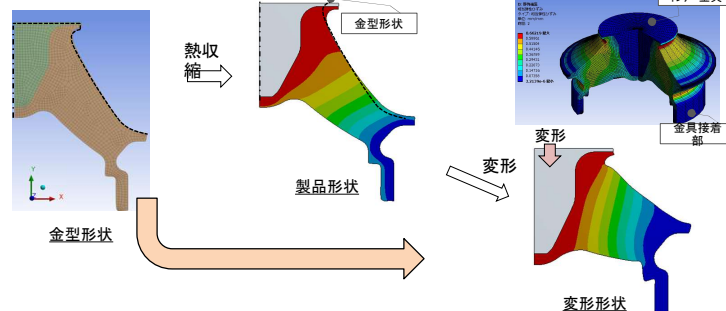
解析と実測との比
⇒ $C_{10} = 1.0 \times$ 係数 補正

$C_{10} + C_{01}$ 一致するものを選択
⇒ 調整 ⇒ 解析適用

防振ゴム等のばねをFEM解析で予測する方法

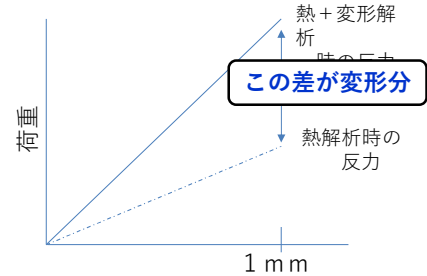
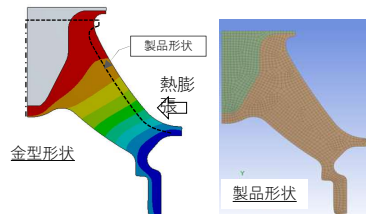
方法2：線形FEM解析の利用

熱+変形解析=非線形解析



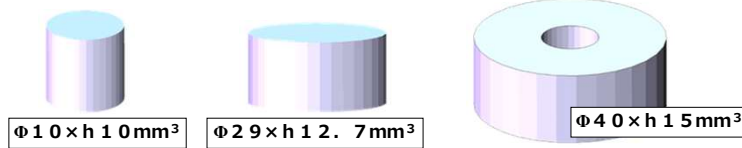
多段階の解析が必要な非線形解析を、**1段階で差分でばねを確認すれば線形で十分。**
また、ゴムの特性のお話し(YouTube)で紹介、大変形も予測可能。(ここでは省略可)

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



5

解析の実用化により得られるもの

解析の基本/線形解析でも

果たして、線形解析で正解が得られていますか？

ゴム・樹脂の解析
/材料の定義

材料定義が基本です、本当に正しく定義できていますか？

ゴム・樹脂の動的解析

果たして /粘弾性定義と適用範囲

動解析の誤解、動ばね、応力緩和、クリープも同じデータで解析可能。

成型に関する解析

/予測精度は成型に起因する

加硫・成形条件で特性コントロールも可能です。

耐久性検討

解析と実験から予測データベースの構築

基本を踏まえての必ず耐久試験が必要です。

解析がうまくいかないのは勘違いが80%以上です。

解析技術

予測精度向上・勘違い

他の材料へ・熱時など

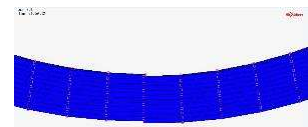
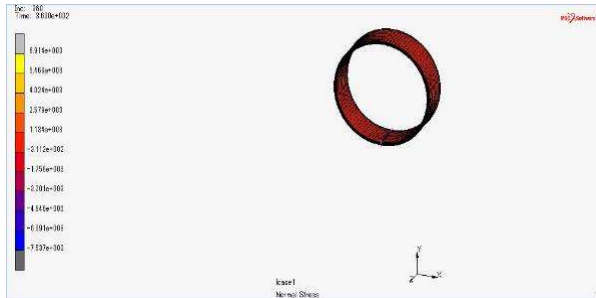
効率化・自動化により楽をする、単純ミスの回避、時短によるシステム運用費の削減（増設回避）

板の巻取り解析

3方向カップルドフ
(XYZフリー)

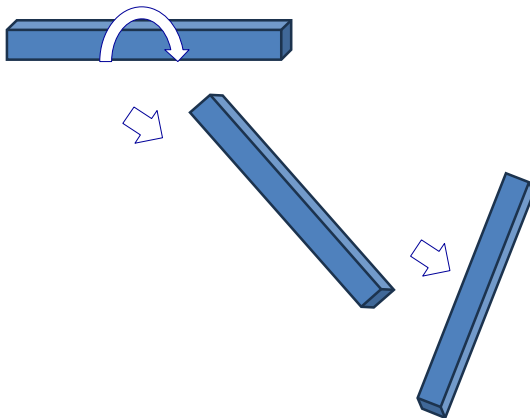
剛体-のり付け
この場で回転

サブルーチンFORCDDT
でも可(但しトルクが)



ずれない設定も可能
解析誤差⇒実際には板厚の差

回転解析(変形なし)



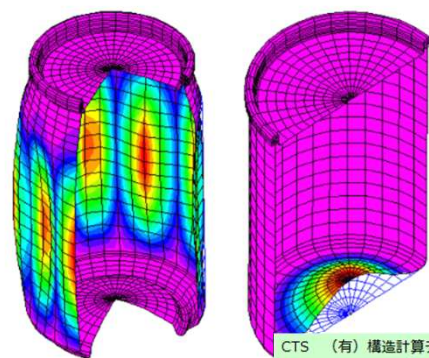
ソフトは時々こんな回転解析さえできません。

アルミ缶の座屈解析

[アルミ缶の座屈解析 \(cts-inc.co.jp\)](http://cts-inc.co.jp)

製品形状の座屈モード

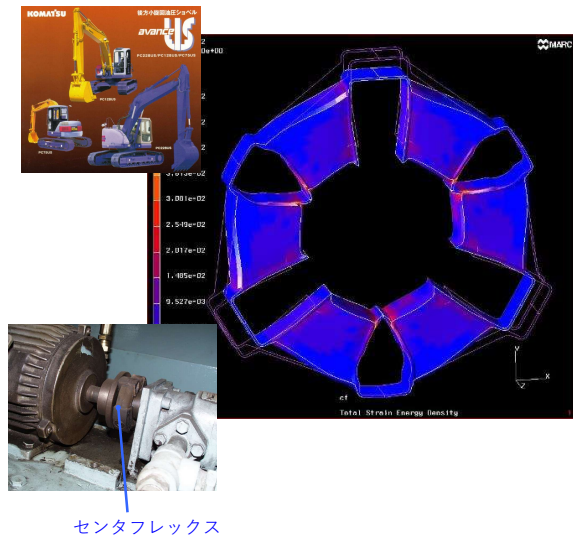
円筒形状の座屈モード



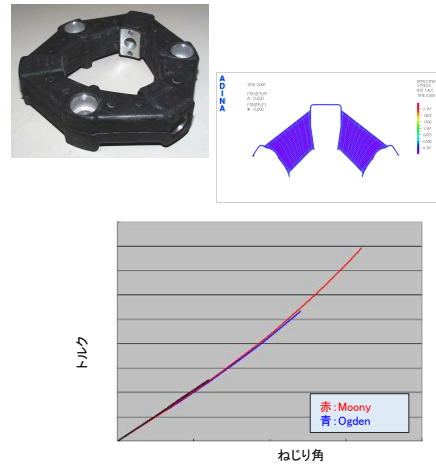
CTS (有) 構造計算テクノロジー
〒436-0079 静岡県掛川市掛川50-18

果たして座屈難しい解析でしょうか。
肉厚の不均一性では・・・

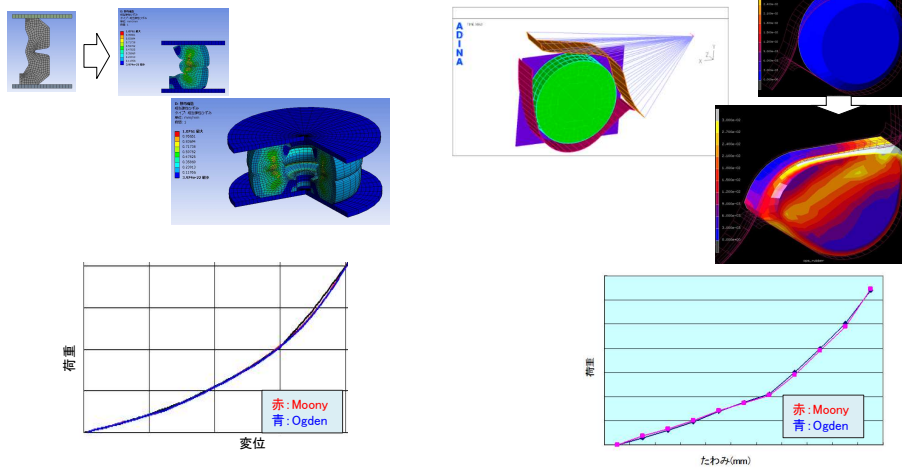
CF カップリングの変形解析



CFカップリング



ラバースプリング



※OgdenとMooneyの比較(イメージ)

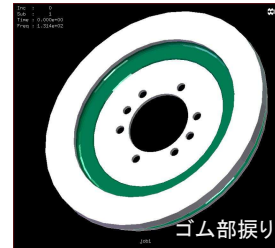
P Dの固有値解析 (ゴムと金属)



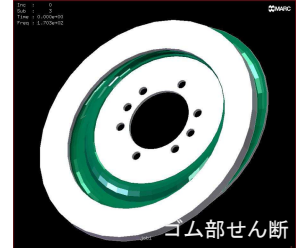
ゴムのねじり



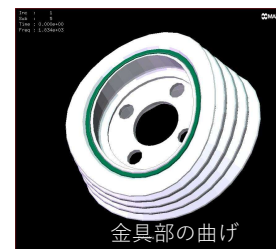
ゴムのこじり



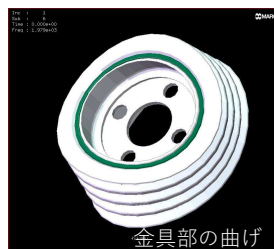
ゴム部振り



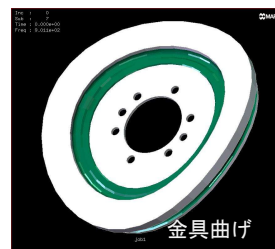
ゴム部せん断



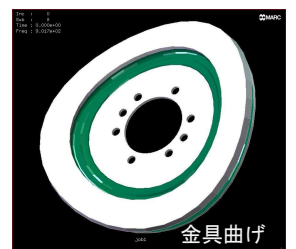
金具部の曲げ



金具部の曲げ



金具曲げ



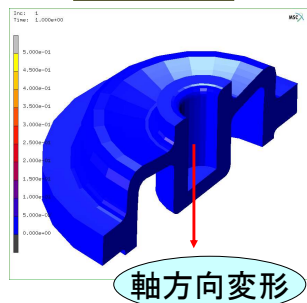
金具曲げ

ゴムの動的特性は、丁寧な粘弾性定義が必要。基本は超弾性定義。

粘弾性特性について ヒステリシスの考え方

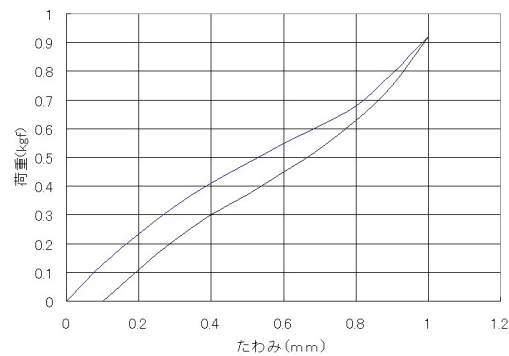
ゴムの物性評価と試験法

製品では、



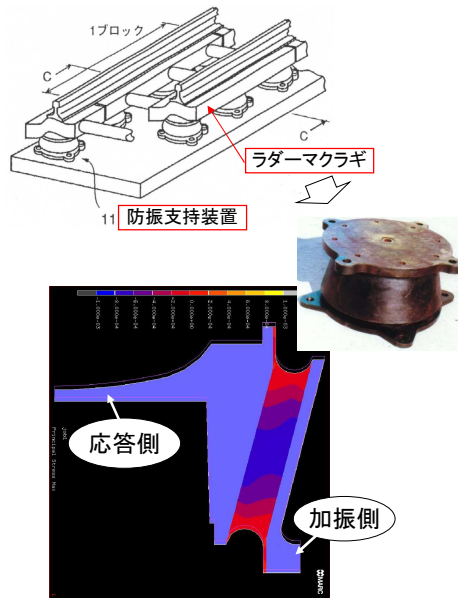
軸方向変形

戻りの特性も表現すると実測値は

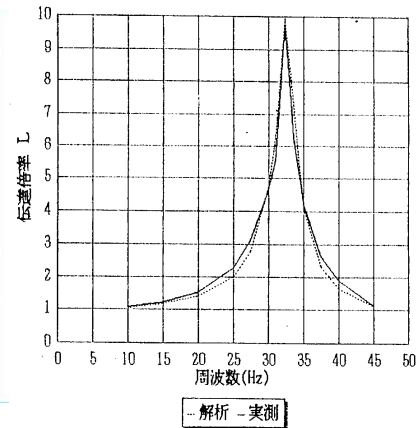


ゴールの整合・調整

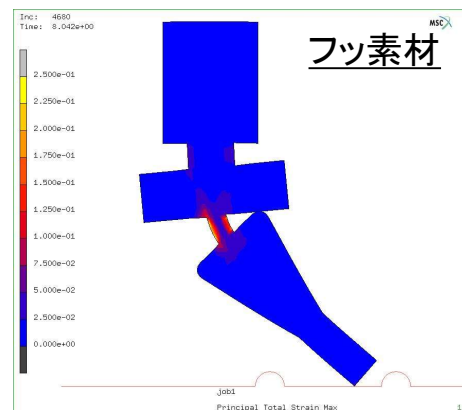
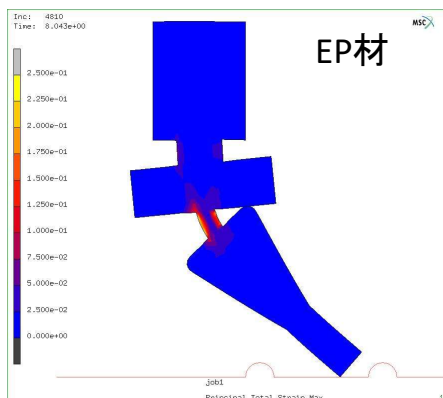
例) ラダー型防振ゴムの応答解析



加振-応答倍率(振動特性)



ブレードラバー変形解析 材質による挙動の違い



ゴム製品 設計開発者向け 新人教育から解析の効率化 お手伝い

メール問合せ、どこまでも無料です。web会議も対応
メール対応のみでスポンジゴムの解析、立ち上げ無料でお手伝い実績。他

令和7年9月1日 寺子屋 萩本光広

寺子屋/CAE解援隊

URL <https://terakoya2018.com>

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

新人教育からベテランの解析まで、お困りごとに対応します。

ゴムの設計、FEM解析を中心に ゴム全般、製造、品質管理までのお手伝い

ゴム製品の設計から耐久性の考え方 新人教育のお手伝い

ゴムのFEM解析を中心としたお手伝い

セミナー開催・現地、Webでの対応

解析用材料定義から予測精度の向上

ゴムの疲労寿命・
耐久性予測

解析の収束性
接触・条件設定

CAD・解析の自動化/効率化

初心者のための
ゴムの有限要素法解析

Finite element analysis of rubber
for beginners

— 初心者からベテランまで活用可能な書籍 —

萩本光広 著

工業技術出版社

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

寺子屋紹介 セミナー一部

告知

系統的に学ぶ 実践 ゴム製品のCAEを利用した設計開発

～製品開発から製造への型設計、耐久性向上の実践とポイント～

講師：萩本 光広（個人事業：寺子屋 代表。2008年からCAE解読隊HP開設、ゴムの解析基本から解析予測精度の向上、課題解決、CAD及びCAE自動化について情報発信及びコンサルタント、2018年より寺子屋へHPを移し、よりきめ細やかなサービスを展開できるよう活動しています。）

趣旨

⑥略歴

ゴムの設計、解析が難しいと考えていませんか。ゴム製品はあいまいなもので、なんとなく設計してもなんとなくできてしまいます。ゴムシール、防振ゴム、精密部品のゴム製品開発での経験を体系的に説明、お役に立てる情報を説明します。

1991年にFEM解析とは何？というところから出発した化学畑での経験しかない私が、お客様のご要望にお応えする中で学んだノウハウを設計・開発から製造工程までの型設計など、また、耐久性向上のポイントについて説明します。

線形解析でも本来間違った設定なども多く見かけられ、ゴムも同様に正しく解析条件など定義すれば怖いものはありません、確実に必要な結果が得られます。

また、この講座をきっかけとした知識の引き出しを持ったと考えて、不明点はメールやweb会議等でどこまでもご説明する良い字井があります。ご活用ください。

受講対象者

- ◎ゴムの解析でお困りの方：特に相談するところのない方など
- ◎ゴムの製品設計を円滑に行いたい方、方向性でお困りの方。
- ◎ゴム製品開発で、製造のヒントを知りたい方、耐久性までのヒントも。

寺子屋紹介 セミナー一部

プログラム

1. ゴム製品の設計基礎

1-3 各製品群の設計/FEM解析を絡めて

- ①防振ゴム設計 ばね計算とFEM解析での設計 ・マウント/クッション/ラバーダンパー他
- ②ゴムシール設計 ③ラバー/樹脂ブーツの設計 ④ワイパー設計/払拭性 ⑤クリック特性予測

1-4 製造工程含めた設計開発

- ・金具付きシールの金型設計 ・ワイパー、シールの摩擦低減の工夫 ・熱解析での工程改善
- ・工程設計に用いる熱的解析の材料定義 ・ゴムの構造解析の基本/簡単にエネルギー関数について

2. 防振ゴムの固有値解析から粘弾性、動解析の本質/ゴムの剛性変化について

4. ゴムの大変形、非線形解析の基本から応用テクニック

- 4-1 ゴムのひずみエネルギー密度関数定義、回帰について
- 4-2 ゴムの解析の基本から収束性テクニック（飛び移り、接触、荷重の与え方）
- 4-4 摩擦の考え方、収束性も絡めて
- 4-5 線形解析ソフト（ソリッドワークス等）でのゴムの特性予測について
- 4-6 リスタート、その他便利機能（周期対称、2Dから3D解析等）
- 4-7 ゴム、樹脂の解析誤差の根本原因

6. 解析の効率的運用

- 6-1 自動化、効率化の考え方 ⇒自分の考える時間の捻出
- 6-2 CAD/FEMの自動化、方法、考え方
- 6-3 材料データ構築、CAD/CAE運用費の内緒の低減&削減方法/裏ワザ含めて

7. ゴム製品の耐久性予測について

- ・シール製品、防振ゴム他 破損、耐久性の考え方（基本：ゴム製品は応力で確認してはいけない）

MARC解析を公共機関で修得しませんか

だれでもできる解析・CAD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 hapi@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

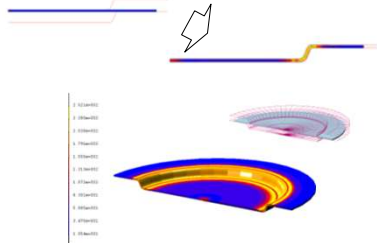
- 1) スムージング解析（回転体など） 2) ズーミング解析：局所の詳細解析への展開
- 3) 線形解析でも陥りやすいポイント、改善方法

※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。

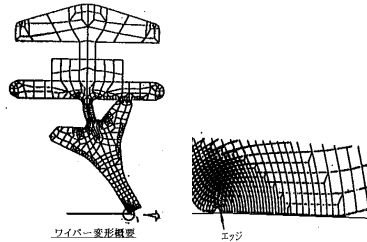
導入検討・即開発適用、25万円＋税ですぐに2次元（平面、軸対称）から3次元展開まで使えるようになります。

板金の塑性解析

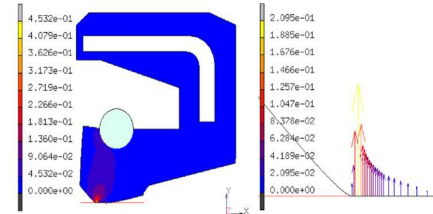
2D解析を3D出力する方法

**ゴムの平面2D解析**

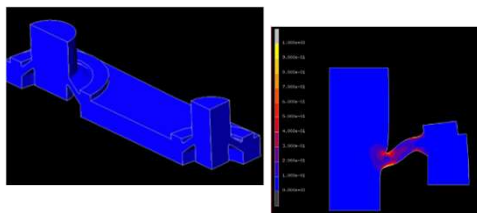
ワイパー断面のリップ詳細解析

**ゴムの軸対称2D解析**

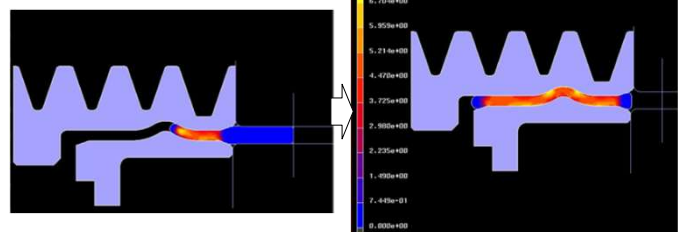
シールの面圧解析

**断面の軸対称2D解析**

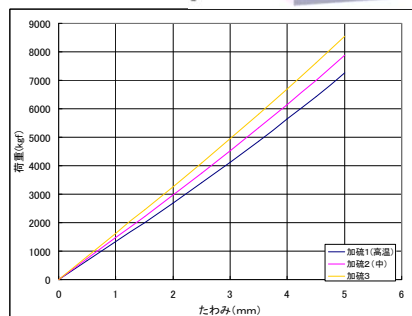
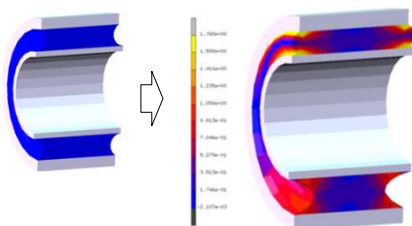
クリック反力解析

**軸対称モデル-ゴムの圧入接触解析**

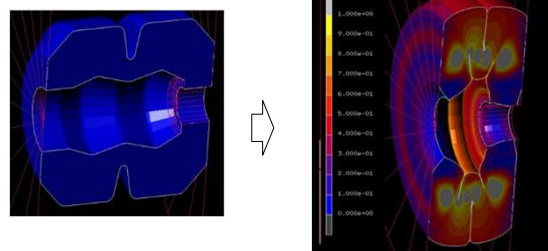
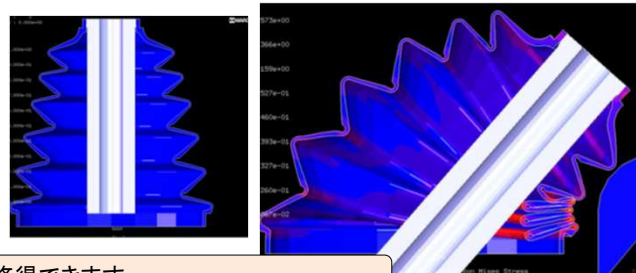
シールの面圧解析

**ゴムブッシュの3D解析**

変形反力

**ゴムクッション2D解析～3D展開**

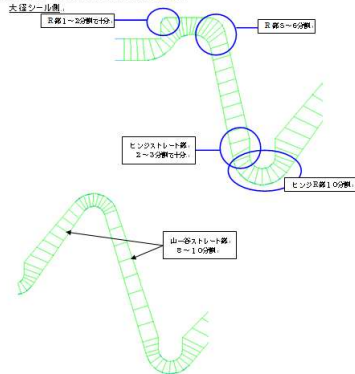
変形反力

**ブーツの揺動変形解析**

自動化を取り入れて短期間で修得できます。

自動化・手順書絡めて

実機分析は、本プログラムの解析時間に最も影響を与える因子である為、詳しく説明する。
分割数は極力、下記説明の小さい方を採用のこと。



開発者の簡易解析の為
正式なメッシングではない

【実際に作る・・・】

EXCELに実施した履歴をコピー

3D化

入力すべき項目を赤字で追記

材料
入力

要素のコピー
番号付け
元に戻して
節点共有

隣の出力用シートに反映

ブーズ自動プログラム190906.xlsx						
A	B	C	D	E	F	G
3	*set_expand_rotations					
4	5 0 0	...	3D化角度(5deg)			
5	*set_expand_repetitions					
6	80/5	...	何回繰り返すか			
7	*expand_elements					
8	all_existing					
9	*set_sweep_tolerance					
10	0.01					
11	*sweep_all					
12	*remove_unused_nodes					
13	*element_type 7					
14	all_existing					
15	*select_sets					
16	boot					
17	*new_material					
18	*material_type mechanical isotropic					
19	*material_value isotropic_youngs_modulus					
20	7.76	...	ヤング率入力			
21	0.47	...	ポアソン比入力			
22	1	...	密度入力(正確には質量密度、静電			
23	*material_option isotropic_plasticity_elastic_plastic					
24	*material_value plasticity_yield_stress					
25	200	...	降伏応力			
26	*add_material_elements					
27	all_unselected					
28						
29						
30	*material_value isotropic_youngs_modulus					
31	21000	...	ヤング率入力			
32	0.29	...	ポアソン比入力			
33	1	...	密度入力(正確に			
34	*material_option isotropic_plasticity_elastic_plastic					
35	*material_value plasticity_yield_stress					
36	200	...	降伏応力			
37	*add_material_elements					
38	all_unselected					
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60	all_unselected					

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

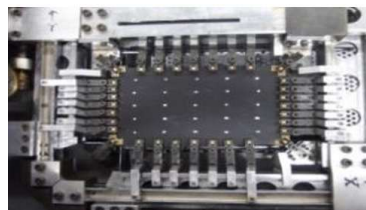
$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_2 - 3)^2 + C_{30}(I_2 - 3)^3$$

Ogden定義も可能です。

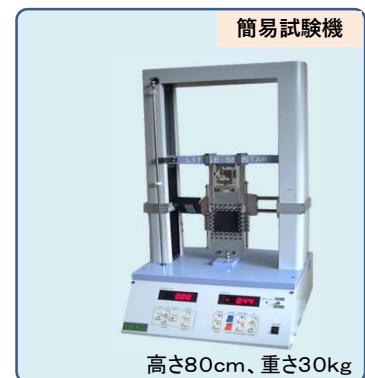


現地(富山)の二軸試験機

- ・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

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

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。

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

- 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



解析年間サポート

予測精度アップ・自動化/効率化・立ち上げを支援します。

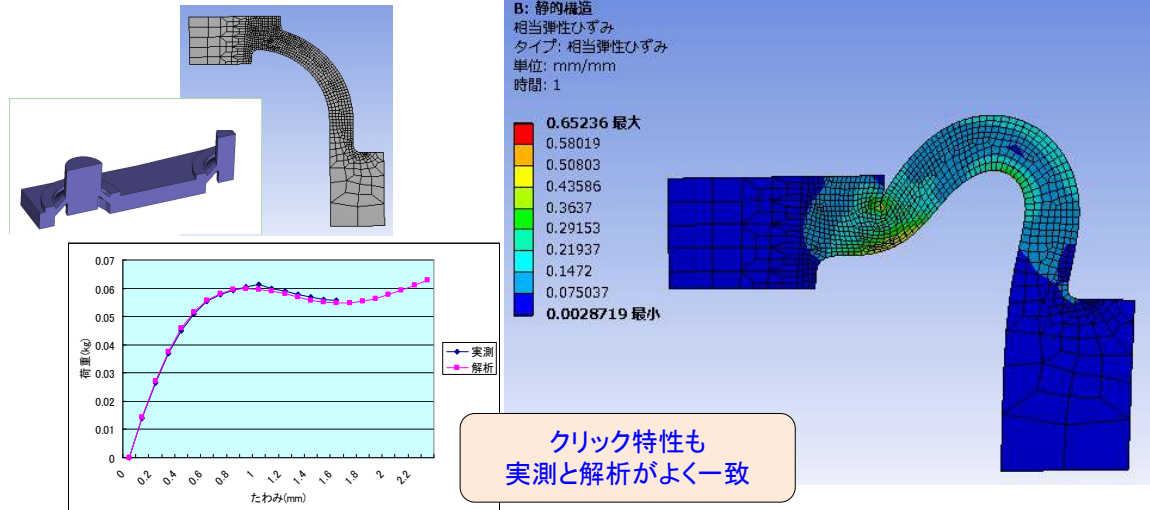
問合せはこちらから
<https://terakoya2018.com/question>

寺子屋/CAE解援隊

連絡先 hagi@terakoya2018.com

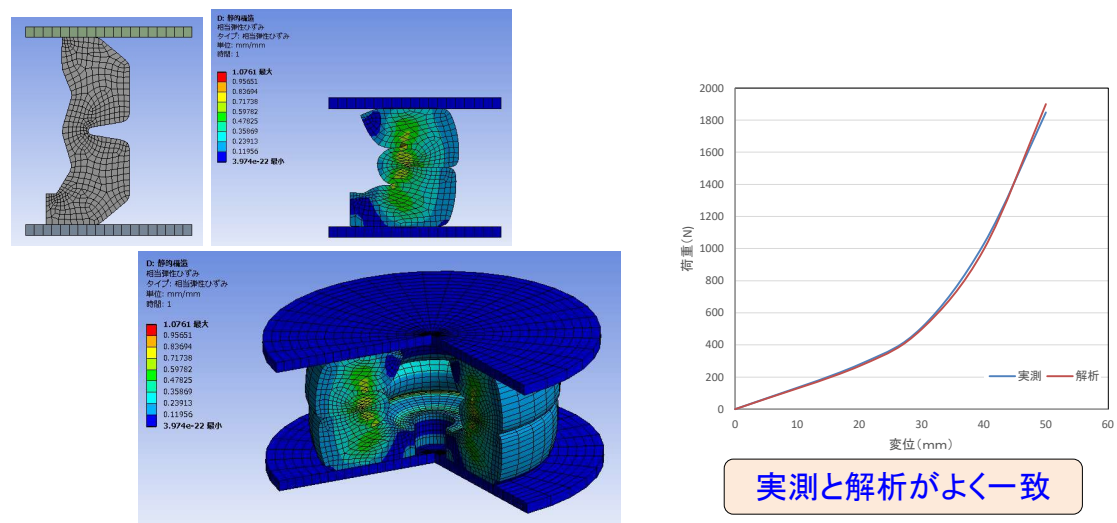
基本を守れば誰でも予測精度が向上します。

解析事例：ラバーコンタクト クリック特性



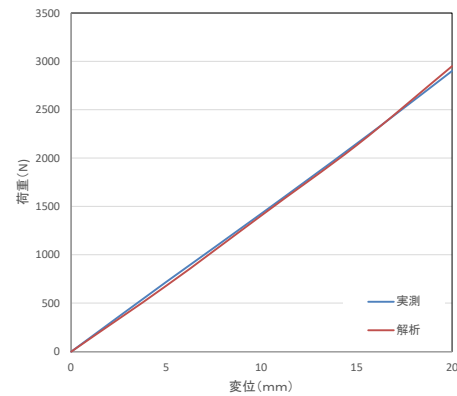
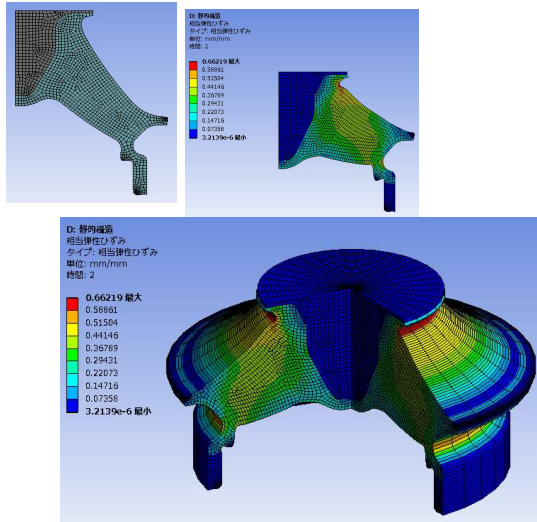
27

解析事例：ラバースプリングの変形解析



28

解析事例：円錐型マウントの変形解析

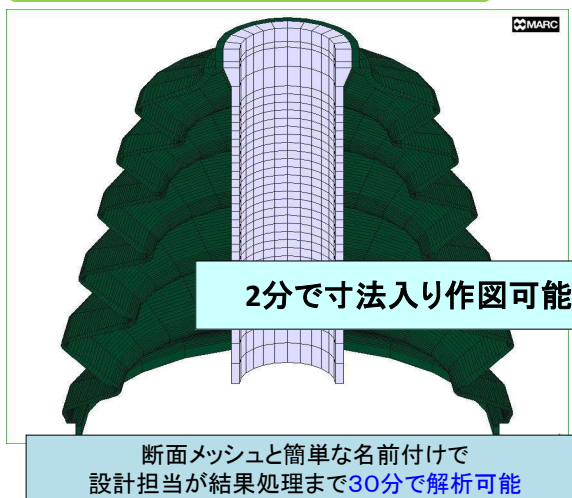


実測と解析がよく一致

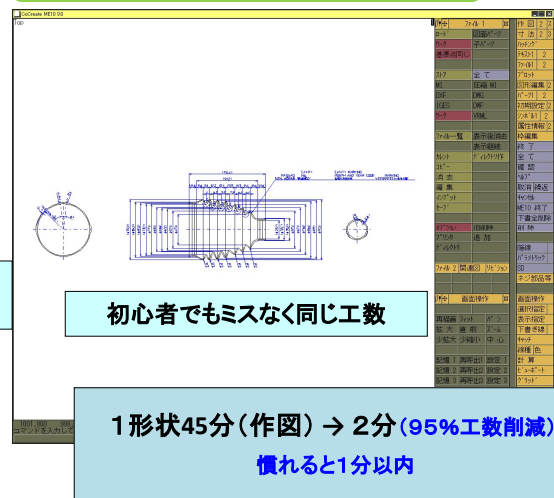
29

自動化のノウハウから覚えていただき効率化の推進ができます。

解析の自動化例：等速ジョイントブーツ



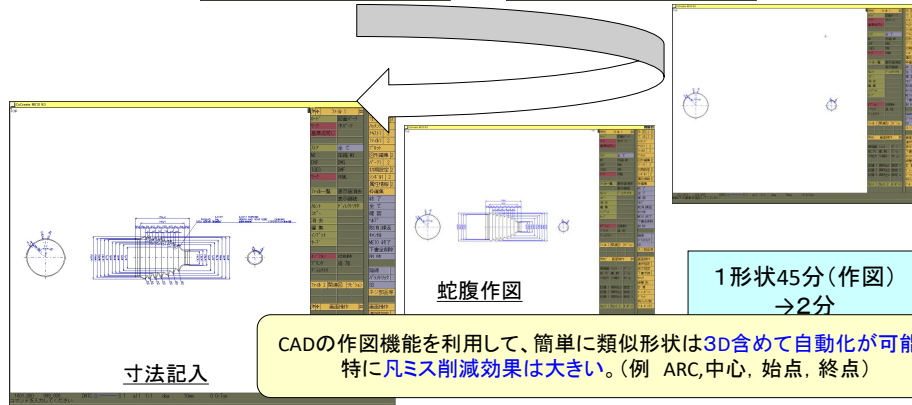
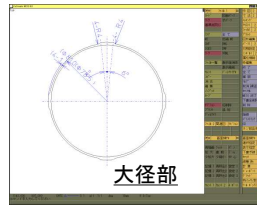
CADの自動化例：等速ジョイントブーツ



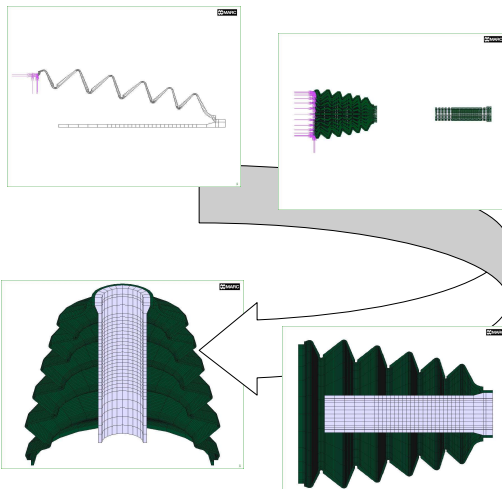
30

2 D-CADの自動化

MACRO
実行例)



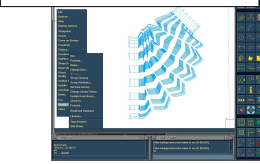
解析の自動化例: 等速ジョイントブーツ



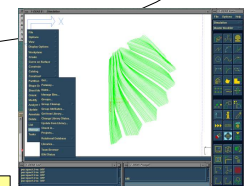
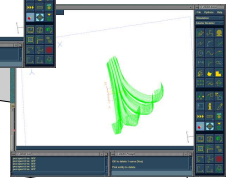
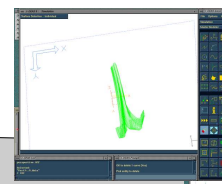
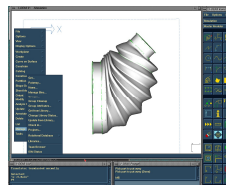
リバースエンジニアリング: 等速ジョイントブーツ

解析結果から3D-CAD作成の自動化

FEM解析結果のメッシュ

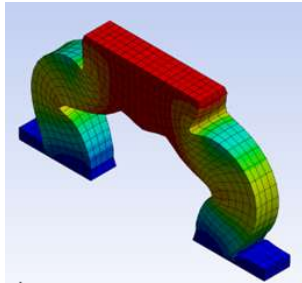


自動スプライン

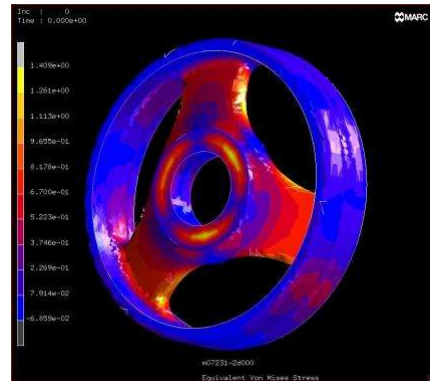
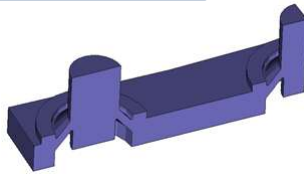


表面にサーフェースを貼り
10MB程度のモデル

モデリングの基本



ゴム製品
変位拘束でも誤差はわずかです



金属ハブ製品
変位拘束は**大きな反力、誤差が発生**

寺子屋/CAE解援隊

連絡先 hagi@terakoya2018.com