

CAE/FEM導入、維持管理費にお困りではないですか。  
-導入・管理費ゼロへの提案-

2024.2.16 寺子屋 萩本

寺子屋/CAE解援隊

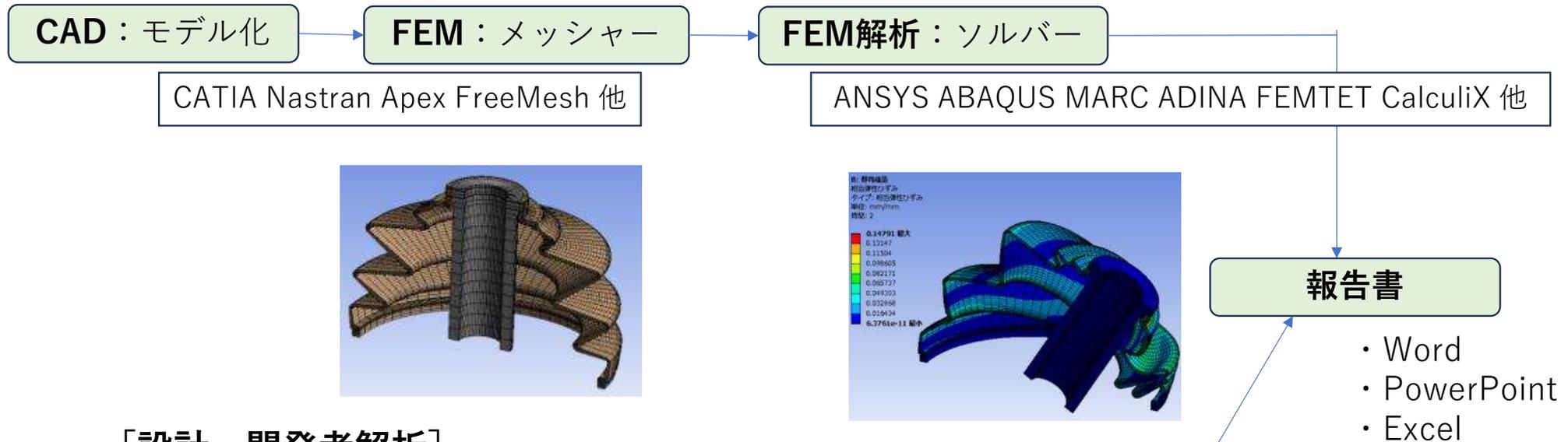
連絡先 [hagi@terakoya2018.com](mailto:hagi@terakoya2018.com)



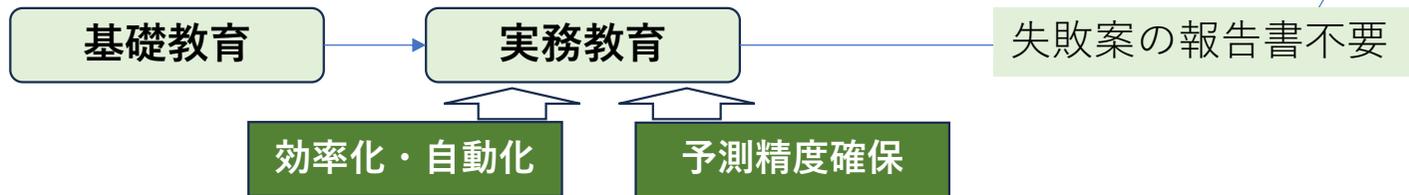
# CAE/FEMシステムと導入・維持管理費の概要

## ゴム製品解析ソフトを中心として全システムへの応用のヒント

### [FEM解析の流れ]



### [設計・開発者解析]

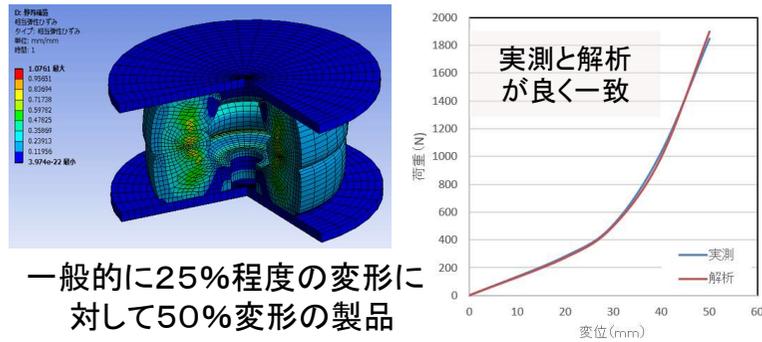


1 システム導入費用数千万円、維持管理費（保守費用の10～30%）数百万を50万円程度へ・・・  
数社の実績あり

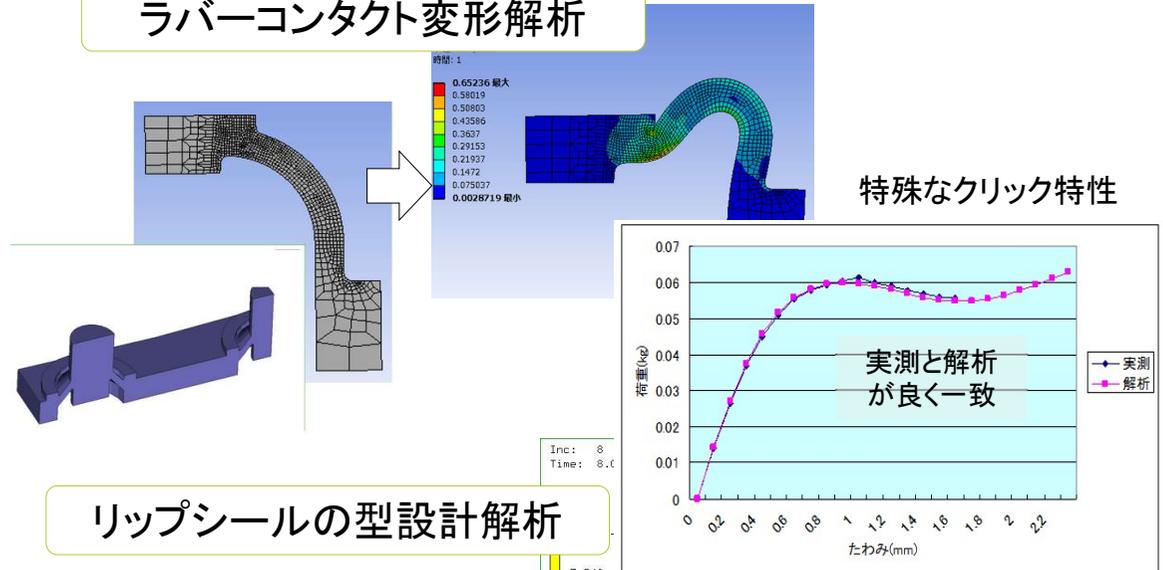
# 解析例 I

1日で自動化絡めて自力で解析可

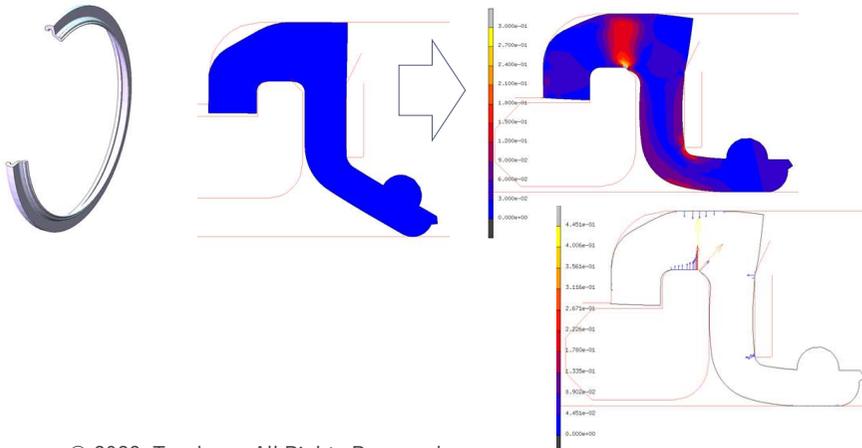
## ラバースプリングの変形解析



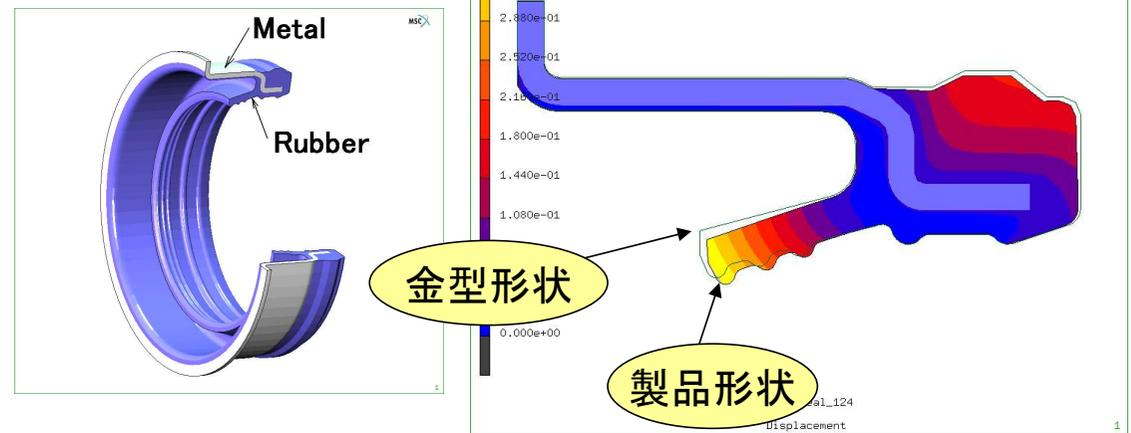
## ラバーコンタクト変形解析



## リップシールの面圧解析



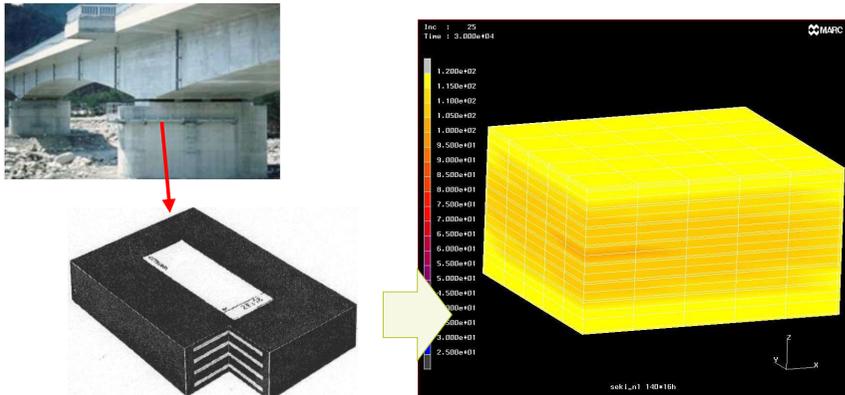
## リップシールの型設計解析



# 解析例 II

1日で自動化絡めて自力で解析可

## ゴム支床の熱伝導解析

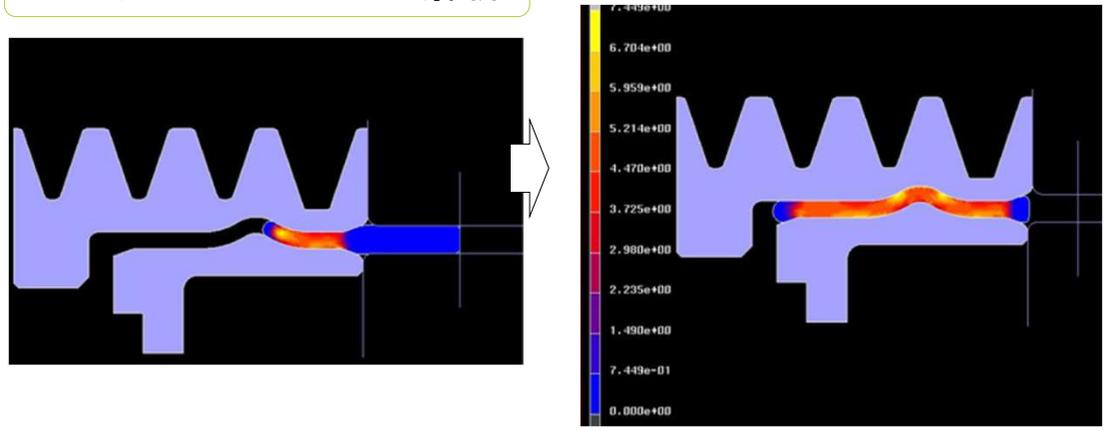


加硫時間 2 4 時間加硫 ⇒ 8 時間加硫  
勤務体制の変更 (夜勤廃止)

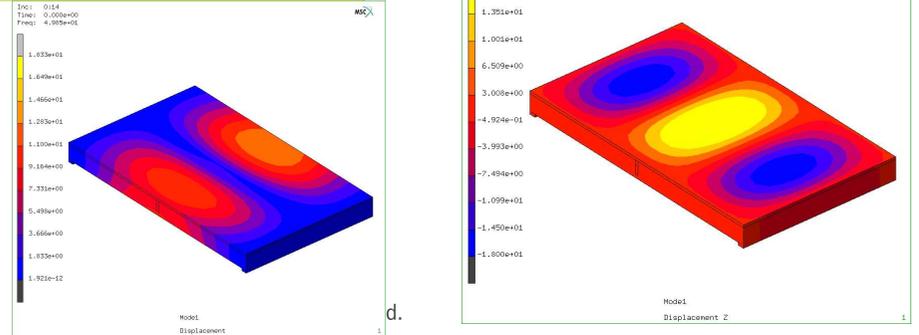
## ラバーダンパー振動解析



## プーリーダンパー圧入解析



## 木造床の振動解析

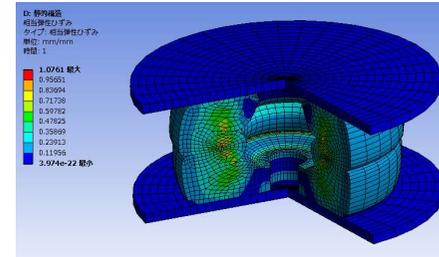


# 兵庫県率工業技術センターでMARC習得しませんか

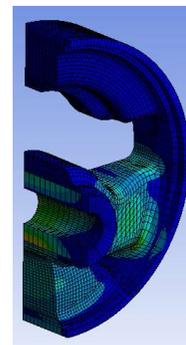
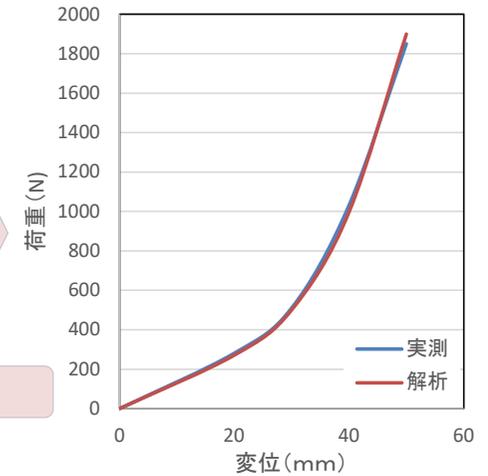
1日で基本修得でき、その後電話サポートなど。試験場使用料込み20万円～



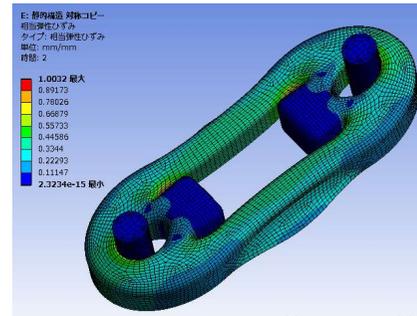
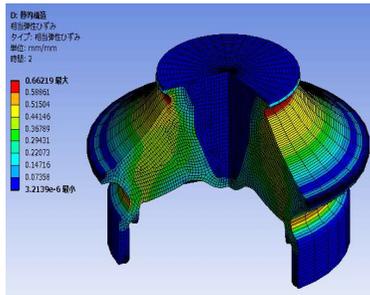
## クッションラバーの変形解析



二軸を修得すれば無敵です。



自動化、CAD機能の自動描画も可能です。👉



# 1日でFEM/MARC-ゴム製品の解析を修得 - タイムスケジュール案 -

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。**

自動化を絡めて1～2日で確実に解析できるようになります。その他・・・・・・・・・・・・・・・・

## 構築までの流れ

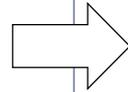
兵庫・秋田工業試験場 [MARC 1 日修得]

公共機関約 2 千円/時間 + 交通費

無料トライアル

MARC / ABAQUS / その他

1 か月トライアル解析で習得



その後、自力解析もしくは同行

自力解析時に遠隔サポート（無償）

公共機関約 2 千円/時間 + 交通費

工業試験場や

ひろしまデジタルイノベーションセンター

登録料 + 数万/日 + 遠隔利用（交通費なし）

**1 か月程度でゴムの基本解析はマスターできます。**

1 日修得は十分可能です、その後、（無償）遠隔（有償）サポート可能です。

文系管理職でも・・・をシュシュっと作れちゃう俺。豊川悦司氏のCM、  
**技術系が文系管理職で出来ないというのは思い違いです。**  
同様に誰でも解析は出来ます、高卒女子でも、また、物理が苦手な化学に逃げて香水作っていた私も。

精度確保には**解析用材料データ構築が不可欠**です。

材料定義をご自身で修得すれば後は試験場使用料のみ

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。



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 Program センター概要 About お知らせ News 主要設備 Facility 刊物 Publication 研究開発 Development 産業財産権 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関す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

寺子屋/CAE解援隊

URL <https://terakoya2018.com>

連絡先 [hagi@terakoya2018.com](mailto:hagi@terakoya2018.com)

080-2230-8785

富山県産業技術研究開発センター ([pref.toyama.jp](http://pref.toyama.jp))

# 試験の合間に

最寄り駅-福野 ラーメン慎太  
海老ワンタン塩そば

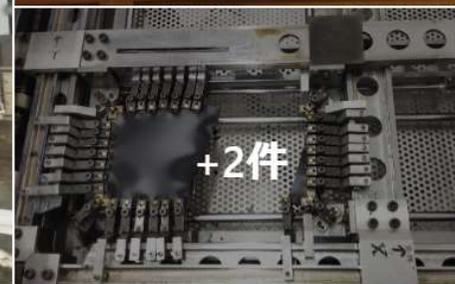


## 金沢でGoGoカレー

4月13日 8:41  
去年末から8回目の富山試験場です。今月、もう2回予定しています。金沢によって前回の#8番らーめん横目に#GoGoカレー カツカレーです。金箔の金のカレーもあります。



## 金沢 8番らーめん



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

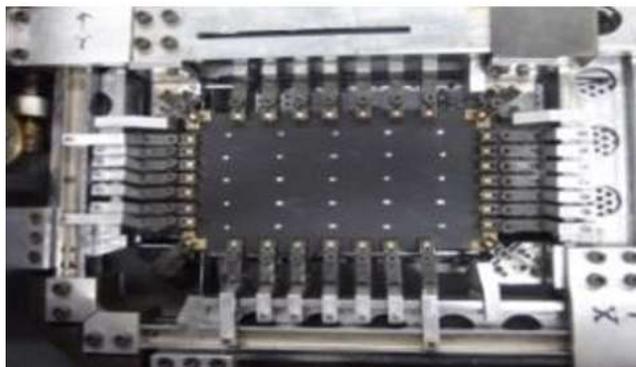
## 予測精度の確保が大前提です。 ゴムの解析用材料データベース

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。-

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



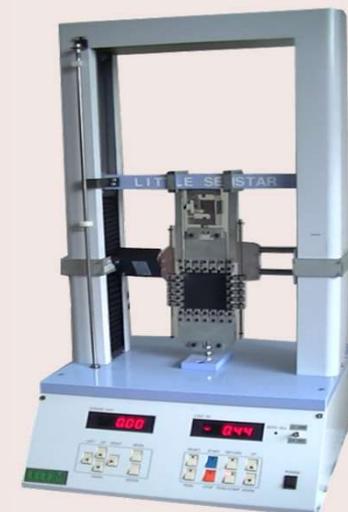
- ・エネルギー関数の真実、注意すべき点
- ・ゴムの解析への適用方法
- ・線形解析での間違いやすい点、その他サポート



サンプル取り付け部

Ogden定義も可能です。

簡易試験機



高さ80cm、重さ30kg

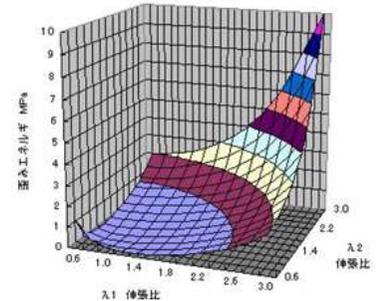
簡易試験機: 埼玉中心に関東圏で使用修得可能、従来型は富山で修得可能。

## そんな時、二軸データサンプルの提供

### Mooney 3次 ひずみエネルギー密度関数

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

※注意) 必ずしも硬度と剛性に比例関係はありません。最低限、  
単軸試験から剛性(ヤング率)確認をお勧めします。



### 提供の方法

- 1) お試しサンプル：無償提供
  - 2) 短冊の測定を基にマッチした材料提供  
ヤング率からマッチしたデータ検索
  - 3) 短冊もご用意できない方  
⇒ 製品測定と、それを模した解析から推定
- いろいろな方法があります。ご相談ください。

### ニトリルゴムのサンプル例)

【NBR材】N系(回帰)					N/mm <sup>2</sup>	
Gs	C10	C01	C11	C20	C30	
40Hs	2.48981E-01	2.75767E-02	-4.30145E-03	#####	#####	
50Hs	2.86538E-01	3.33478E-02	-4.55062E-03	#####	#####	
60Hs	4.13081E-01	5.65268E-02	-5.58853E-03	#####	#####	
70Hs	6.18743E-01	1.06498E-01	-7.92785E-03	#####	#####	

### ご用意可能な材料種と対応硬度

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| ①天然ゴム(NR)[35-80Hs]     | ②スチレンゴム(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]         |

他材料、この範囲外の硬度のご相談ください。

Ogden係数の提供もありますが、どの形でも予測精度は同じです。

(Ogdenの場合、変換の手数料を頂きます)

二軸伸張試験、無料・有料(3万円～、複数割あり)の解析用データを提供します。

開発・設計担当者による解析も可能です。

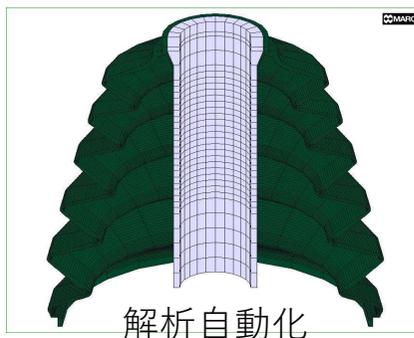
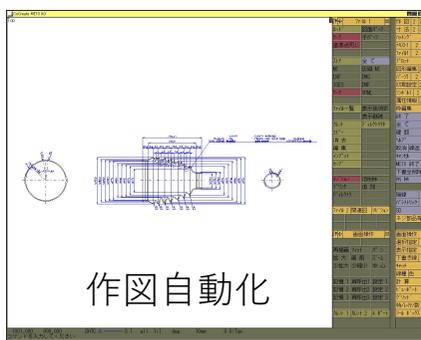
社内構築完了



自動化・効率化

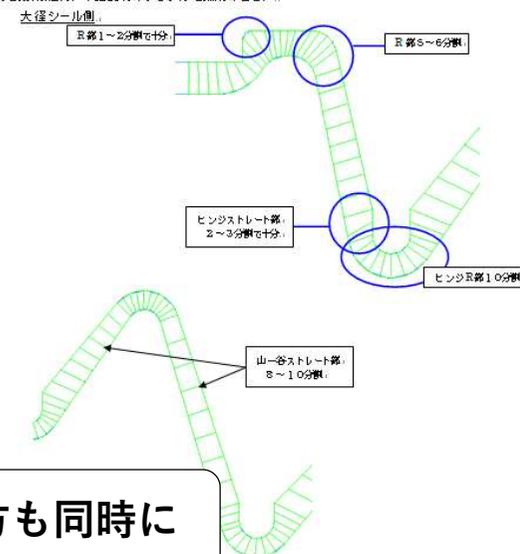


教育資料から教育実施



教育時間は2時間以内、  
その後フォローアップ  
10分/回程度

要素分割は、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...

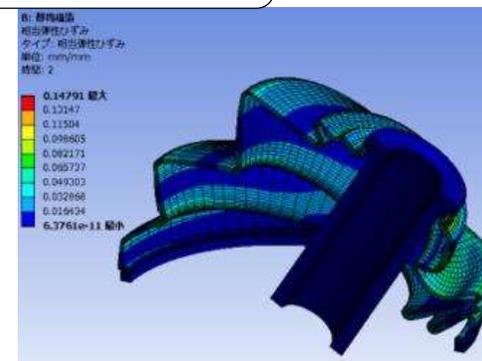


結果処理から見方も同時に

## 自動化・精度確保を前提に30分で1モデルの解析

設計者自身の解析では失敗報告書は省略可能

- ・ 自動化についてP13-16
- ・ 教育資料P17-20
- ・ 解析の基本と応用P21-

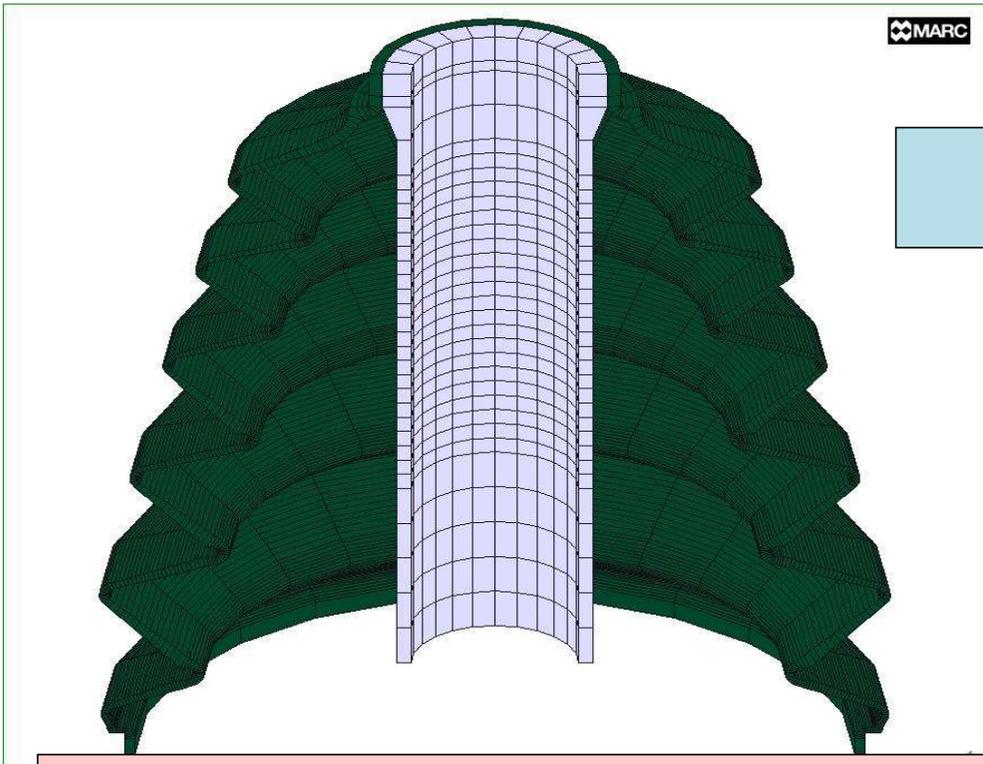


自動化ノウハウ修得できます。

# だれでもできる解析・CADの自動化/効率化

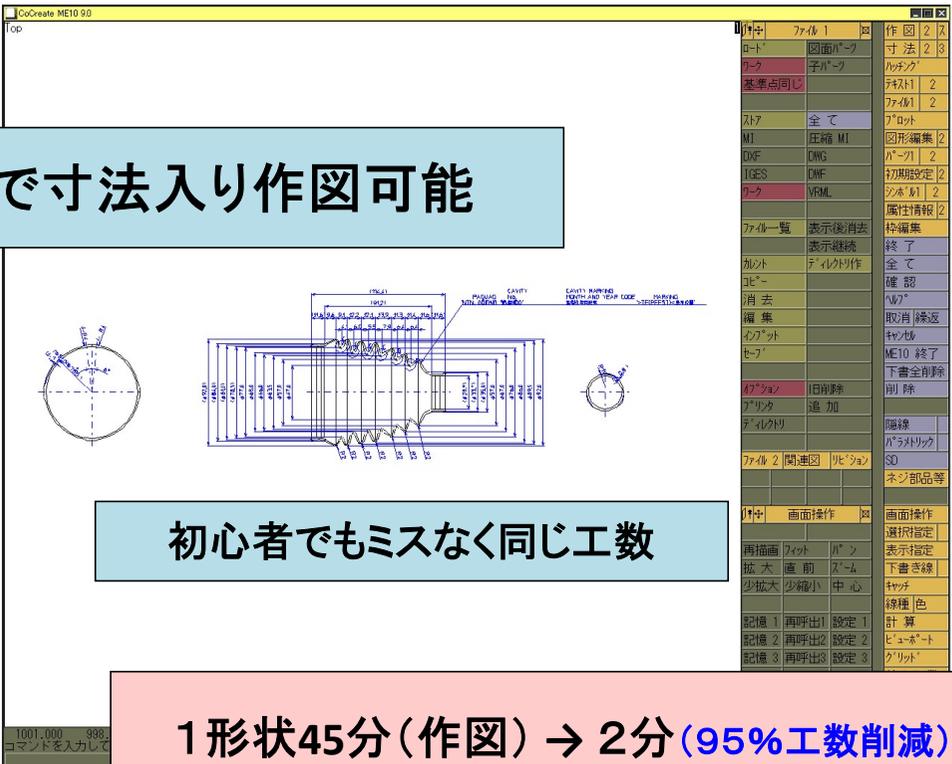
## 概要

### 解析の自動化例：等速ジョイントブーツ



断面メッシュと簡単な名前付けで  
設計担当が**結果処理まで30分**で解析可能

### CADの自動化例：等速ジョイントブーツ

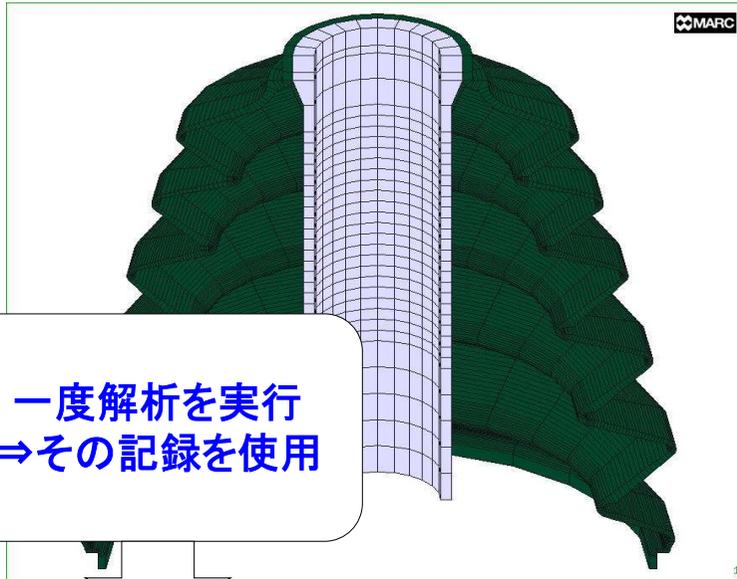


2分で寸法入り作図可能

初心者でもミスなく同じ工数

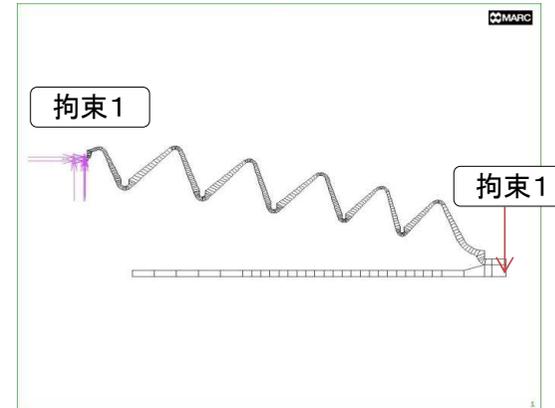
1形状45分(作図) → 2分(95%工数削減)  
慣れると1分以内

## ブーツ解析の自動化



一度解析を実行  
=> その記録を使用

## 自動化の方法: CAD自動化と同様



- 1) メッシュ作成、上下の拘束条件設定  
要素に“boot” “shaft” という名前付ける
- 2) 解析設定、3D化、順次手動で実行
- 3) 記録をテキストで残す

| Version : MENTAT II 2.3.1

```
*select_elements_class  
line2  
*remove_elements  
all_selected  
*element_type 10  
all_existing
```

```
all_visible  
*select_clear  
*select_sets  
rigid3  
*visible_selected  
*expand_curves
```

```
*element_type 10  
all_existing  
*expand_axito3d_reset  
*set_expand_non_equi_angle 1
```

## 実作業の記録

MARCの例ですがどんなソフトでもEXCELとの組み合わせで自動化できます。

# 効率化施策

## CADの自動化のヒント

実用面で考えると、

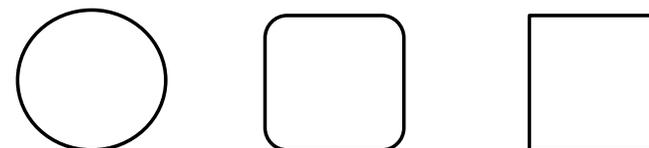
- ・製品群毎
- ・影響の大きいところから

⇒ 如何にまとめるかがカギとなる。

類似ですよ

半径 = 正方形の1辺の長さ / 2 ⇒ 円

フィレットRの大きさをゼロにすれば ⇒ 正方形

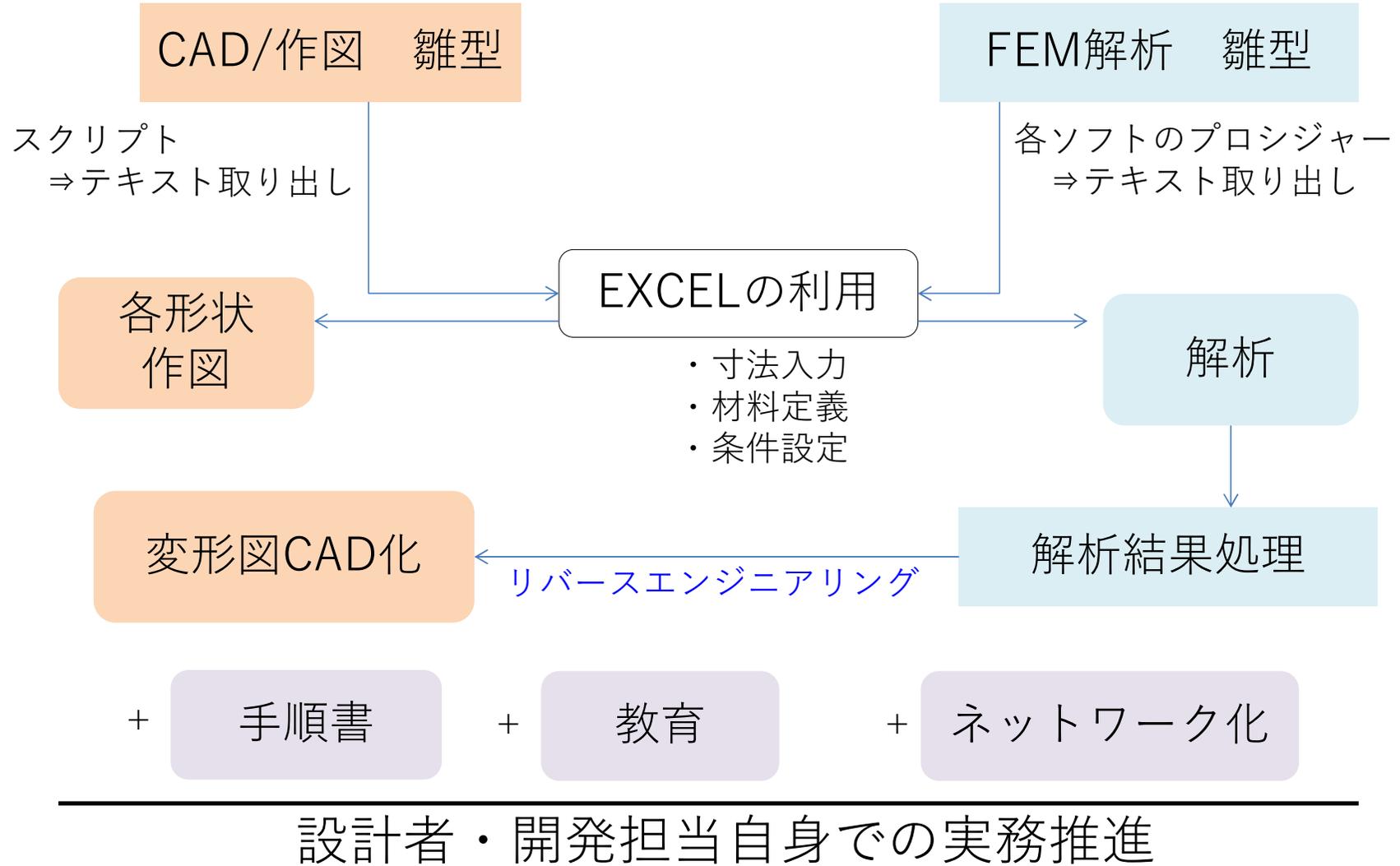


CAD言語の理解から設計検討資料とのリンクで自動化可能。

- ・費用対効果・画面を観察すること  
⇒ スクリプトから見える

EXCELと組み合わせて作成できる  
⇒ 寸法計算も

# 趣旨・要旨



# 自動化・手順書絡めて

要素分割は、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...

大径シール側

R部1~2分割で十分

R部5~6分割

ヒンジストレート部  
2~3分割で十分

ヒンジR部10分割

山-谷ストレート部  
8~10分割

PLACEMENT  
'ADD'  
'node\_list: 1/2断面の  
DEを全て選択する...

2 (プロシジャー) を実行する...

→PROCEDURE EEXECUTE→  
User\_Proc\_File\_Name: /disk2/user/cvj30-12.proc...

H 解析用ファイルの保存

MARC形式: FILES→MARC WRITE  
→ Enter File Name: FILE\_NAME.dat (OK TO Create? Y)  
MENTAT形式: FILES→MODEL SAVE AS  
→ Enter File Name: FILE\_NAME (OK TO Create? Y)

※ 例による解析用ファイルの調整...  
剛体としてカップ等は、定数読みなのでカップ等のマージは不要。  
→ 解析用ファイルの調整を参照にマージを調べる

解析の実行  
marc2003 -fid file\_name -b n.  
(注) バージョンを MARC2003 とすること...

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

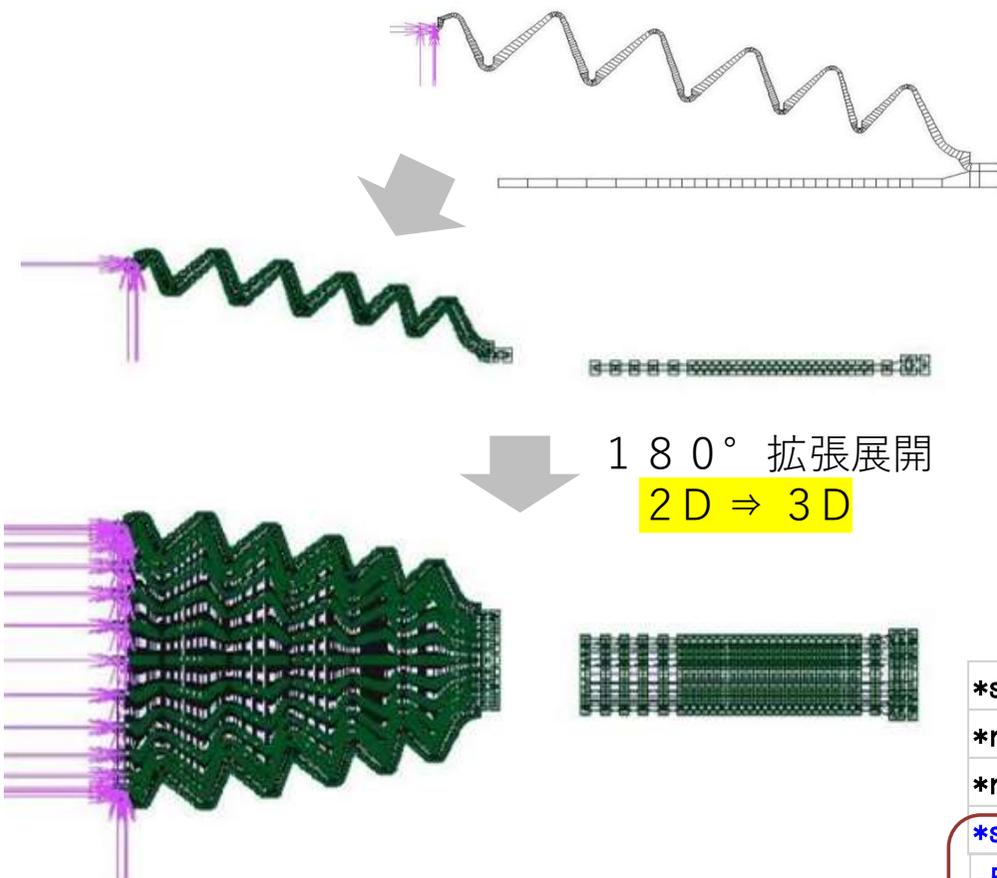
材料  
入力

ブーツ材料

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

	A	B	C	D	E	F	G
3	*set_expand_rotations	-5 0 0	...	3D化角度(5deg)			
4	*set_expand_repetitions	80/5	...	何回繰り返すか			
5	*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	7.76	...	ヤング率入力			
20	*material_value isotropic:poisson_ratio	0.47	...	ポアソン比入力			
21	*material_value isotropic:density	1	...	密度入力(正確には質量密度、静解			
22	*material_option isotropic:plasticity:elastic_plastic						
23	*material_option isotropic:plasticity:elastic_plastic						
24	*material_value plasticity:yield_stress						
30	*material_value isotropic:youngs_modulus	21000	...	ヤング率入力			
31	*material_value isotropic:poisson_ratio	0.29	...	ポアソン比入力			
32	*material_value isotropic:density	1	...	密度入力(正確に			
33	*material_option isotropic:plasticity:yield_stress						
34	*material_option isotropic:plasticity:yield_stress						
35	*material_value plasticity:yield_stress	200	...	降伏応力			
36	*add_material_elements						
37	all_unselected						
38	all_unselected						
60	all_unselected						



180° 拡張展開  
2D ⇒ 3D

```

A      B      C      D
1
2      revolve180deg.proc
3
4      | Version : MENTAT2005
5      *reset_view
6      *fill_view
7      *set_sweep_tolerance
8      0.01
9      *sweep_all
10     *remove_unused_nodes
11     *remove_unused_points
12     *set_expand_rotations
13     -5 0 0
14     *set_expand_repetitions
15     36
16     *expand_elements
17     all_existing
18     *fill_view
19     *sweep_all
Sheet1
  
```

```

*sweep_all
*remove_unused_nodes
*remove_unused_points
*set_expand_rotations
-5    0    0
*set_expand_repetitions
36
*expand_elements
all_existing
  
```

別シートで入力・計算 ⇒ 参照

180° 拡張 / 2D ⇒ 3D		
X軸回り	Y軸回り	Z軸回り
-5	0	0
每拡張 (マイナス) モデルを作る側/断面が見える側		
拡張繰り返し数 ← 計算値		
36		

計算 = 180 / 上の角度 (15)

# 設計FEM解析の立ち上げ

## 手順書例

FEM解析教育資料

### シールの変形解析

シール部品を組み付け解析を行う。

ここでは次の内容を新しく学習する(復習も含む)。

- ① 2次元解析での接触体の指定及び設定方法
- ② 異形剛体壁の作成方法

#### I 形状作成

部品(プレーキ用シール部品)の図面番号: \*\*\*\*\* (別紙参照)  
組付け部品は Mentat にて作成する為、製図はシール部品のみ作成する。

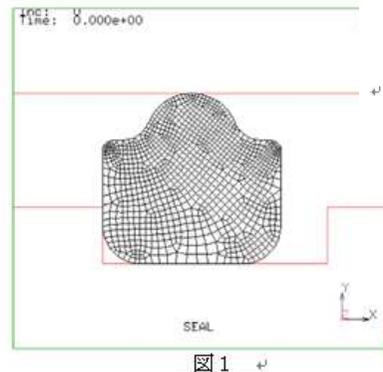
注意) 図面 X 点を原点  $(x, y) = (0, 0)$  に作成する事。

#### II 要素分割

線の分割数は、図面の○囲いの数字を参考に設定する。  
すると、図1のようなメッシュとなる。

※ ここで、ユニバーサルファイルに書き出し、Mentat の読み込みまでを行う。

#### III 解析条件設定



#### 1. モデル作成 (ME10)

1-1. 外形の1/2断面モデル作成.....図1参照

- ・リップ部の中心を原点  $(0,0)$  に作成する
- ・全断面モデルで中心線を引いたものでも可である
- ・尺度は 1 : 1 で作成する
- ・図面枠、注記、寸法等の形状以外のものはあらかじめ削除(不必要)しておく

1-2. ファイルを IGES形式で保存

ファイル名は半角英数  
ストア → IGES → '~.igg' と入力

1-3. FTPでファイルをEWSに転送

- 1) Octaneにログイン。パスワードは「gue1992」
- 2) バイナリーモードで転送する
- 3) 転送は画面ドラッグで行う

#### 2. 要素作成 (I-DEAS)

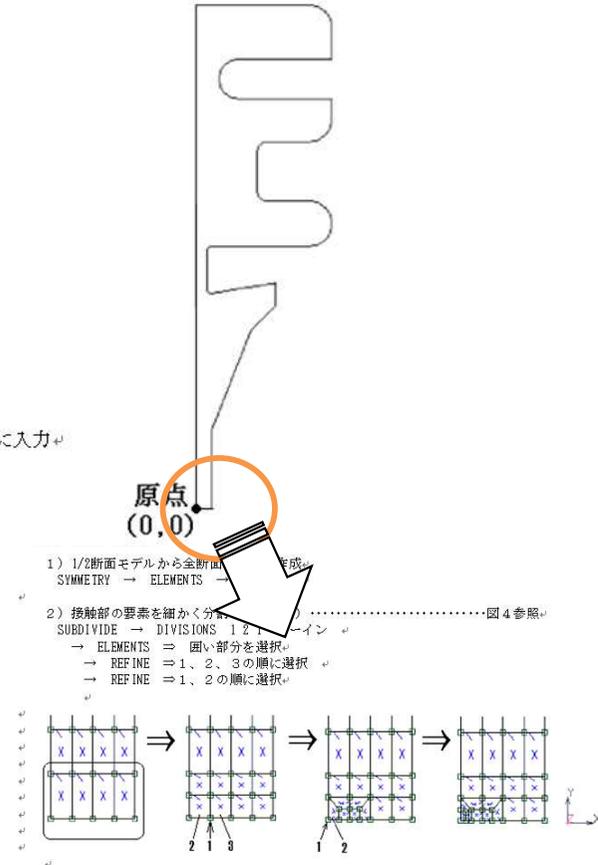
2-1. I-DEASの起動

[起動コマンド] ideas  
⇒ 新ファイル名(~.mf1)をModel File Nameに任意に入力

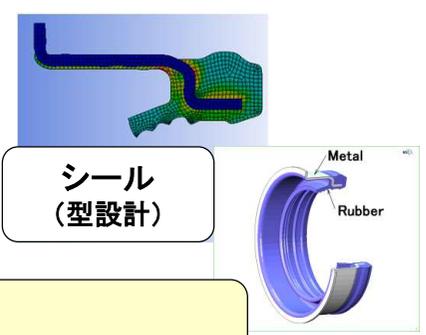
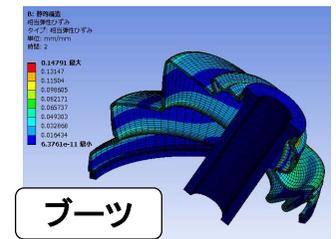
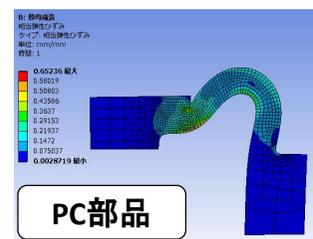
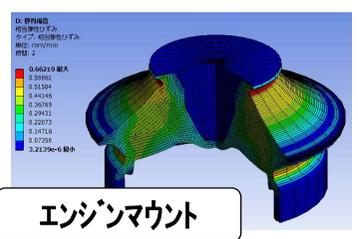
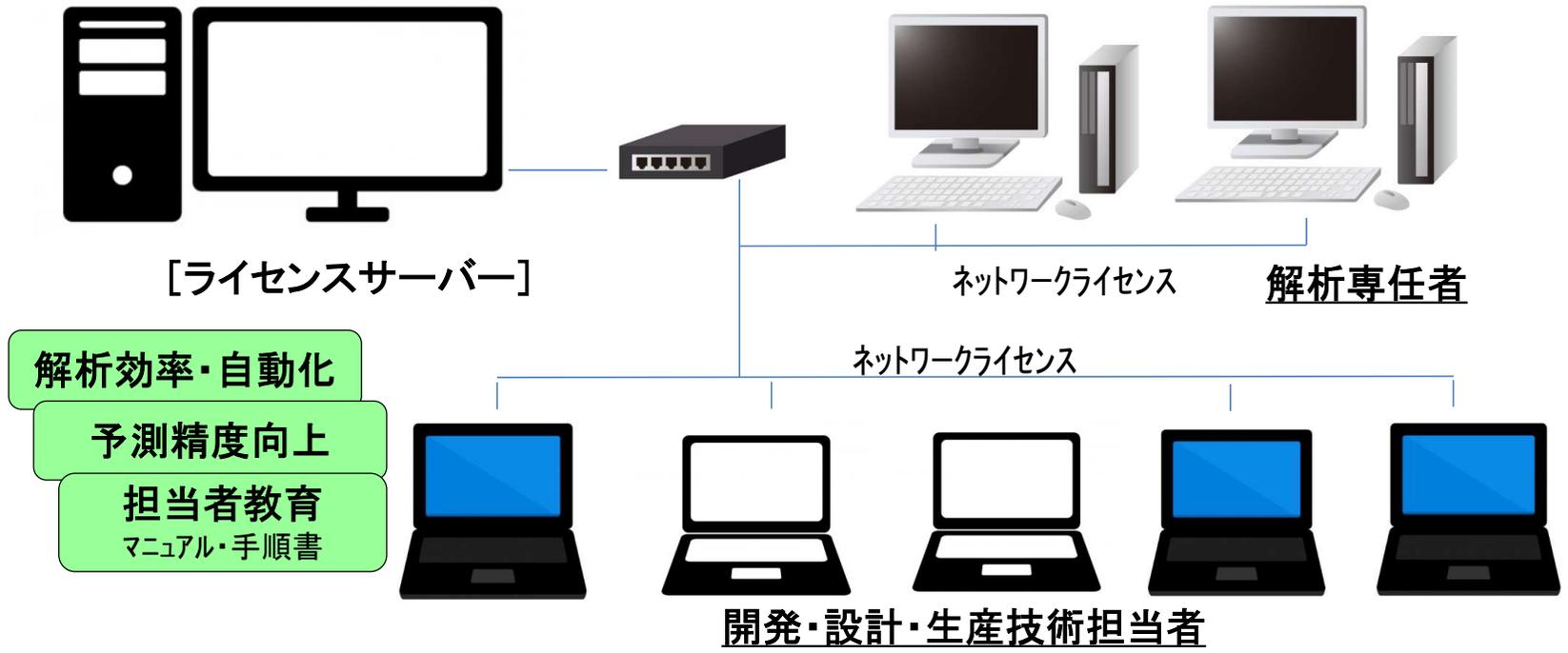
2-2. IGESファイルの読み込み

FILE → IMPORT → IGES

手順書を充実



# 解析環境の整備

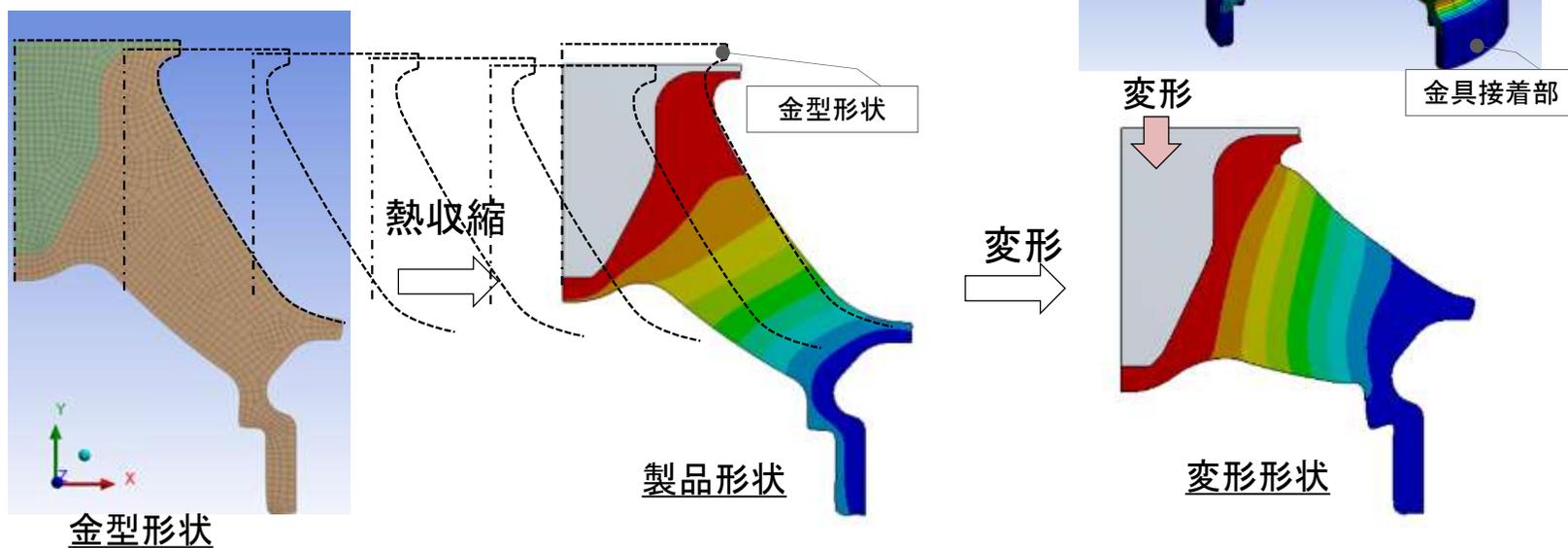


解析予測精度向上と自動化により  
開発・設計担当者が30分程度で解析可能な環境を整えられます。

ゴムの解析は熱の考慮が不可欠です。

## ゴムのFEM解析 基本フロー

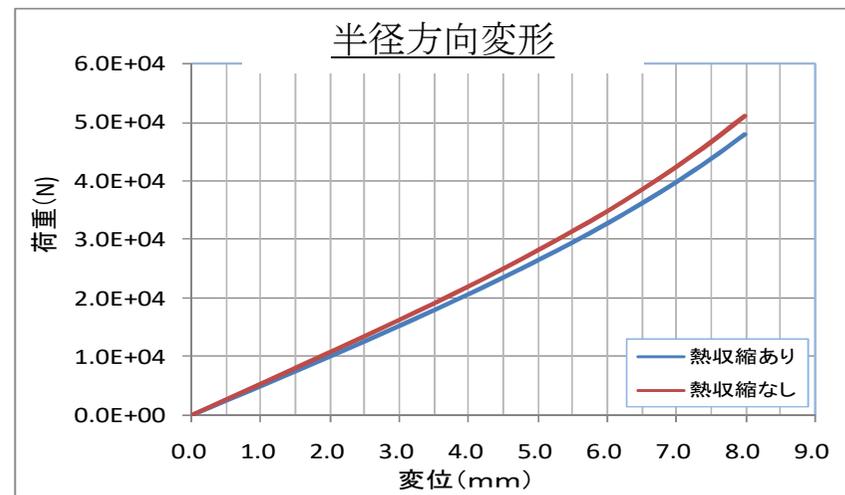
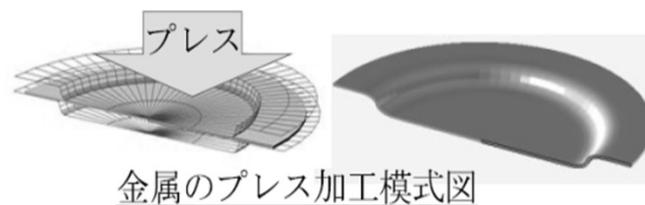
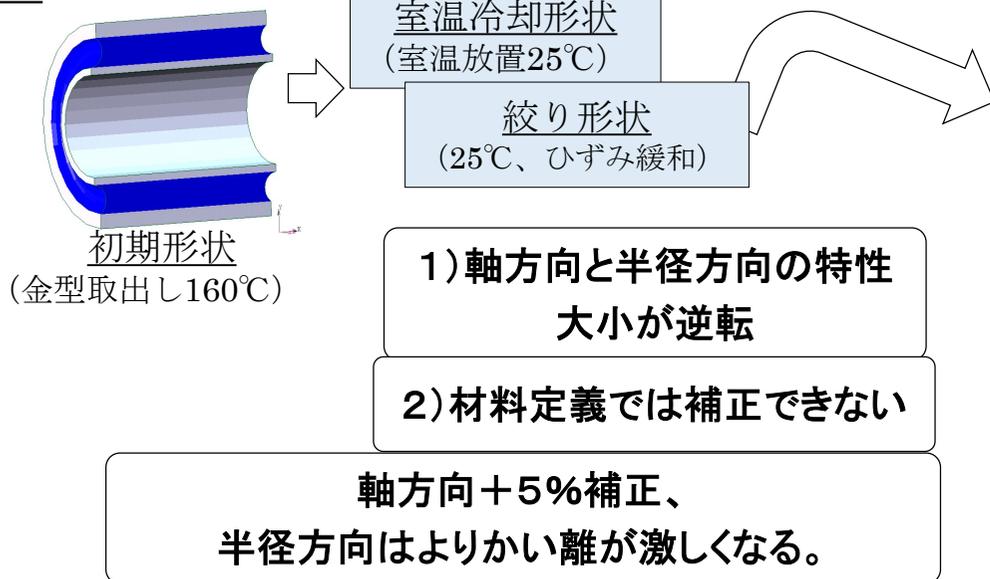
ゴム単製品は、そのまま変形解析を行えばいいですが、  
金具接着タイプは、熱収縮解析が必須だと考えます。



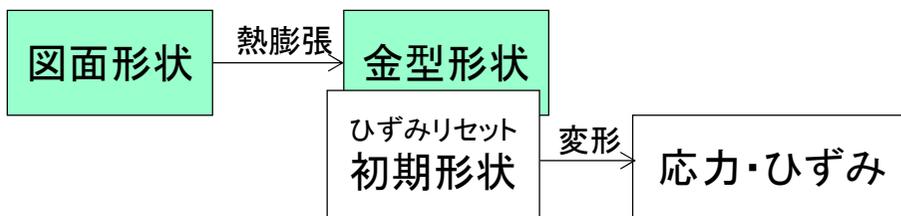
製品の加工工程を考慮することは、ゴム製品のみではなくすべての製品に当てはまります。  
**金型形状 ⇒ (熱履歴)熱収縮 ⇒ 変形解析** の手順を守ること、  
解析による**予測精度を格段に向上**させることができます。

# ゴム製品の解析では、

**BUSH**

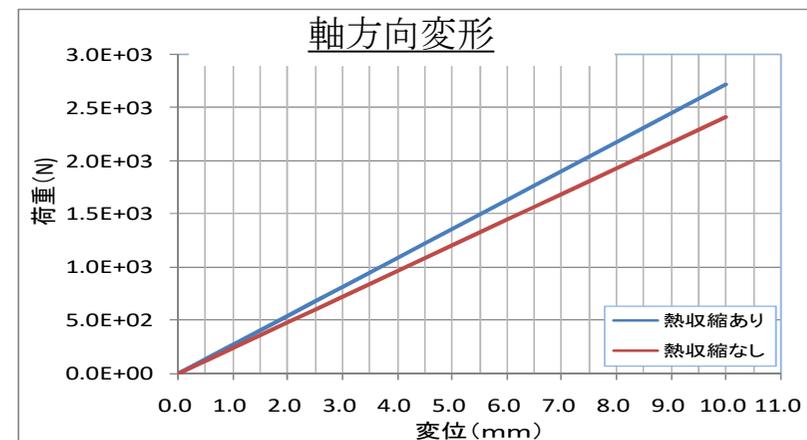


## [具体的手順]



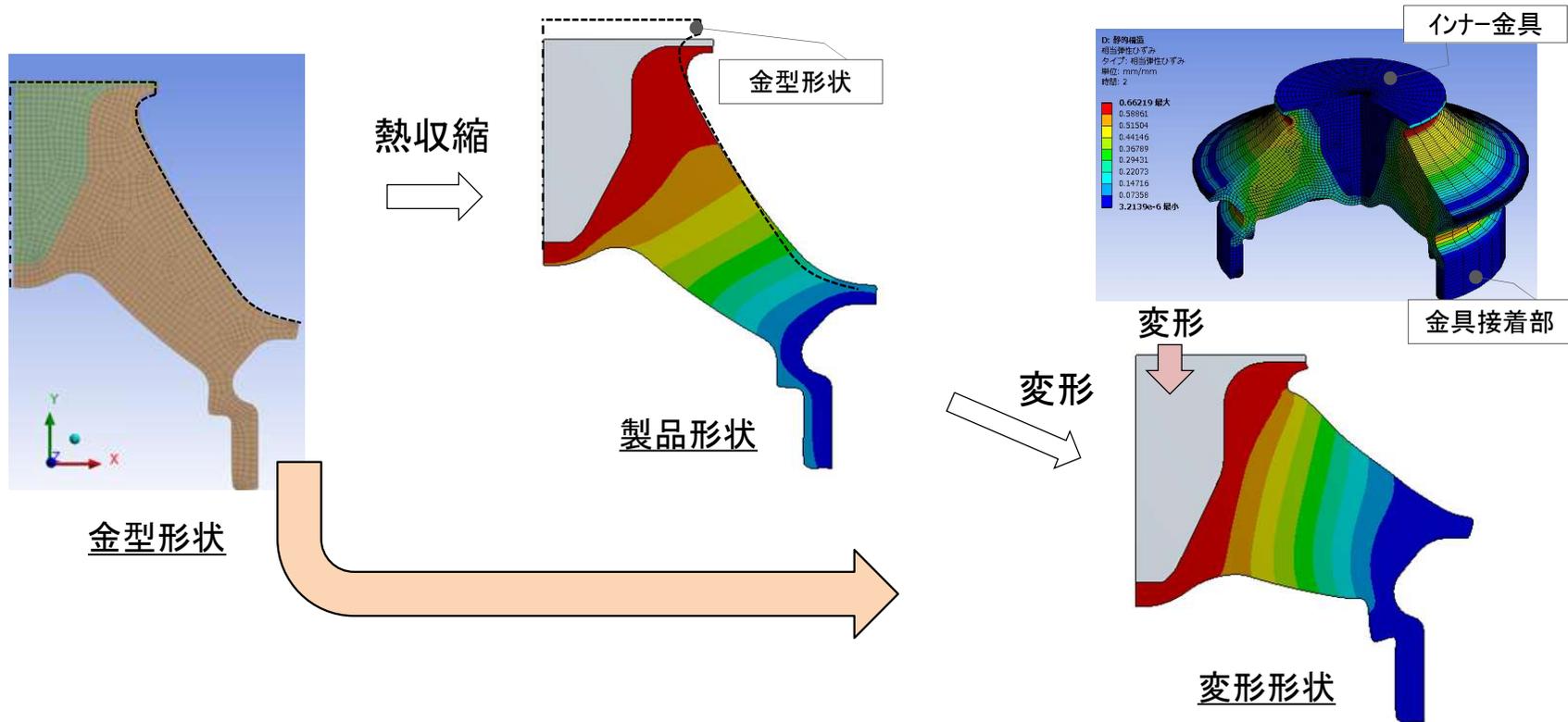
金型形状を初期形状として、熱収縮から変形解析への熱-応力連成解析とすることが基本。

**精度が格段に向上**



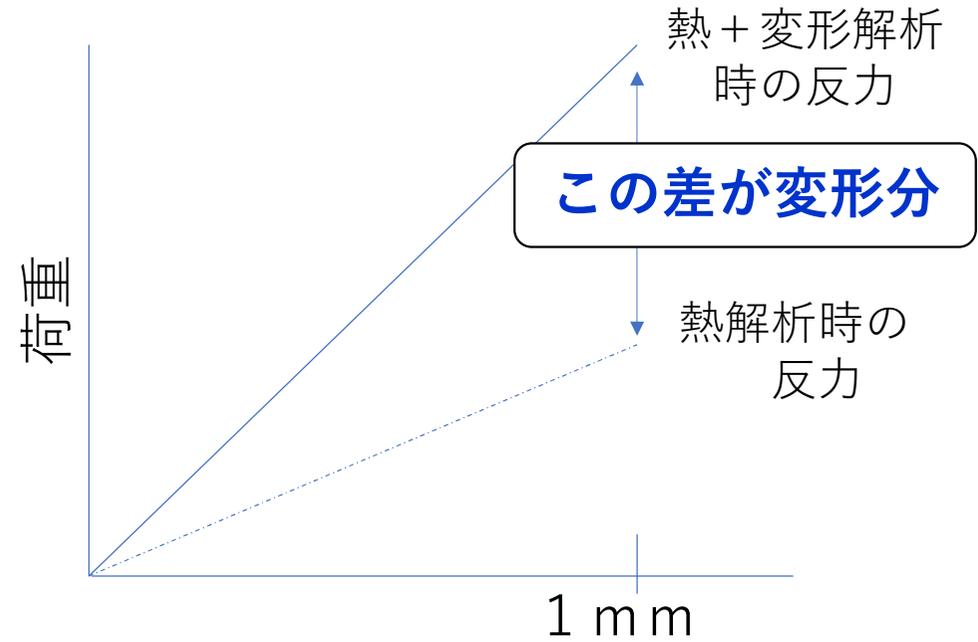
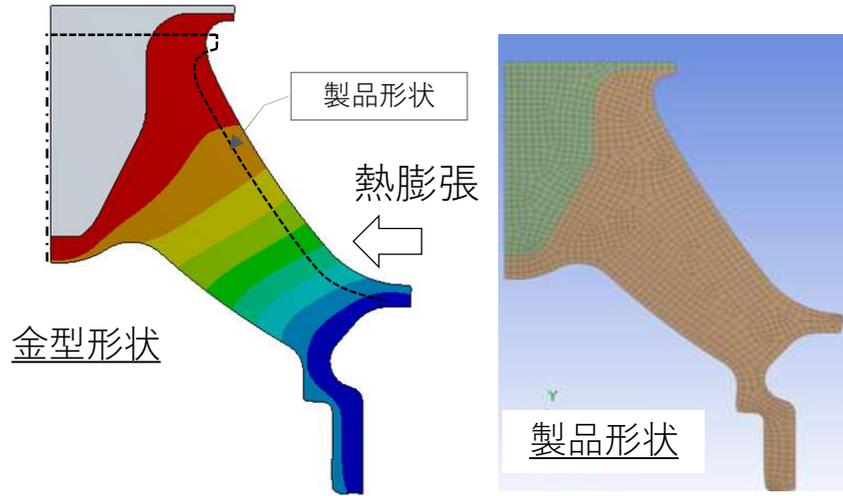
線形ソフトでもゴムの非線形解析が可能

# 熱 + 変形解析 = 非線形解析



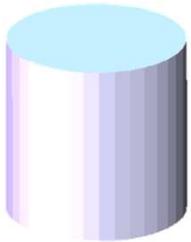
1段階で解析できるものは 線形ソフトで解析可能

# 金具接着タイプは基本として熱膨張 ⇒ひずみキャンセル

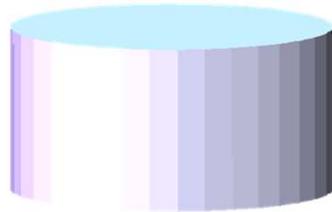


## ゴム単体製品はそのまま解析

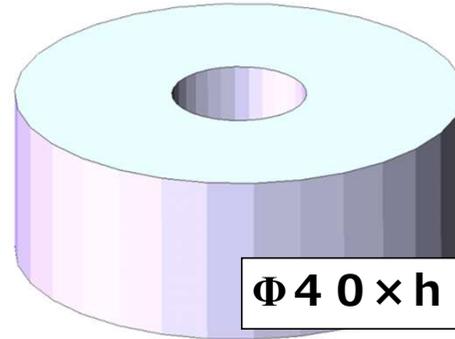
他の条件が入っても、この差ができるよう条件付け



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



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



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

## 効率化の概要

材料データ・解析予測精度を基本として、自動化の推進、教育・マニュアル化により効率化が可能。

材料データ構築

CADモデリング

解析  
結果処理まで

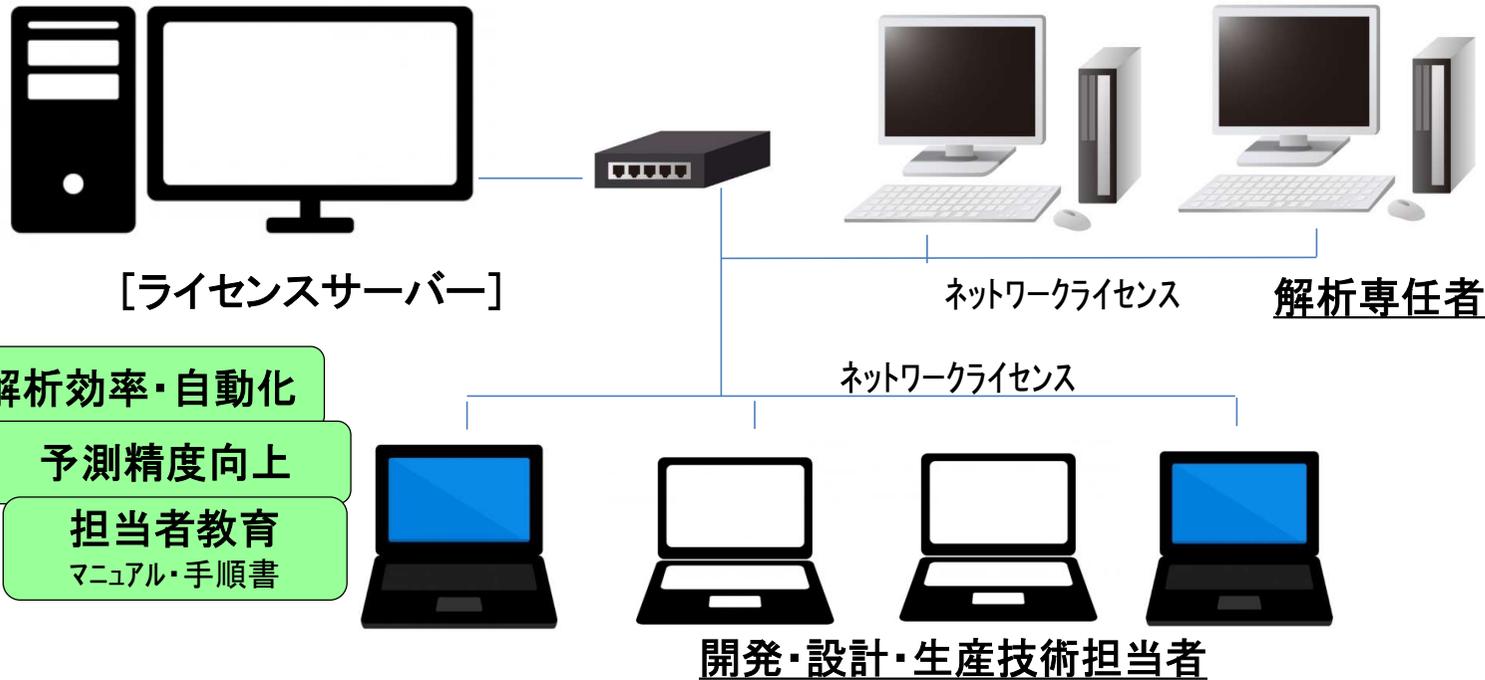
開発・設計者解析  
マニュアル&教育

メッシング  
(自動メッシュに依存)

リバースエンジニアリング

解析予測精度/基本(ベース)

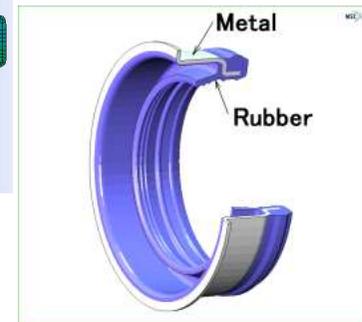
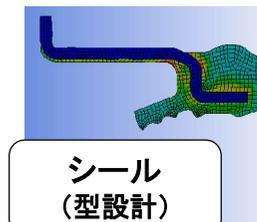
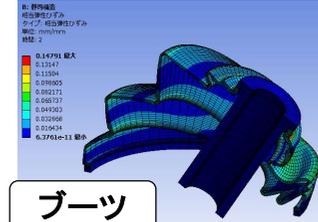
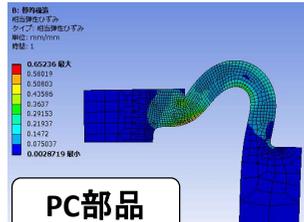
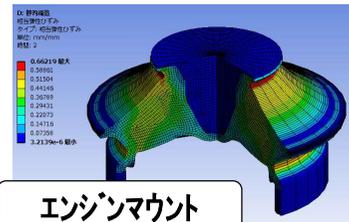
# 解析環境の整備から開発担当者による解析



解析効率・自動化

予測精度向上

担当者教育  
マニュアル・手順書



## 様々な受託解析

1社目  
2人体制で月数百モデル  
↓  
自動化・マニュアル・教育  
設計・開発者解析  
⇒開発的時間の捻出

2社目  
7名で1日数モデル  
↓  
材料データ一新  
予測精度確保  
↓  
自動化の推進

解析予測精度向上と自動化により

開発・設計担当者が30分程度で解析可能な環境を整えられます。

## 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](mailto:hagi@terakoya2018.com)

# 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](mailto: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

コロナ社

## 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。
- 費用は圧縮できます。