

# CAE実践活用セミナー

**CYBERNET**

**Ansys** / CERTIFIED  
ELITE CHANNEL /  
PARTNER

## ■ Ansys により広がるシミュレーションの世界

### 1. Ansys全般の紹介

- 製品がカバーしている幅広い物理領域の解析機能のご紹介



Mechanical



Fluids



Electronics

LS-DYNA / Multiscale.Sim

### 2. Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

### 3. Ansys の活用事例の紹介

- 熱関連を中心とした事例、スポット溶接などの連成解析、低次元化を利用した3D解析などをご紹介

### 4. DEMO

### 5. 質疑応答

## ■ Ansys により広がるシミュレーションの世界

### 1. Ansys全般の紹介

- 製品がカバーしている幅広い物理領域の解析機能のご紹介



Mechanical



Fluids



Electronics

LS-DYNA / Multiscale.Sim

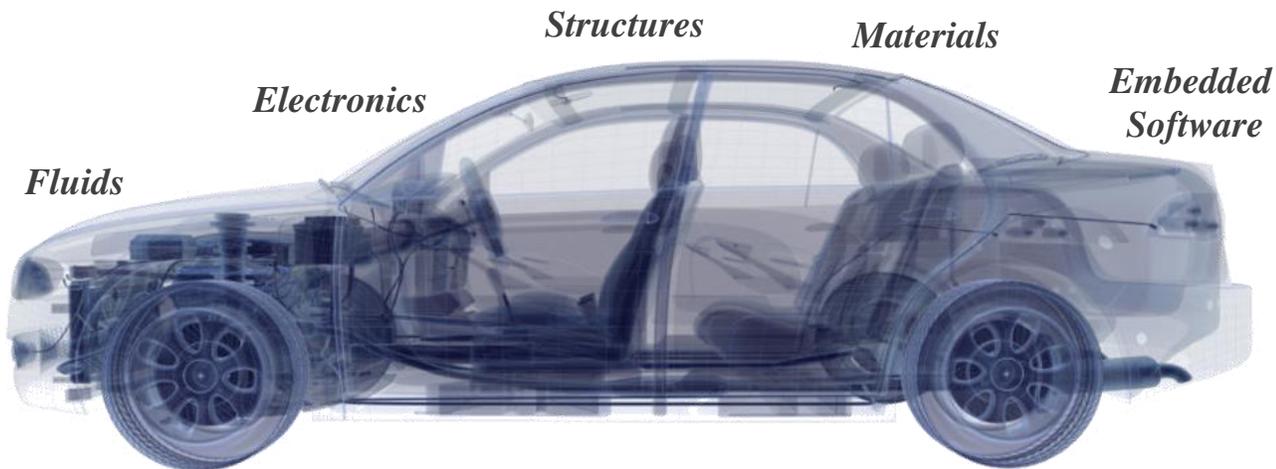
### 2. Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

### 3. Ansys の活用事例の紹介

- 熱関連を中心とした事例、スポット溶接などの連成解析、低次元化を利用した3D解析などをご紹介

### 4. DEMO

### 5. 質疑応答



## マルチフィジックス

構造  
熱流体  
電磁場  
システム  
など幅広い分野に対応



## 世界中で利用

全世界の顧客数

**40,000** 以上

## 幅広い業界で活用

Fortune誌が選ぶ上位500企業のうち  
多くの企業が活用し、業界の分野も多岐  
にわたる

自動車	エネルギー
電気電子	医療工学
航空宇宙	建築・土木
消費財	ヘルスケア
スポーツ	材料・化学処理
ターボ機械	防衛

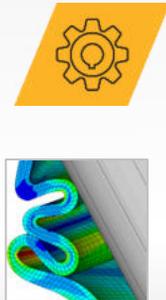


<https://www.ansys.com/company-information>

## Ansysの代表的な製品構成

### メカニカル ソリューション

静的構造解析  
線形動解析  
非線形動解析  
衝撃解析  
伝熱解析  
疲労解析  
トポロジー最適化  
など



### 熱流体 ソリューション

汎用熱流体解析  
電気電子機器熱流体解析  
回転機械流体解析  
樹脂流動解析  
など



### エレクトロニクス ソリューション

電磁界解析：  
Sパラメータ抽出  
寄生パラメータ抽出  
SI、PI、EMI解析  
サージ解析  
など



### 設計者向け ソリューション

構造・伝熱・磁場・熱  
流体解析など



### 追加オプション

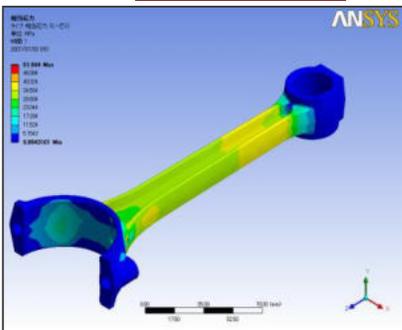
モデル作成・修正ツール  
並列計算モジュール  
材料データ選定・分析ツールなど

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

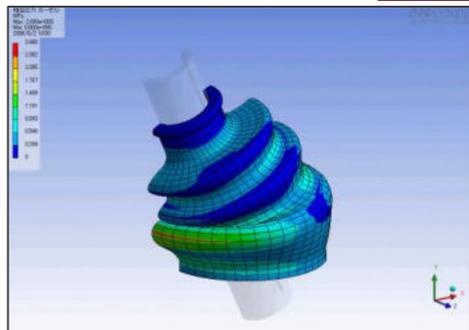
## Ansyes Mechanical Enterprise

### 線形解析

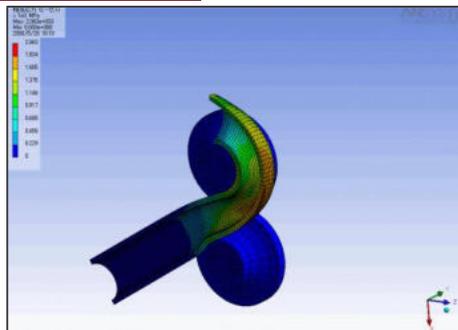


線形構造解析

### 非線形線形解析

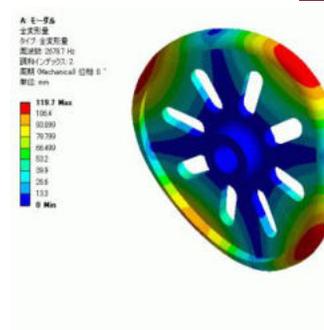


超弾性+自己接触+幾何学非線形

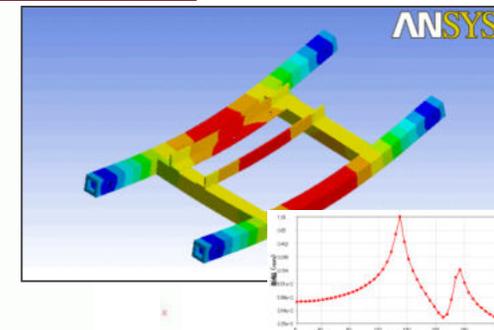


塑性+幾何学・接触非線形

### 線形動解析

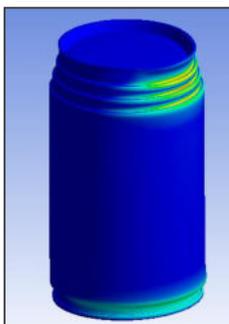


モーダル解析

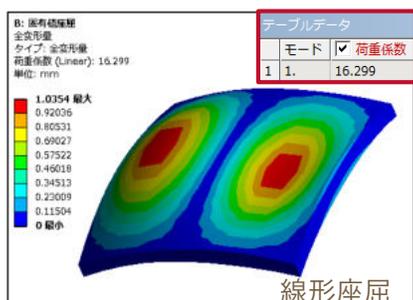


周波数応答解析

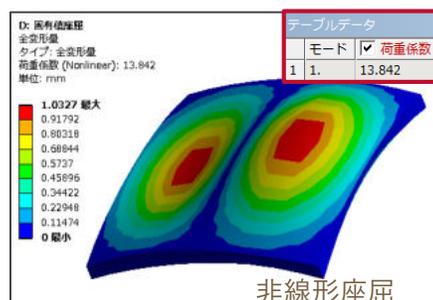
### 座屈解析



### 非線形座屈解析



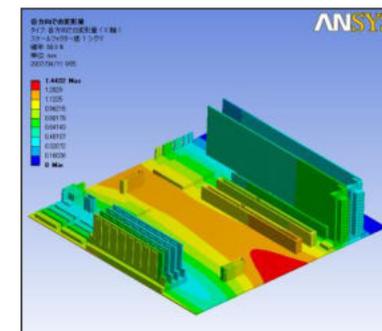
線形座屈



非線形座屈

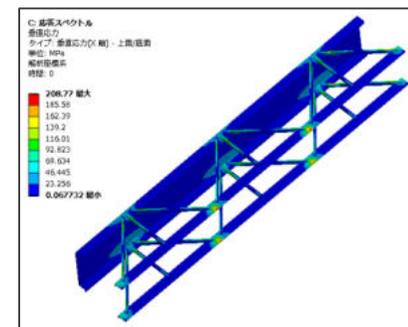
線形座屈と非線形座屈の比較

- 構造物の非線形性を考慮して座屈荷重を求める解析
- 考慮できる非線形特性
  - 幾何学的非線形
  - 材料非線形
  - 非線形接触
  - 非線形パネ/ジョイント



ランダム振動解析

- ランダムな振動荷重に対する構造の応答を求める解析
- 確率統計的な結果を出力



スペクトル応答解析

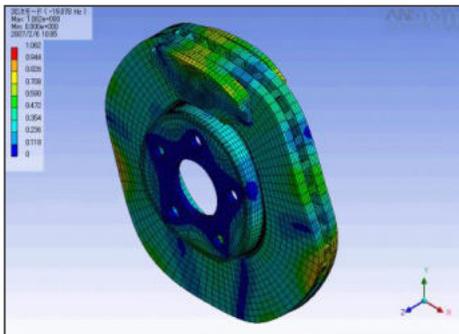
- 地震波のように多くの周波数成分を含む過渡的励振条件に対する構造の応答を求める解析

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

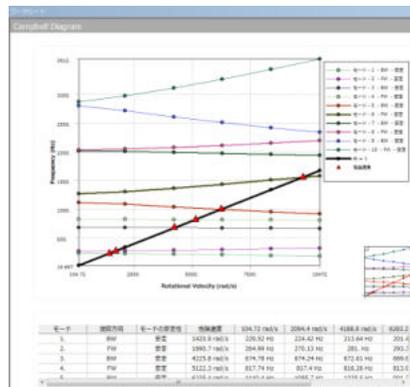
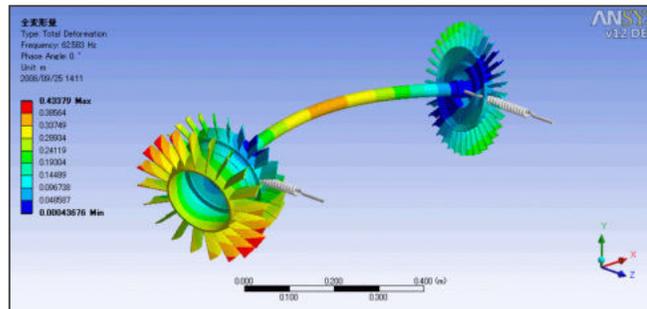
## Ansyes Mechanical Enterprise

### 線形動解析

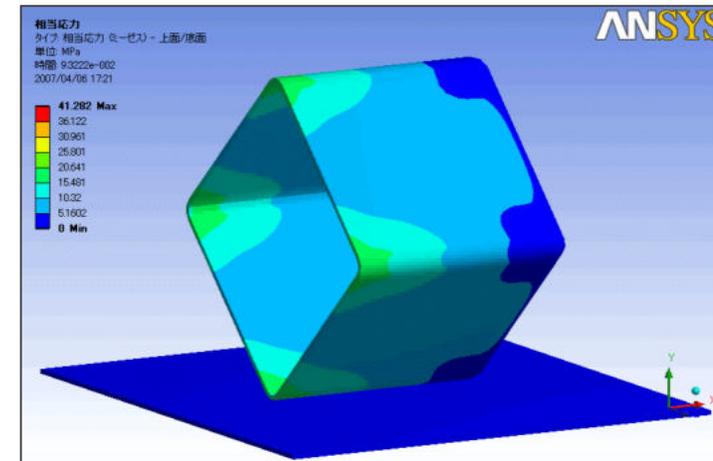
■ 自励振動などで利用される減衰を考慮したモーダル解析



■ 回転体の危険回転速度を予測する解析



### 非線形動解析



# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## Ansys Mechanical Enterprise

### 定常伝熱解析

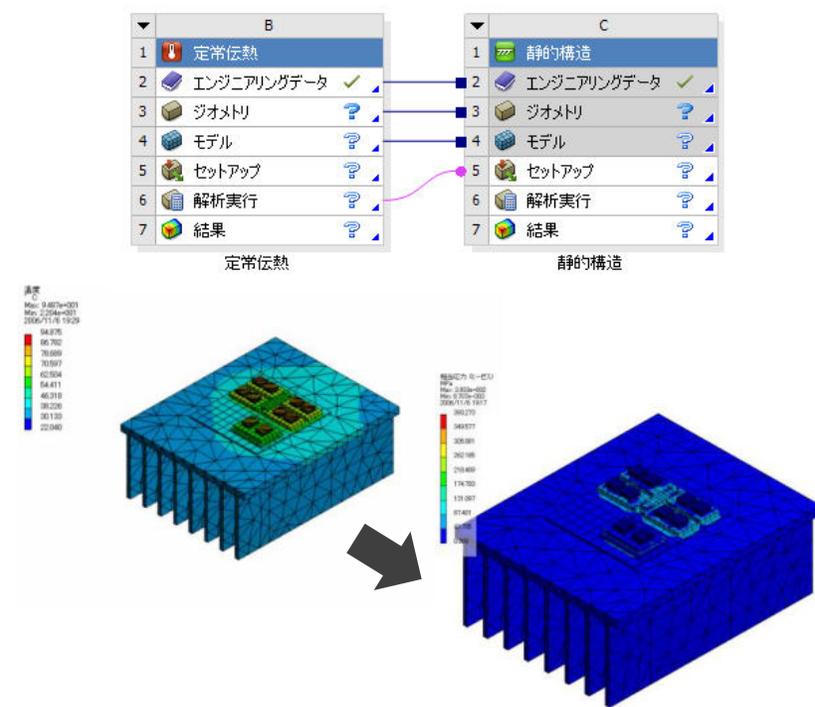
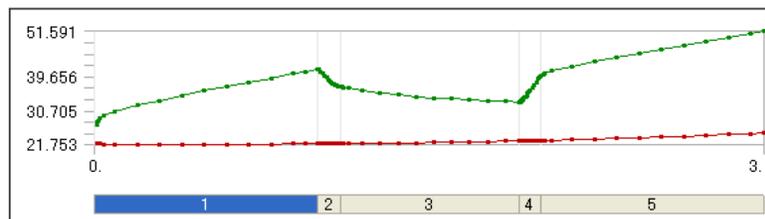
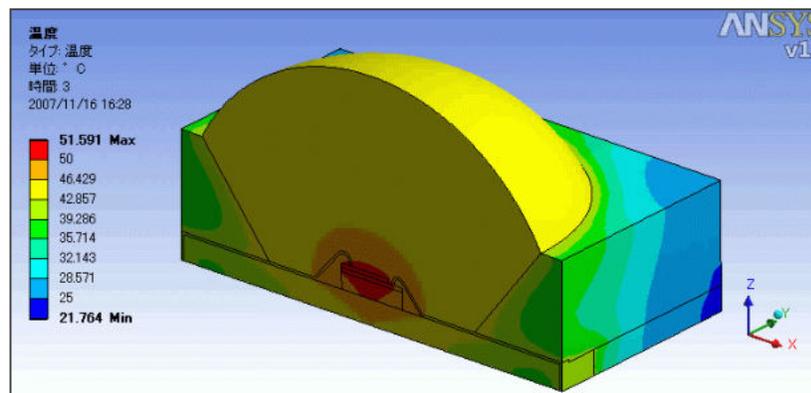
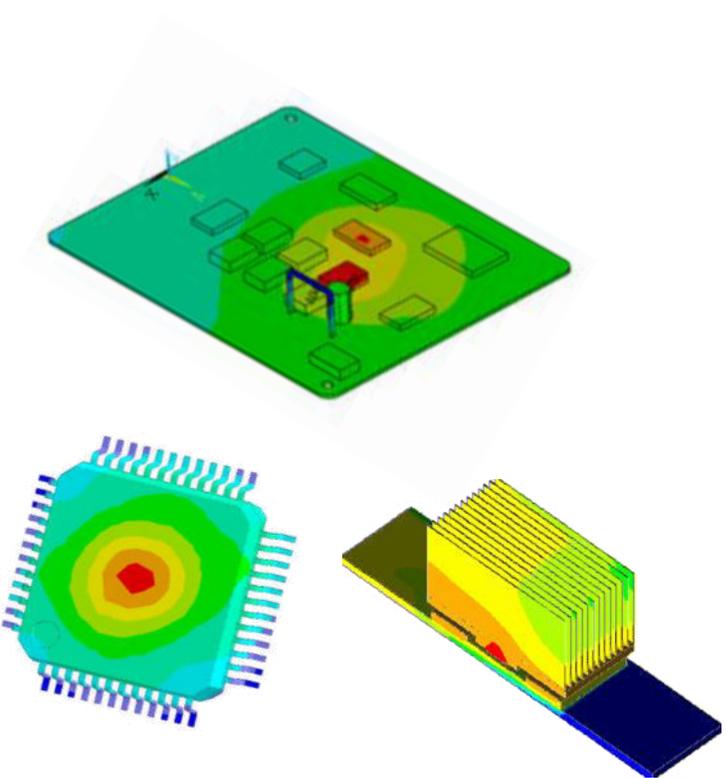
- 定常状態における温度分布、熱流束を求める解析
- 温度依存性を考慮した非線形伝熱解析
- 熱輻射を考慮した非線形伝熱解析

### 非定常伝熱解析

- 温度が時間によって変化する解析
- 熱輻射を考慮した解析

### 伝熱-構造解析

- 伝熱解析によって求められた温度分布を構造解析の荷重条件として適用した熱応力解析

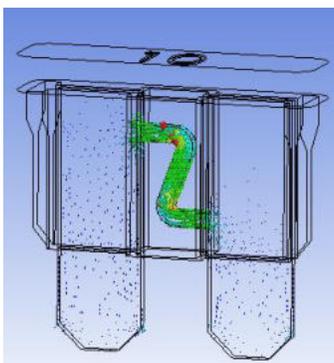


# Mechanical製品の解析機能のご紹介

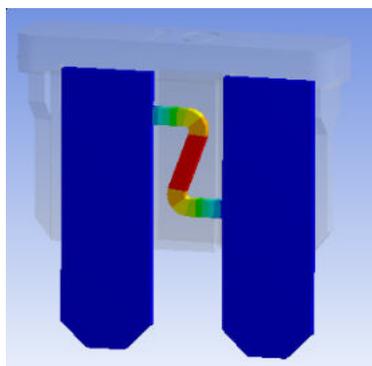
## Ansyes Mechanical Enterprise

### 電流-伝熱解析

- 導体内に流れる電流による発熱と、それによる熱伝導の計算を同時に行う解析

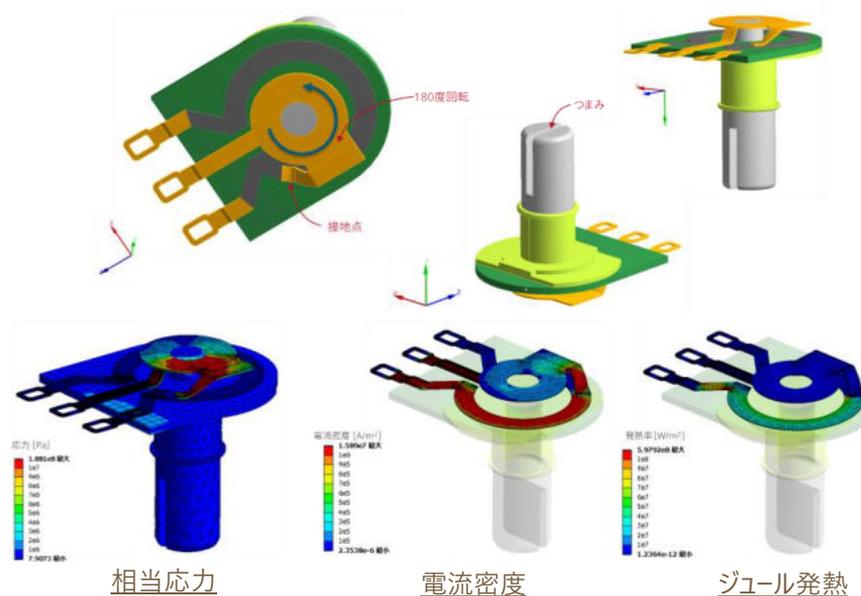


電流密度ベクトル



ジュール発熱

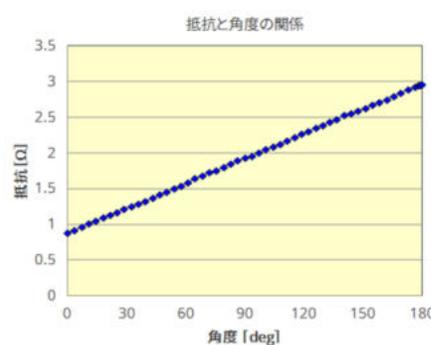
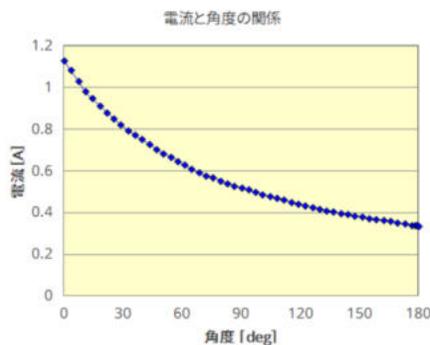
### 電流-構造解析



相当応力

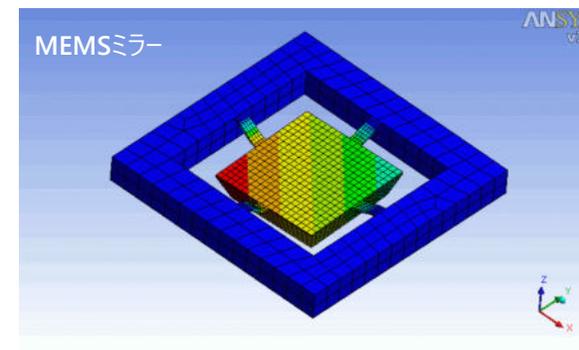
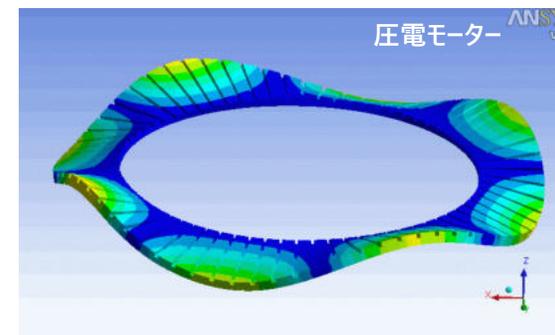
電流密度

ジュール発熱



### 圧電解析

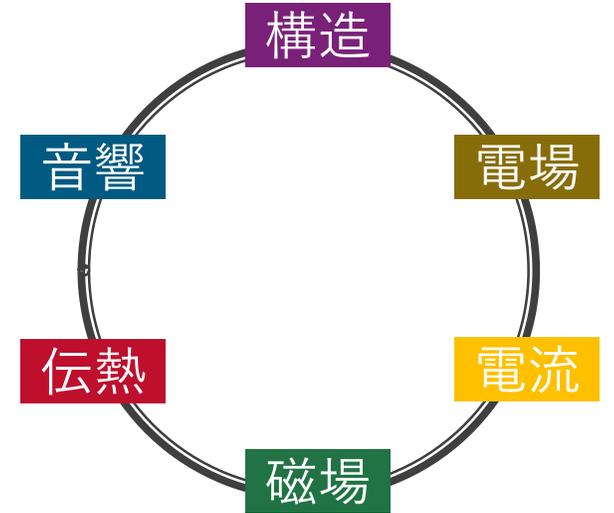
- 圧電体をモデル化し、電極に生じる電圧差による変形状態や振動特性を求める解析



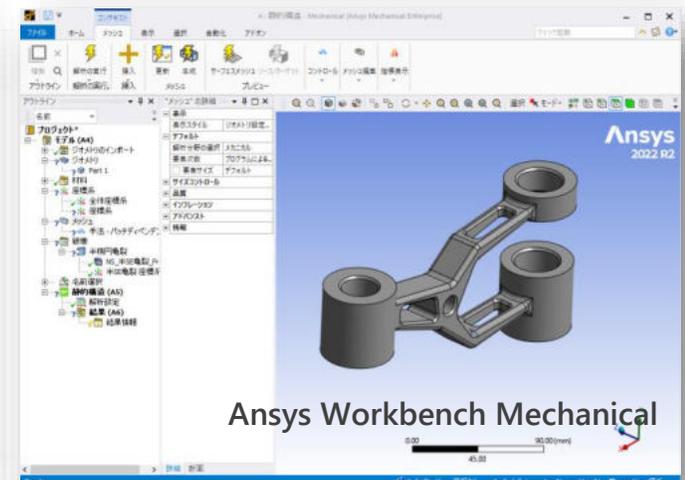
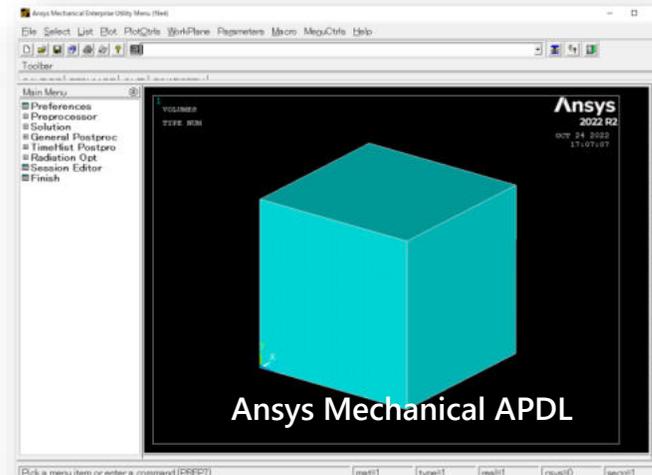
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Mechanical Enterprise

- ▶ Ansys Mechanical 構造のみに特化したソルバーではなく、  
Mechanicalのソルバー単体でマルチフィジックスのFEMの解析が可能。
- ▶ Mechanicalソルバー内でそれぞれの場を弱・強連成することが出来るため、ソルバーを跨がずスムーズな連成解析ができる
- ▶ Mechanical APDL(コマンドベース)とWorkbench Mechanicalの  
2つの環境でそれぞれ特徴のある使い方ができ、それぞれ特徴を持つ。



マルチフィジックスの内容については、  
次の章で深堀します。



# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Mechanical APDL

- ▶ GUIでも操作可能。基本的には、コマンドでインプットを作成し解析を実行する。
- ▶ プリミティブな形状やパラメータを変更して同じ処理をする場合、非常に使いやすい。
- ▶ Ansys APDLのすべての機能が利用できる。
  - Workbench Mechanicalでは標準で搭載されていない機能や、要素、材料モデルなども利用できる。特に連成系。
  - Workbenchでは、コマンドで対応することが可能(APDLの知識が必要)
- ▶ メッシングや結果の動画再生、境界条件の設定等は不得手

インプット例

```
Finish
/clear

w1 = 1e-3
h1 = 2e-3
h2 = 1.3e-3

/prep7

Block, 0, 1, 0, w1, 0, h1
Block, 0, -1, 0, w1, 0, -h2
.
.
.

Solve

/post1

Set, last
Plnsol, s, eqv
```

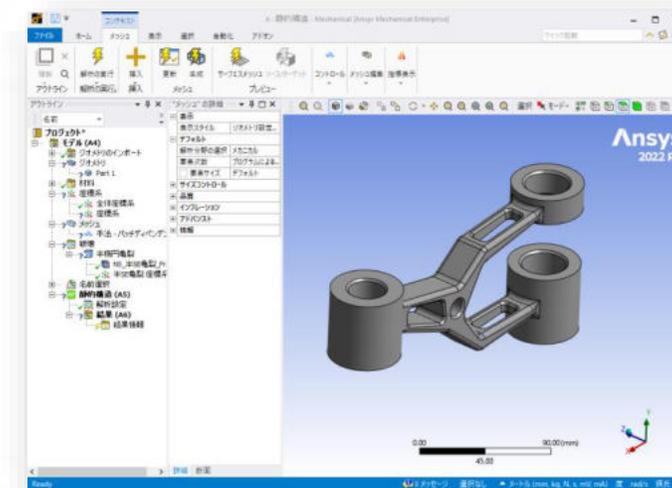
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Workbench Mechanical

- ▶ GUIの操作が非常に簡単で、初回の設定は非常にスピーディに設定できる。  
⇒ 簡単な構造解析のDEMO
- ▶ 解析の形状は、CADファイルを読み込む。
  - APDLと違い、ソリッドデータを作成することはできない。
- ▶ 非線形解析時のトラブルシューティングが容易。
- ▶ トポロジー最適化、剛体運動、疲労解析、陽解法、設計調査など、Mechanical APDLでは利用できない機能が利用可能。
- ▶ 安定した解析環境が提供されるため、プログラムにより知らずに、意図しない設定が入る場合がある。
- ▶ 搭載されていない機能を利用する場合、コマンドによる操作が必要

A	
1	静的構造
2	エンジニアリングデータ ✓ 材料
3	ジオメトリ ✓ CAD(形状)データ
4	モデル ? 有限要素モデル
5	セットアップ ? 境界条件
6	解析実行 ⚡ 解析実行
7	結果 ⚡ ポスト処理

静的構造

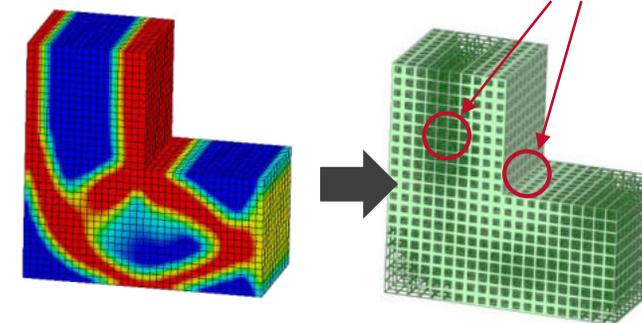


# Mechanical製品の解析機能のご紹介

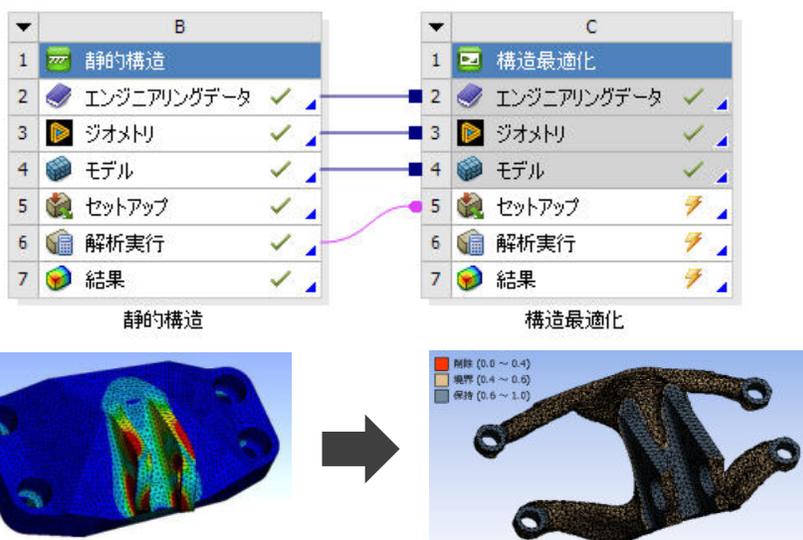
## トポロジー最適化 / 形状最適化 / ラティス最適化

- 構造物の位相を設計変数とし、重量やコンプライアンスなどの目標を定め、制約条件に基づき最適解を導く解析
- 必要な剛性を確保し不要な領域を削減した形状を求める
- 最適化した形状は**STL形式で出力可能**
- 静的構造解析、モーダル解析、定常伝熱解析、またはこれらを組み合わせで利用可能

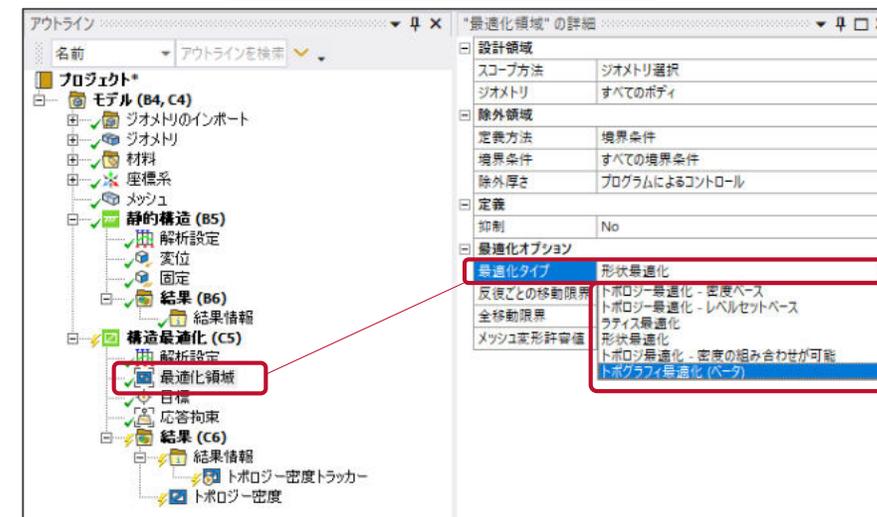
応力が低い箇所は低密度、応力が高い箇所は高密度にラティス構造を生成



※ ラティス最適化はMechanical Enterprise のほかに Additive Suite ライセンスが必要

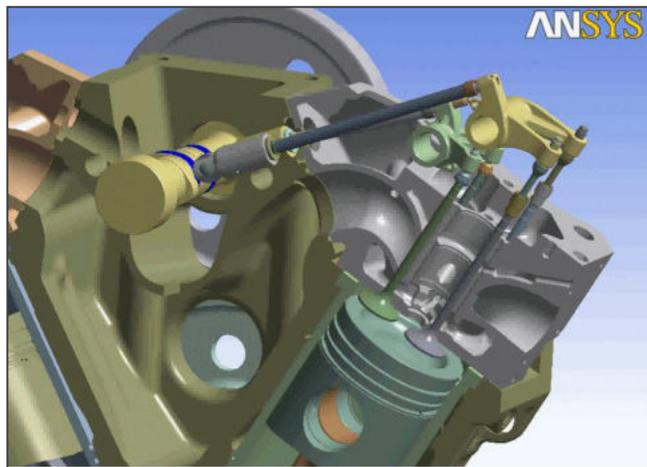


## 最適化タイプの指定位置



## 剛体運動解析 / Ansys Motion

- 自動車やロボットなど、動作を伴う製品の運動特性を求める解析
- 剛体挙動の把握にとどまらず、機構運動中の変形や応力変化の追跡も可能
- Ansys Motionは大規模接触モデルを安定かつ高速に解くための専用ソルバーを搭載。また、**弾性体モデルは線形、非線形の両方をサポート、FMUの出力可能**



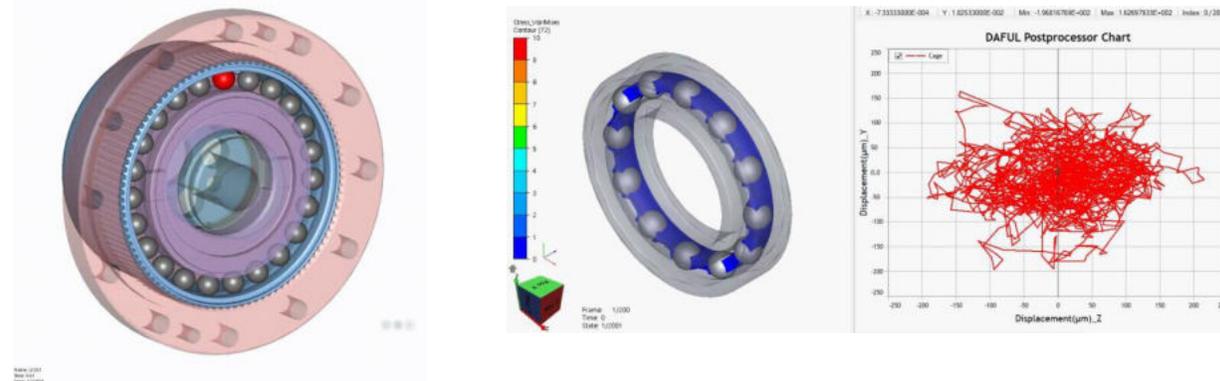
バルブエンジンの剛体運動解析

※Mechanical Enterpriseで利用可能

## Ansys Motion

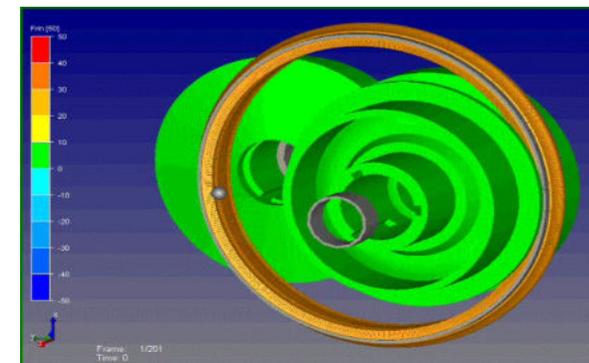
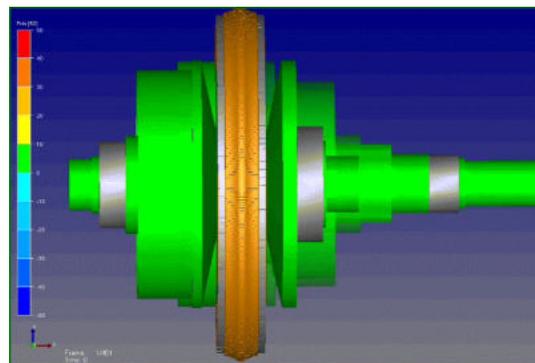
※別途 Ansys Motionライセンスが必要

Workbenchへの実装も進んでおり、ある程度の内容はMechanical上で設定可能



外歯を弾性体でモデル化した  
波動歯車減速機

ボールベアリング3回転分の計算  
(解析時間：約2時間)

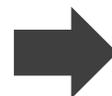
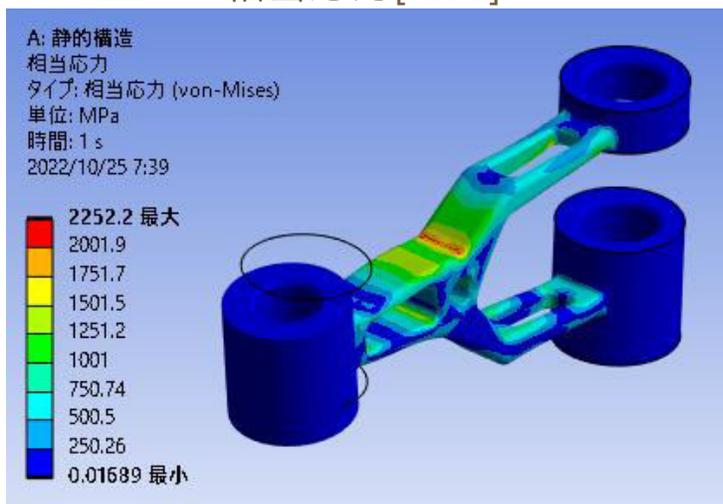


非線形の弾性体でモデル化した波動歯車減速機

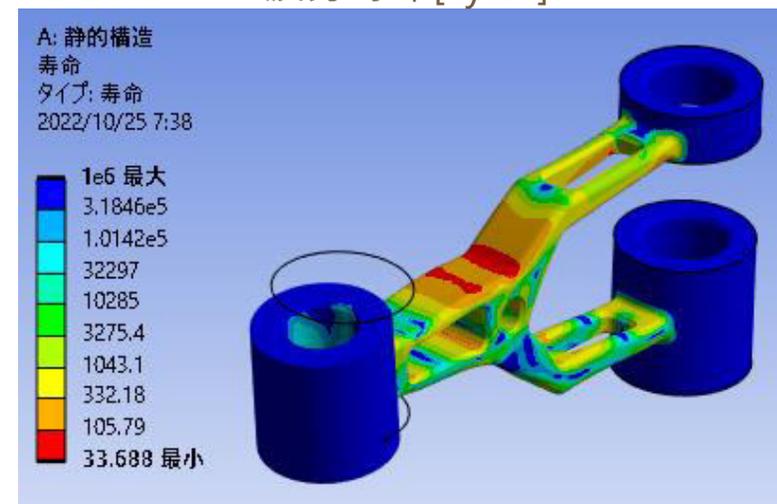
## 疲労解析

- 応力と寿命／ひずみと寿命の関係を使用して、**寿命**や**損傷度**、**安全率**などを評価する解析
- 高サイクル疲労(応力寿命)、低サイクル疲労(ひずみ寿命)、振動疲労、溶接疲労(スポット、シーム溶接)※、高温疲労※、破壊力学※  
※ nCode DesignLife のみ対応
- 平均応力修正理論を搭載
- 様々な繰り返し荷重条件に対応、多彩な結果評価

相当応力[MPa]



疲労寿命[cycle]

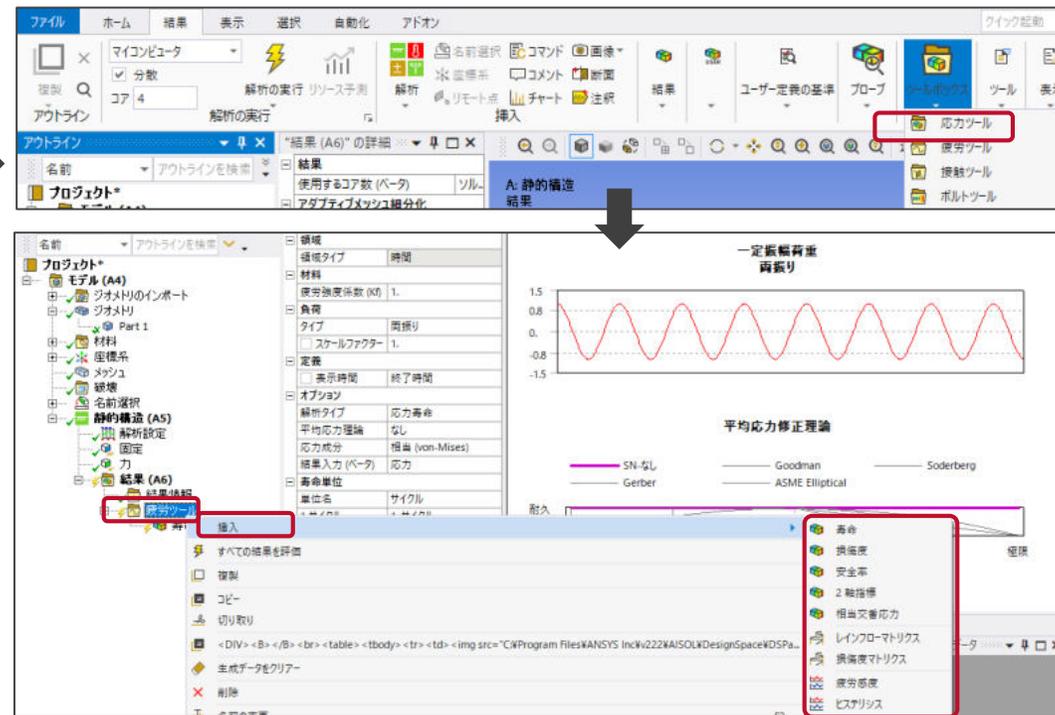
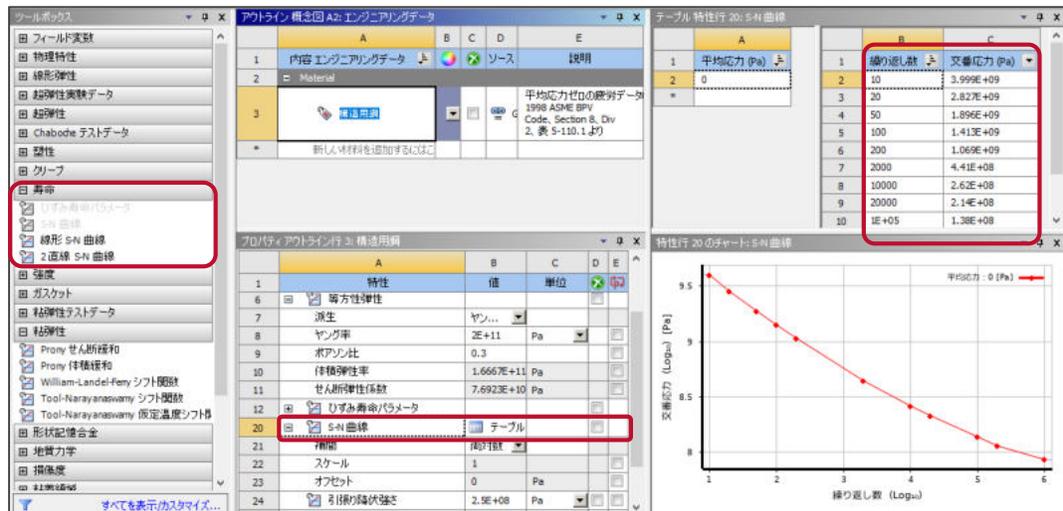


# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 疲労解析

利用方法：

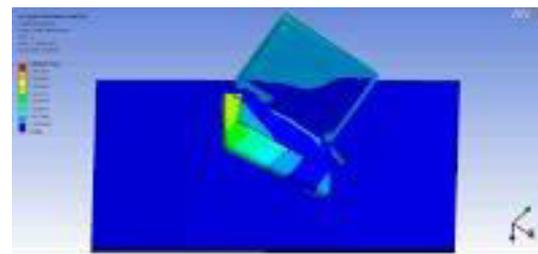
- ① エンジニアリングデータで、材料に"寿命"の項目を追加
- ② 解析(静的構造、周波数応答、ランダム振動など)を実行
- ③ 結果タブをクリックし、[ツールボックス] > [疲労ツール]を選択
- ④ 詳細ビューにて、両振りか片振りかなどを指定する。
- ⑤ 確認した疲労寿命の項目(寿命、損傷度、安全率など)を追加



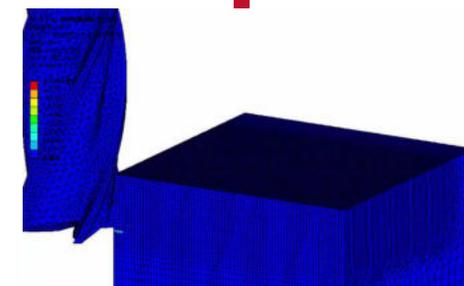
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 陽解法(Mechanical Enterprise)

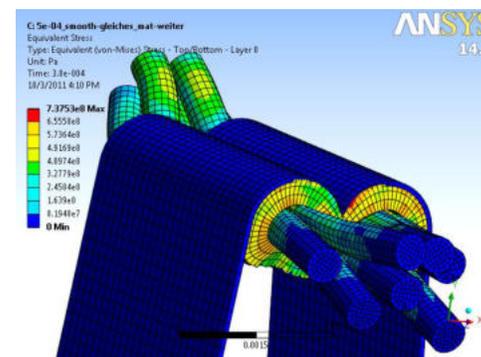
- ▶ ANSYS構造解析のハイエンドプロダクト
  - 陽解法動解析機能はAUTODYNの機能制限版
- ▶ Workbench Mechanical 環境で動作し、使いやすい操作環境で落下・衝突解析問題に対応可能
- ▶ 使用可能な解法
  - ラグランジュ、ラグランジュ-オイラー連成
- ▶ Workbench Mechanical の静的構造解析と連携が可能⇒初期状態の作成等で利用
- ▶ 得意とする解析分野
  - 座屈、限界荷重問題
  - 落下・衝撃解析



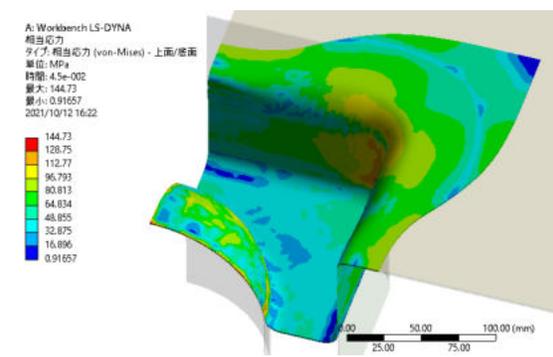
落下/衝突



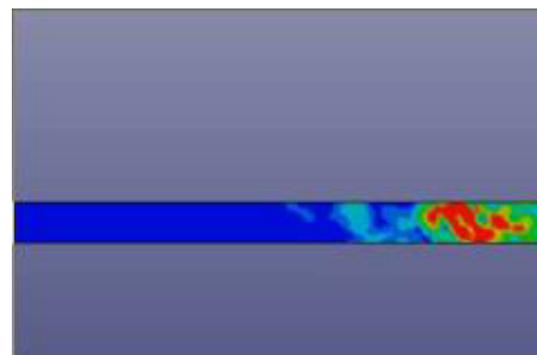
破壊/切断



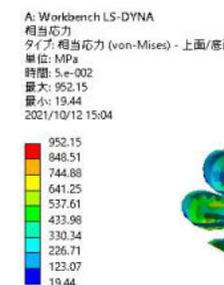
複雑な接触問題



大変形問題



衝撃/応力波



非線形座屈

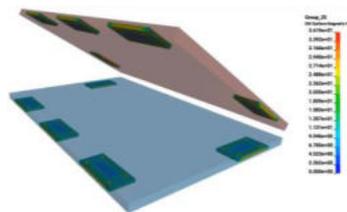
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

H	
1	LS-DYNA
2	エンジニアリングデータ ✓
3	ジオメトリ ?
4	モデル ?
5	セットアップ ?
6	解析実行 ?
7	結果 ?

LS-DYNA

## ■ 陽解法(LS-DYNA)

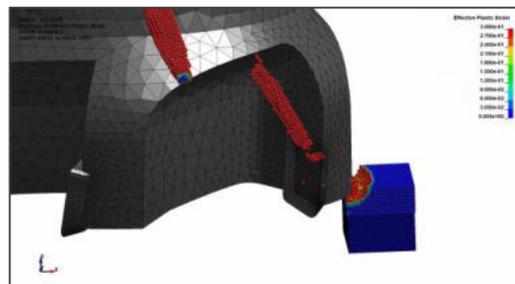
- ▶ Ansys LS-DYNAライセンスが必要
- ▶ Ansys Inc.が開発している実績豊富で非常に高速な陽解法ソルバー、2021R1から Workbenchの標準機能として実装
- ▶ Ansys LS-DYNAは、マルチフィジックスのソルバーで構造※、伝熱、電磁場、流体※、粉体、音響など広範囲をカバー
  - ※ Workbench Mechanicalで設定可能な部分、その他のフィールドは、コマンドを挿入する or フリーのプリポストIs-prepostを利用することで使用可能
- ▶ Mechanical Enterpriseとの大きな違いは利用可能な手法：FEM、BEM(音響・磁場)、SPH、SPG、DEM、ALEなど



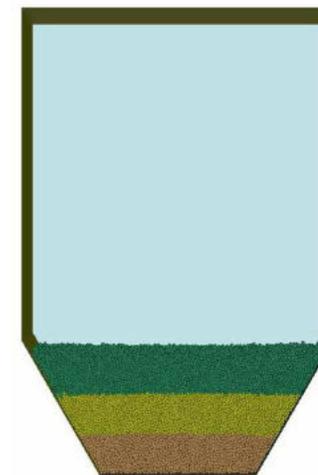
磁石のチャック(BEM)



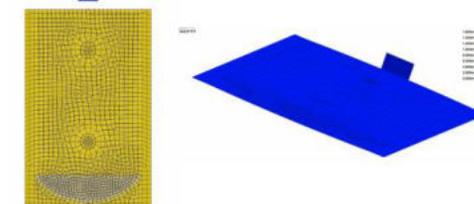
自動車の追突解析



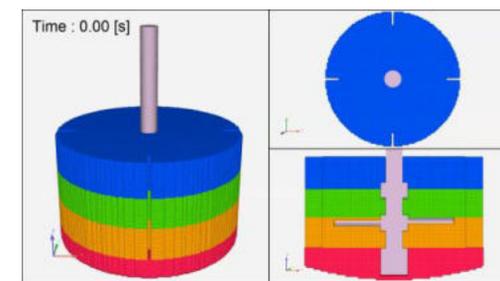
フライスの切削(SPG)



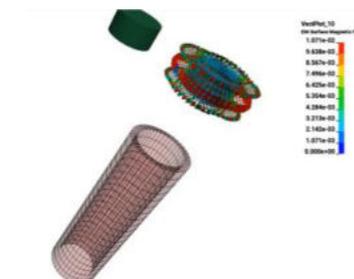
流動層(粉体連成)



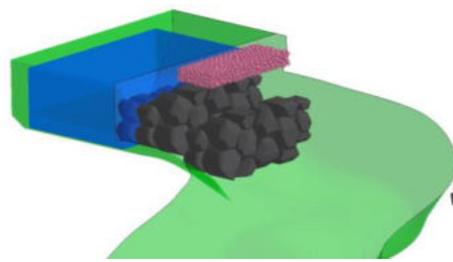
パウチ 容器の応力解析



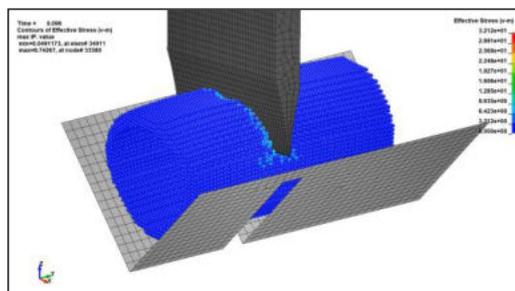
攪拌



銅管内の磁石の落下(BEM)



土石流(FEM+ALE+DEM)



樹脂の切断(SPH)

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 設計調査と最適化解析

### ▶ パラメータ相関解析

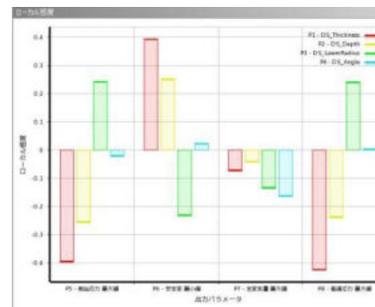
- パラメータの結果への影響を調査し、相関、感度結果を得る解析
- 設計ポイント自動生成が可能

### ▶ 最適化解析

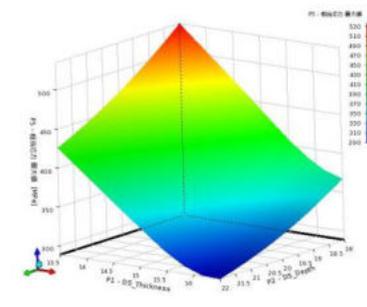
- 目標・制約に応じた最適なパラメータの候補を提案する解析
- 単目的、多目的最適化（トレードオフ）に対応
- 実験計画法を利用して応答曲面を生成し、最適化解析に利用することが可能

### ▶ シックスシグマ解析

- 入力パラメータのバラつきによる結果への影響を調査する解析



感度チャート



応答曲面

テーブル 概念図 D2: 最適化						
1	A	B	目標		制約	
			タイプ	ターゲット	タイプ	下限値
3	P7を最小化	P7 - 実形量ブローブ最大-Y軸	最小化		制約なし	
4	P11を最小化	P11 - ジオメトリ質量	最小化		制約なし	
5	P9 <= 2E+08 Pa	P9 - 相当応力 最大値	目標なし		値 <= 上限値	2E+08
6	P10 <= 2E+08 Pa	P10 - 相当応力 最大値	目標なし		値 <= 上限値	2E+08
7	P8	P8 - 実形量ブローブ最大-X軸	目標なし		制約なし	
*			パラメータを選択			

	A	B	C	D
1	最適化検討			
6	最適化手法			
10	候補ポイント			
11		候補ポイント 1	候補ポイント 2	候補ポイント 3
12	P1 - half_width1	0.040386	0.045333	0.045333
13	P2 - half_height1	0.2866	0.28313	0.25992
14	P4 - width1	0.29809	0.28323	0.28323
15	P5 - height1	0.12756	0.12787	0.12728
16	P7 - 実形量ブローブ最大-Y軸 (m)	★★ 0.04212	★★ 0.044461	★ 0.051619
17	P8 - 実形量ブローブ最大-X軸 (m)	0.091662	0.1062	0.10676
18	P9 - 相当応力 最大値 (Pa)	★★ 1.1137E+08	★★ 1.1719E+08	★★ 1.2814E+08
19	P10 - 相当応力 最大値 (Pa)	★★ 1.7552E+08	★★ 1.9467E+08	★★ 1.9568E+08
20	P11 - ジオメトリ質量 (kg)	→ 15574	★ 15402	★ 15020

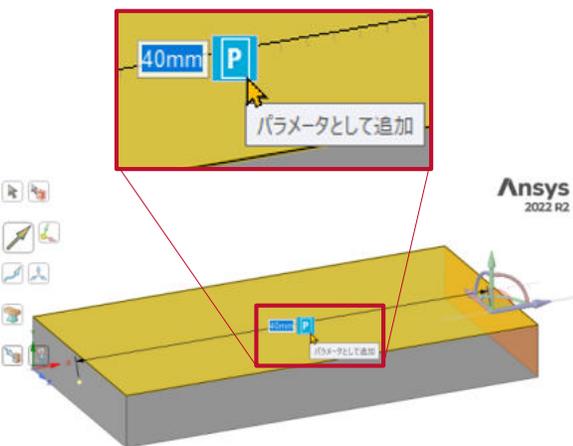
決定支援処理（設計者の意図に沿った最適解の提示）

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 設計調査と最適化解析

- ▶ Workbenchでは、形状や材料、境界条件や結果を変数として登録できる。これを利用して設計調査や最適化解析を実施可能。

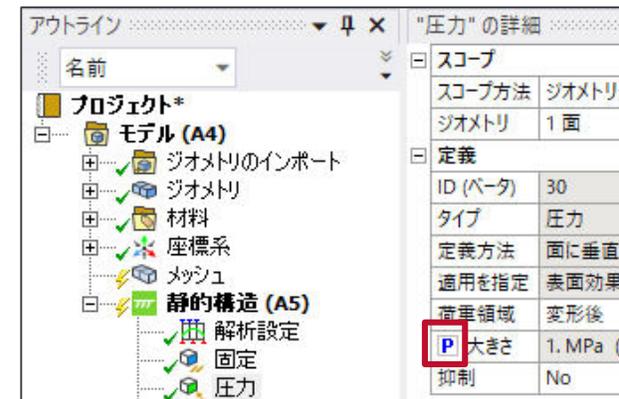
### ▶ 入力パラメータ



寸法パラメータ

	A	B	C	D	E
1	特性	値	単位	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	材料フィールド変数	テーブル			
3	密度	7850	kg m <sup>-3</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	等方性平均線膨張係			<input type="checkbox"/>	
5	線膨張係数	1.2E-05	C <sup>-1</sup>	<input type="checkbox"/>	
6	等方性弾性			<input type="checkbox"/>	
7	派生	ヤング率...			
8	ヤング率	2E+11	Pa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	ポアソン比	0.3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

材料物性パラメータ



荷重条件パラメータ



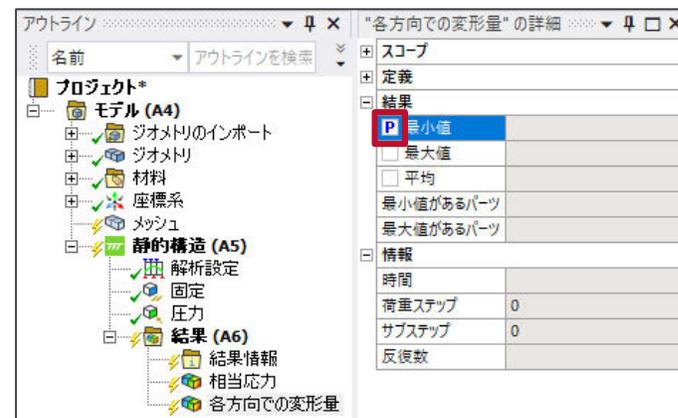
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 設計調査と最適化解析

### 出力パラメータ



最大応力の出力パラメータ



最小変位の出力パラメータ

- 設計調査や最適化を実施するには、入力・出力パラメータが双方設定されている必要がある



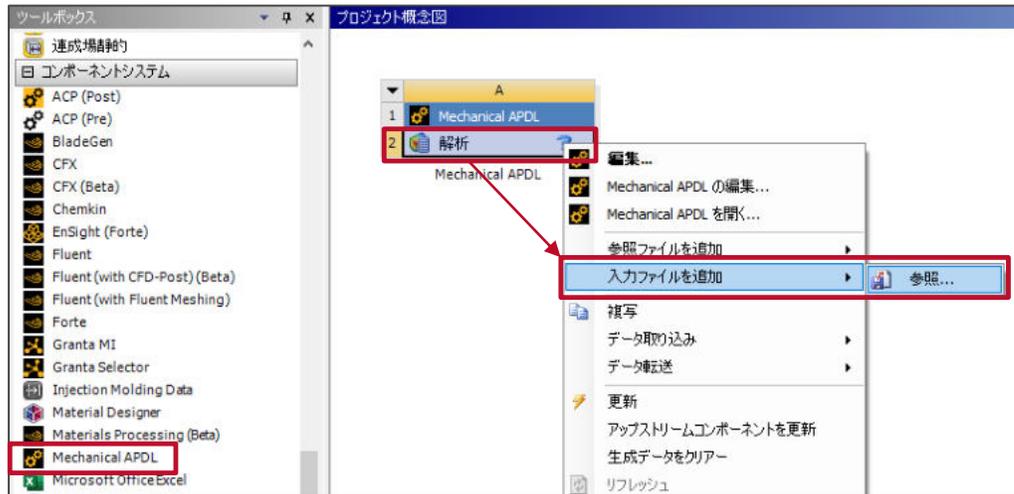
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 設計調査と最適化解析

- ▶ 現在、Mechanical APDLをインプットファイルでご利用いただいている方も、コンポーネントシステムの中にあるAPDLシステムを利用することで、設計探査や最適化機能を利用することが出来る
- ▶ APDLシステムにインプットファイルを設定し、Workbenchでパラメータに設定したい項目にチェックを入れる。その際、入力は“Input”側に、出力は“Output”に設定

### 作業手順

①

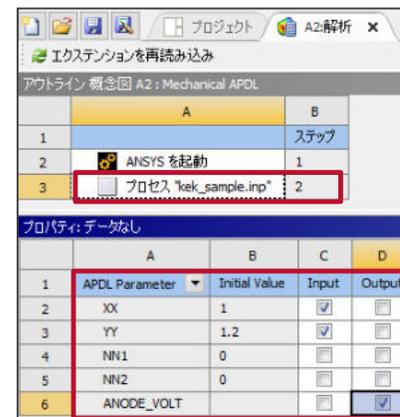


②



セルをダブルクリック

③



# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 設計調査と最適化解析

- ▶ パラメータセットをダブルクリックし、設計ポイントに計算する値を入れ、**すべての設計ポイントを更新** ボタンをクリックすることですべての変数の計算が実行される。青枠のチェックがない設計ポイントの結果ファイルは削除される

静的構造

パラメータセット

ID	パラメータ名	値	単位
1	入力パラメータ		
3	静的構造 (A1)		
4	P1	ヤング率	2E+11 Pa
5	P2	Group1	0.04 m
6	P3	圧力 大きさ	1E+06 Pa
=	新規入力パラメータ	新しい名前	新しい式
8	出力パラメータ		
9	静的構造 (A1)		
10	P4	各方向での変形量 最小値	m
11	P5	相当応力 最大値	Pa
=	新規出力パラメータ		新しい式

名前	P1 - ヤング率	P2 - Group1	P3 - 圧力 大きさ	P4 - 各方向での変形量 最小値	P5 - 相当応力 最大値	保持
単位	Pa	m	Pa	m	Pa	
DP 0 (最新)	2E+11	0.04	1E+06			<input checked="" type="checkbox"/>
=						<input type="checkbox"/>

設計ポイントを追加  
Excelからの貼付け可

設計ポイントを追加チェックした結果を確認する場合は、同行を右クリックし、“最新に設定”を選択。A列の表記に“(最新)”を入れれば結果の確認が可能

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## 設計調査と最適化解析

- ▶ プロジェクトウィンドウの【設計調査】の内、実施したい項目をパラメータセットセルにドラッグ&ドロップし、応答曲面最適化を実施



### 実験計画法

実験計画法に従って、プログラムが、設計変数(入力パラメータ)を自動で設定

- 中心複合計画
- 最適空間充填設計
- Box-Behnken 計画
- カスタム
- カスタム + サンプリング
- スプースグリッド初期化
- ラテン超方格サンプリング設計

アウトライン概念図 62: 実験計画法

A	
1	
2	実験計画法
3	入力パラメータ
4	静的構造 (A1)
5	P1 - ヤング率
6	P2 - Group1
7	P3 - 圧力 大きさ

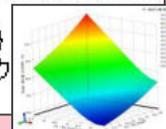
プロパティ アウトライン A5: P1 - ヤング率	
A	B
1	特性
2	一般
3	単位 Pa
4	タイプ 設計変数
5	分類 連続
6	下限値 1.0E+11
7	上限値 2.2E+11
8	使用可能な値 任意

それぞれの入力パラメータをクリックし、想定している下限と上限を設定する。

### 応答曲面

実験計画法に基づいた多数の設計ポイント結果から、入力と出力の応答を曲面を計算する。

- 遺伝的集合
- 標準応答曲面 - 完全 2 次多項式
- Kriging
- 非パラメトリック回帰
- ニューラルネットワーク
- スプースグリッド



### 最適化

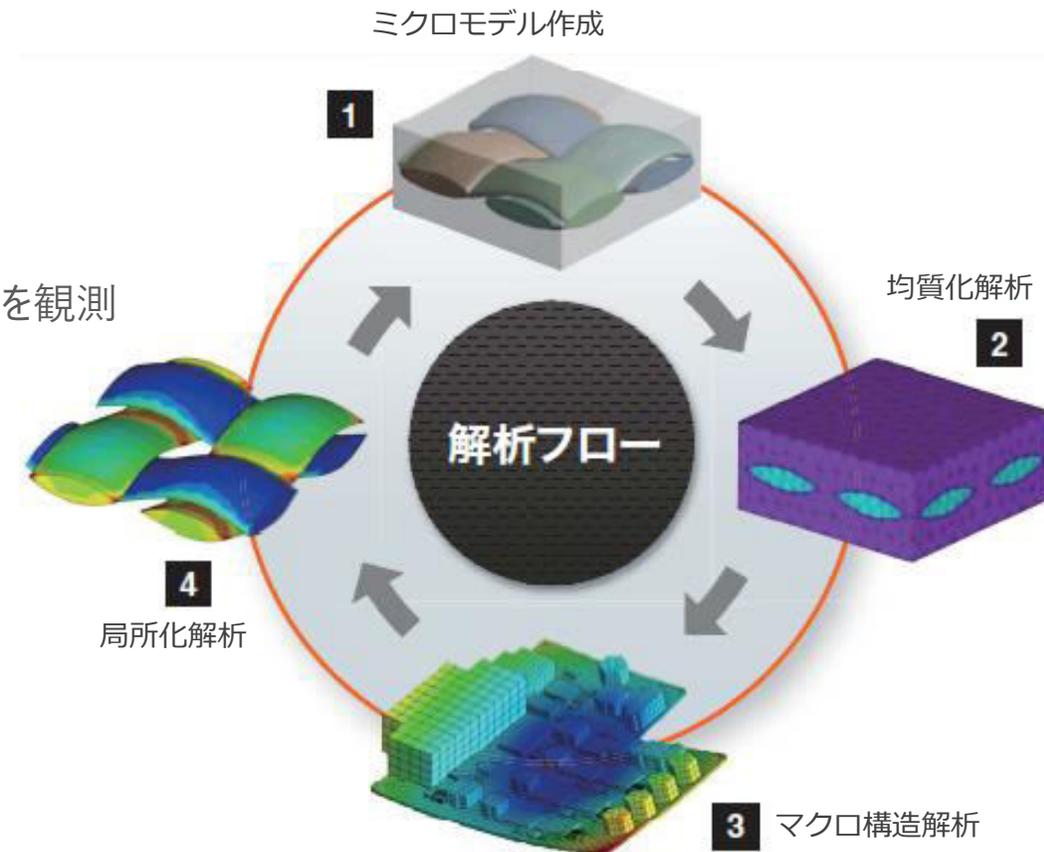
最適化の目標を設定し、応答曲面から計算した最適な入力パラメータの組み合わせを見つける。

## Multiscale.Sim

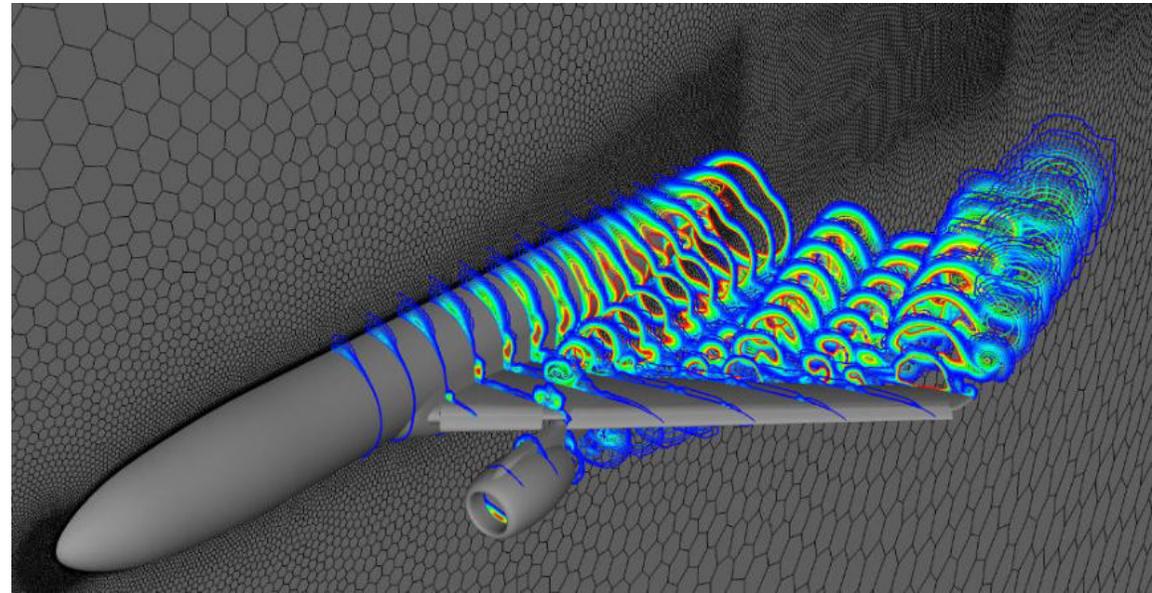
- ▶ Multiscale.Simのライセンスが必要
- ▶ 複合材料の特性を考慮した詳細なシミュレーションを可能とするマルチスケール解析ツール
- ▶ 主な機能
  1. ミクロモデル作成
  2. 数値材料試験にて、弾性率等の等価物性値を算出
  3. 等価物性値をマクロモデルに適用し解析 & 検証を実施
  4. マクロモデルから一部の領域を取り出し、微視構造内の局所的な挙動を観測

### 【均質化の対応材料】

弾性係数・熱伝導係数・線膨張係数・浸透係数・誘電率・透磁率・  
電気抵抗率・密度・比熱・弾塑性・クリープ・粘弾性・超弾性



# Fluids製品の解析機能のご紹介

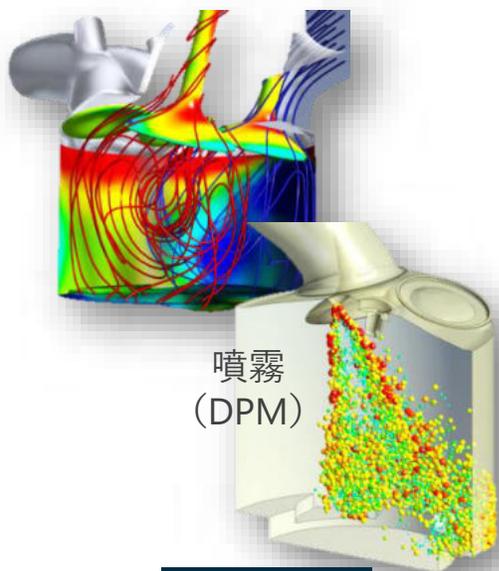


# Fluids製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Fluent

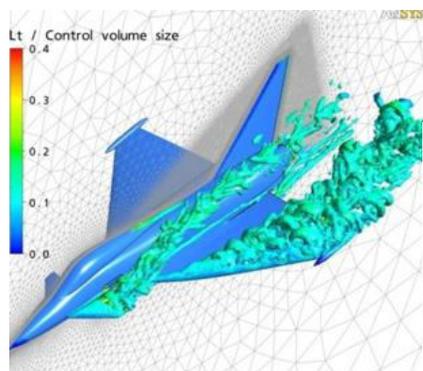
### ▶ ハイエンド汎用流体解析ソフト

- 一般的な熱流体解析以外にも、混相流、反応・燃焼、回転機械、熱輻射などの解析機能も搭載
- 多彩な混相流モデル/乱流モデル、リメッシュやメッシュモーフィングを用いて、剛体の運動と連成可能
- C言語をベースとした多種多様なカスタマイズが可能

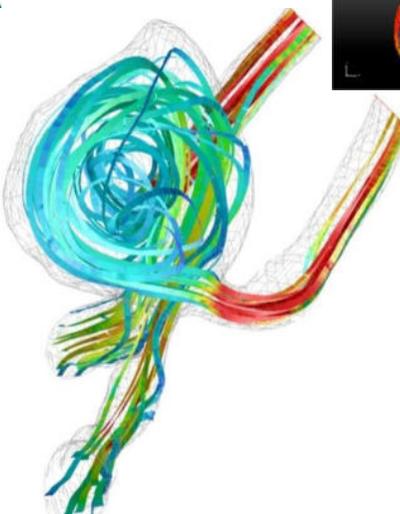


噴霧 (DPM)

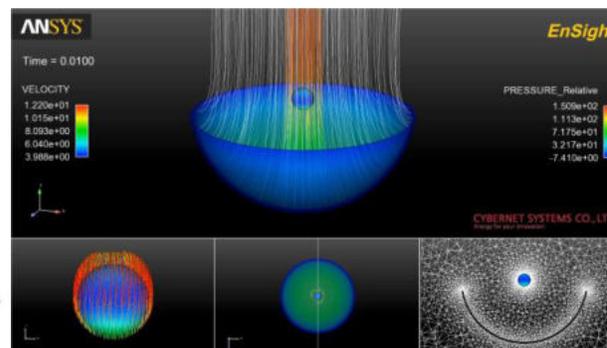
内燃機関



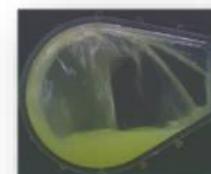
外部流れ



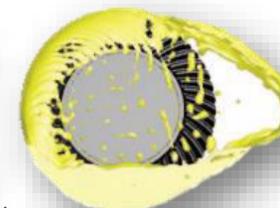
内部流れ(血管)



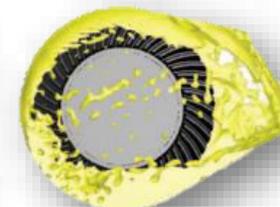
リメッシング



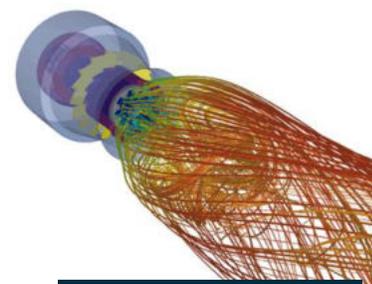
ギアの回転速度遅い



ギアの回転速度早い



油冷システム(混相流)

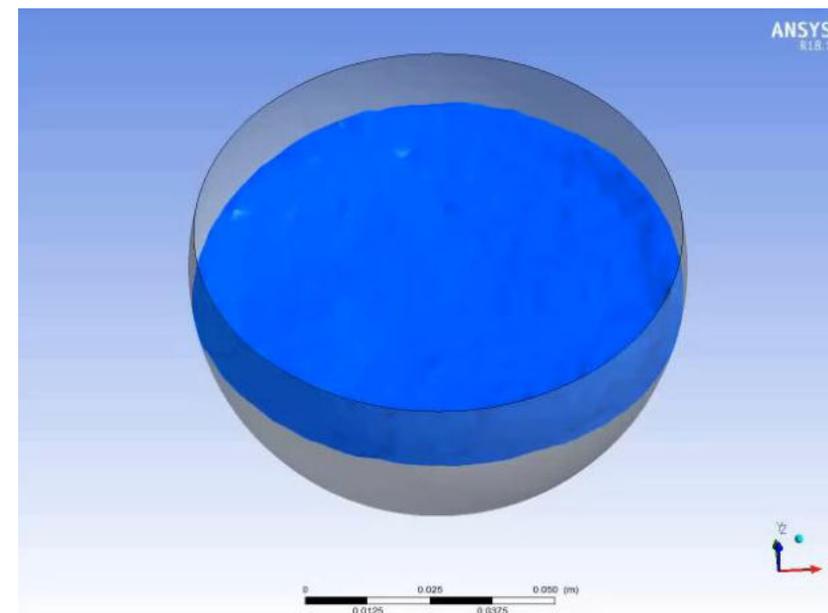


低No x バーナー

## ■ Ansys Fluent

### ▶ UDF(User Defined Function)による高度なカスタマイズ(C言語ベース)

- 特別な境界条件
- カスタマイズされた、または解析結果に依存する材料物性
- 新しい物理モデル
- ユーザーが提供した偏微分方程式の解析
- 反応速度
- ソース項
- カスタマイズされたポストプロセス
- その他のさまざまなカスタマイズ



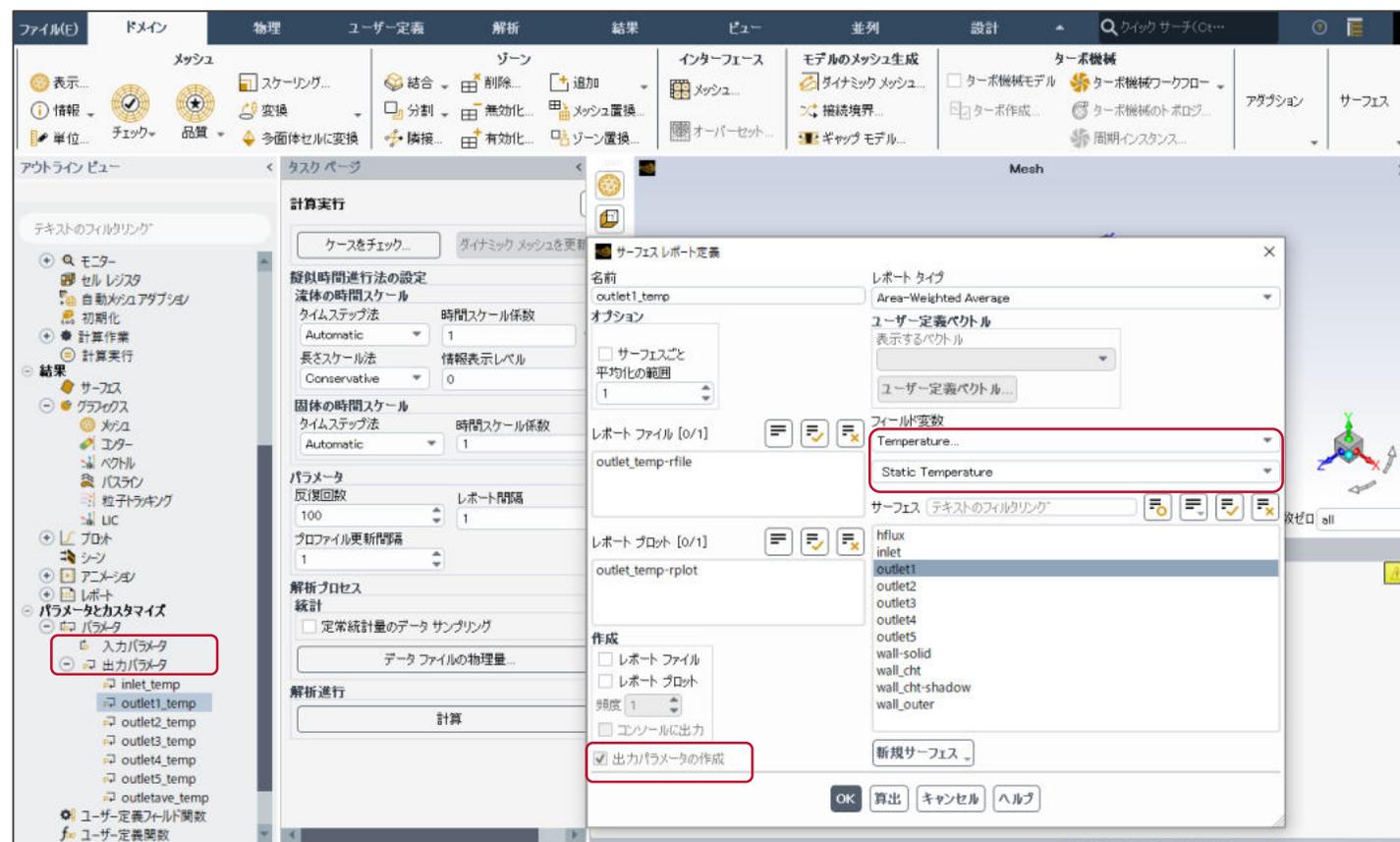
#### 例) 磁性流体の電磁攪拌

流体と空気が入っているボールに強制磁界による磁束密度を与えて液体を攪拌するアドオンモジュールなどの拡張機能もUDFによるカスタマイズの一つ

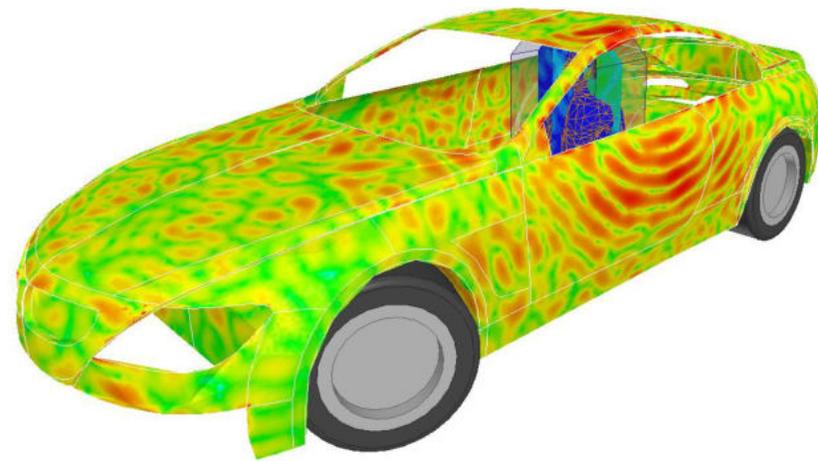
# Fluids製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Fluent

▶ Fluentにおいても、前述の設計探査と最適化機能が利用できる



# Electronics製品の解析機能のご紹介



## ■ Ansys Electronics

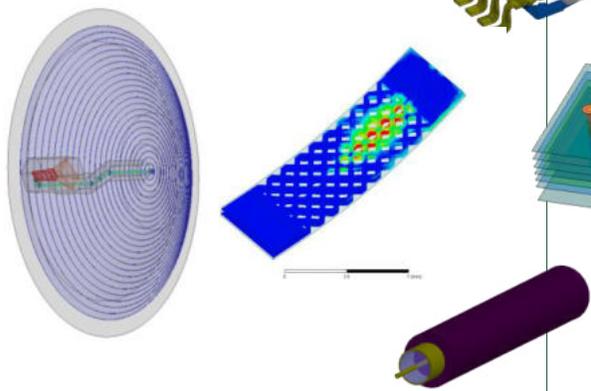
### ▶ ハイエンド汎用電磁場解析ソフト

- アダプティブオートメッシュを採用し、解析者による精度のばらつきが少ない
- 回路シミュレーターとの連携が可能、また、Workbench上でMechanicalやFluentとの連携が可能
- Ansys Maxwell と Ansys Mechanical Enterprise ( EMAG ) の解析範囲が等しい

### Ansys HFSS

3次元CAD形状から  
Sパラメータを算出

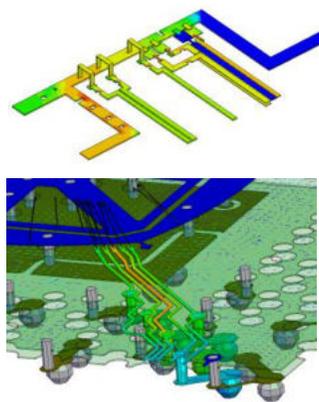
- デジタル基板
- ビアなどの要素設計
- アンテナ



### Ansys Q3D Extractor

3次元CAD形状から  
RLC値を算出

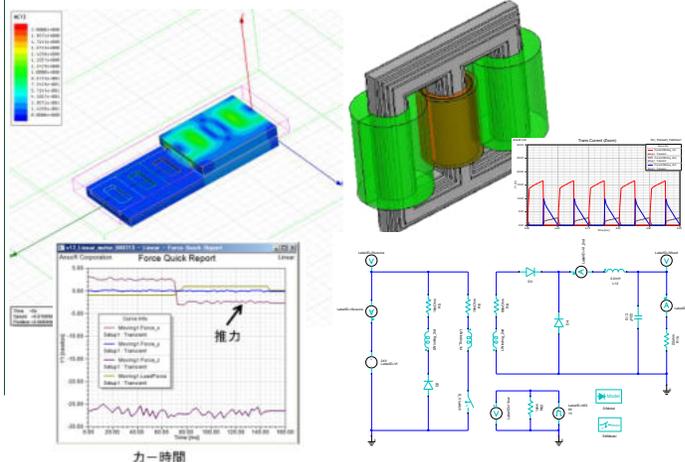
- バスバー、基板の損失
- Simplorer との連携により回路全体・デバイスの損失、サージノイズ



### Ansys Maxwell

3次元CAD形状から  
RLC値、トルク、を算出

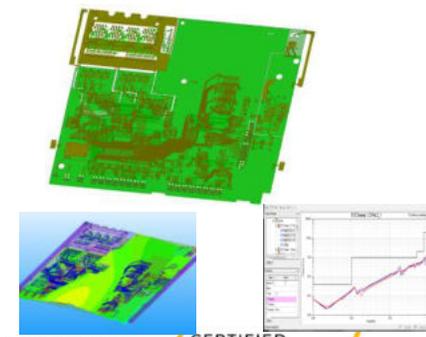
- トランスのインダクタンス値、結合係数
- モータのインダクタンス値、トルク
- コンデンサのキャパシタンス値



### Ansys Slwave

PCBのSI / PI / EMI 解析

- IR Drop (PI)
- プレーンのインピーダンス (PI)
- 電磁界 (EMI)
- Sパラメータ (SI)
- 波形解析 (SI)

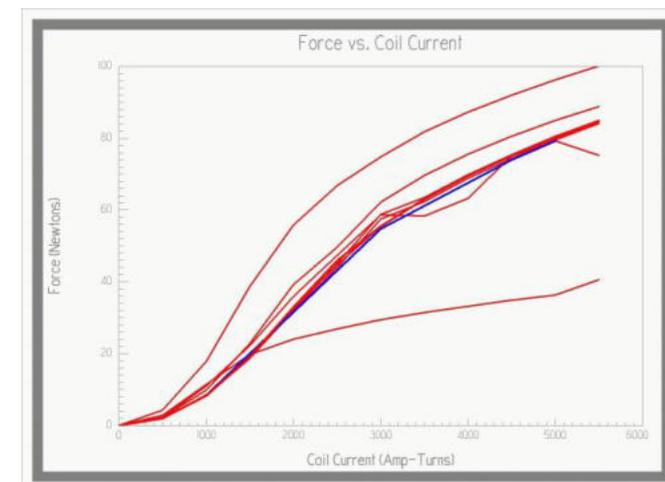
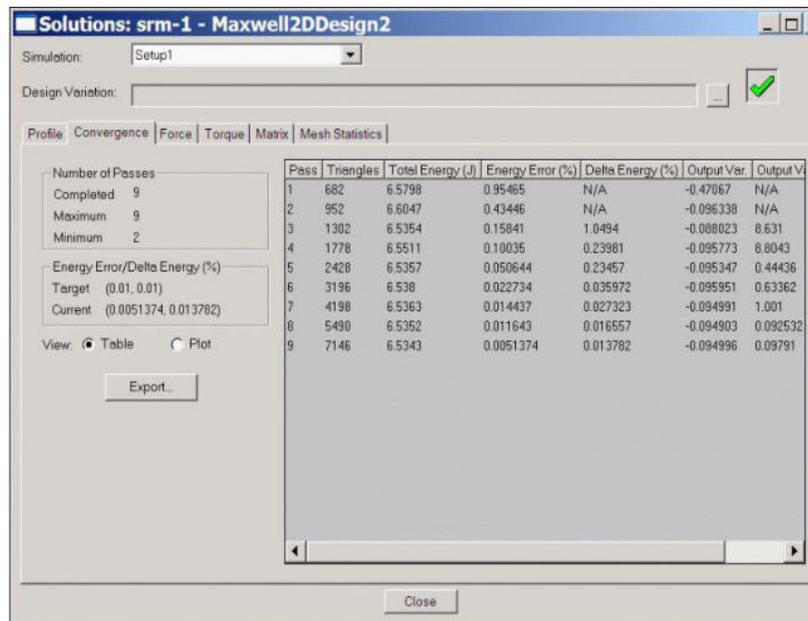
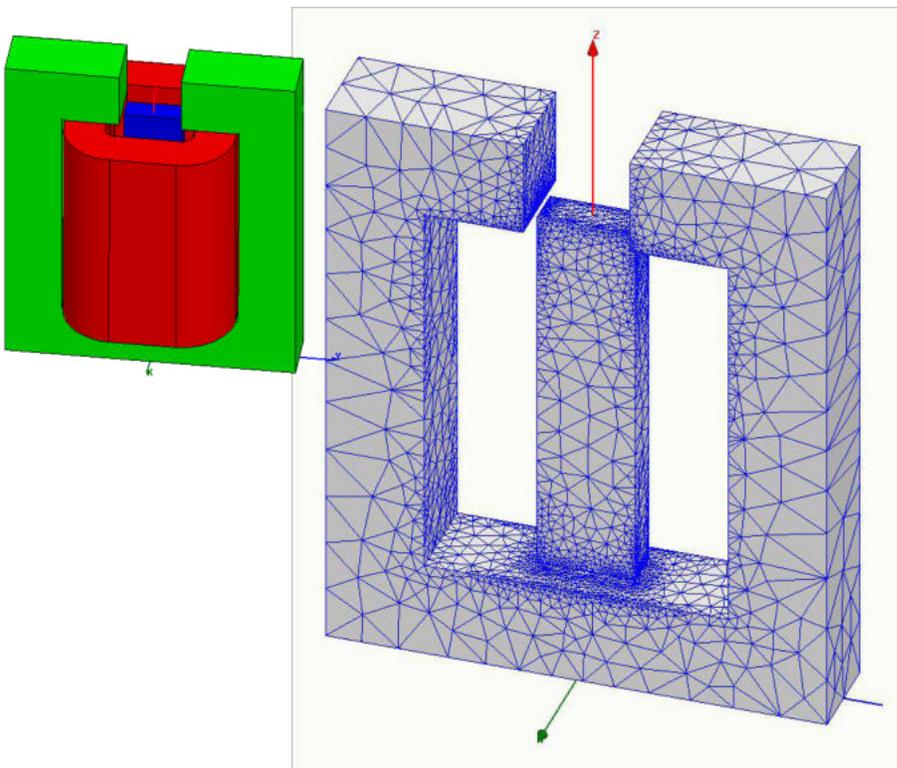


# Electronics製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Electronics

### ▶ アダプティブオートメッシュ

- 全体のエネルギー誤差と変化率の大きさを閾値として、アダプティブオートメッシュが入る
- メッシュ生成の仮定も見れるため、途中の結果の確認も可能
- 解析精度の見える化



## ■ Ansys Maxwell VS Ansys Emag

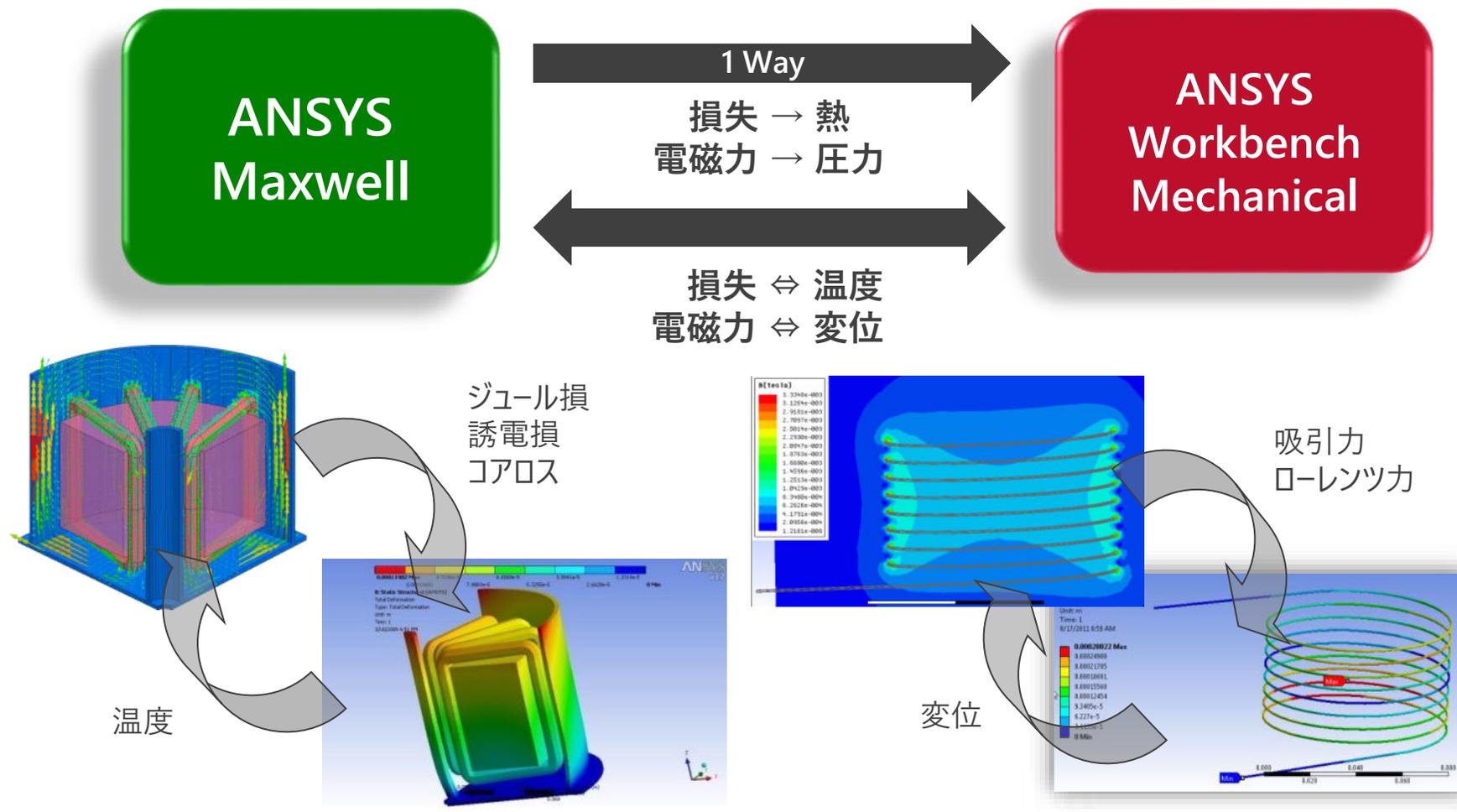
- 全体的にはMaxwellが使い易い
- インプットでの処理、及び双方向の連成解析の場合はAnsys Emagが実施し易い場合もある。

		Maxwell	EMAG
プリ	要素形状	四面体のみ	六面体とその縮退形状も可能 + 四面体
	材料のライブラリ	1000種類の電磁場系材料ライブラリが利用可	ライブラリ無し
	メッシュ作成の自由度	低い(アダプティブオートメッシュ)	高い
	材料	異方性BHの設定が可能 ベクトルヒステリシスの設定が可能	双方不可
ソルバー	ソルバー	SMPソルバーのみ	SMP, DMP両方可
	過渡磁場時のモーシオン	リメッシュにより可能	不可(物体を動かせない)
	回路連成	機能の揃ったツールと連成可能	回路用の素子の種類が少ない
	インダクタンス	簡単に算出	コマンドで対応
	連成解析	Mechanical、Fluentを利用し、ソルバーを跨ぐため、双方向を利用する場合は非常に手間	Mechanicalソルバー内で完結できる磁場-構造、磁場-伝熱は非常に解析し易い
ポスト	ベクトル表示	見やすい表示に調整可	メッシュや物体の大きさにより複雑
	力、モーメント等の計算	Field Cluculater機能により容易	コマンド処理
	グラフの描きやすさ	グラフを描く専用の機能がある	Excelに渡す方が便利
	電子の軌跡	描く機能無し	パーティクルトレース機能で描くことが可
コマンド処理	言語	Python	APDLコマンド

# Electronics製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Maxwell と Mechanicalの連成解析

- ▶ Workbenchの標準機能で連成解析が可能。ただし、過渡同士の連成はできない



## ■ Ansys により広がるシミュレーションの世界

### 1. Ansys全般の紹介

- 製品がカバーしている幅広い物理領域の解析機能のご紹介



Mechanical



Fluids



Electronics

LS-DYNA / Multiscale.Sim

### 2. Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

### 3. Ansys の活用事例の紹介

- 熱関連を中心とした事例、スポット溶接などの連成解析、低次元化を利用した3D解析などをご紹介

### 4. DEMO

### 5. 質疑応答

## ■ 本日より紹介するAnsys の実践的な機能

- グローバルメッシュコントロール(曲率・一様)
- 低次メッシュ
- Fluent Meshing
- スタビライズ(非線形座屈や非線形接触)
- サブモデリング機能の活用(詳細な応力値や、傷)
- 積分点の平均化(メッシュの妥当性確認)
- Mechanical のユニークな機能

# Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

## ■ グローバルメッシュコントロール(曲率・一様)

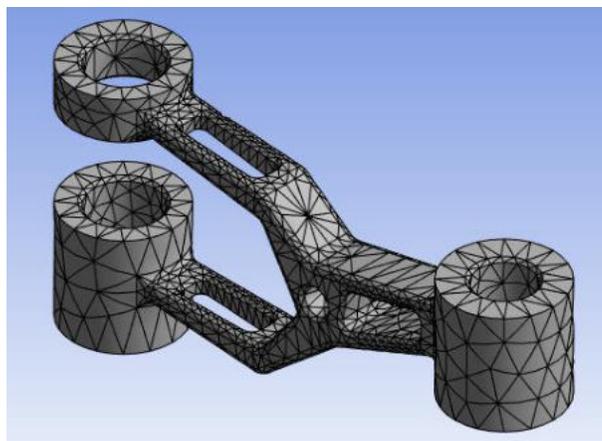
- ▶ 数値シミュレーションを実施するにあたり、メッシュは**精度**、**解析時間**、**収束性**に直接影響する
- ▶ 構造のデフォルトと流体のデフォルトでは**設定が異なる**
- ▶ 曲率・一様のアルゴリズムを利用する場合、“**アダプティブサイズを使用**”を“**No**”に変更



ツリーのメッシュの詳細ビューメニューで設定

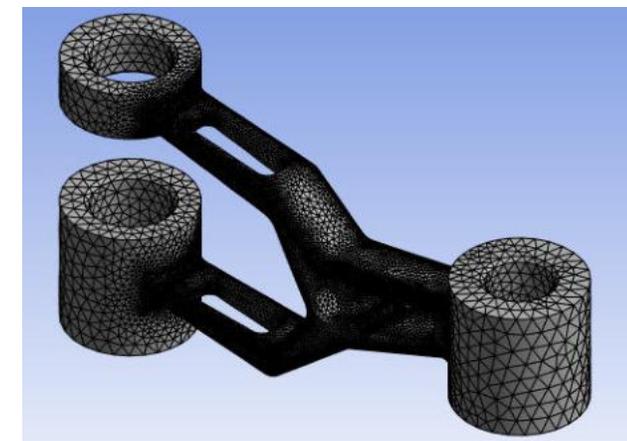
### メカニカルのデフォルト設定

"メッシュ"の詳細	
表示	ジオメトリ設定を使用
表示スタイル	ジオメトリ設定を使用
デフォルト	
解析分野の選択	メカニカル
要素次数	プログラムによるコントロール
<input type="checkbox"/> 要素サイズ	デフォルト
サイズコントロール	
アダプティブサイズを使用	Yes
分解能	デフォルト (2)
メッシュのフィーチャー除去	Yes
<input type="checkbox"/> フィーチャー除去サイズ	デフォルト
移行	速い
スパン角中心	疎
初期サイズシード	アセンブリ
バウンディングボックスの対角線	281.77 mm
平均表面積	320.12 mm <sup>2</sup>
最小辺長さ	0.69789 mm
品質	



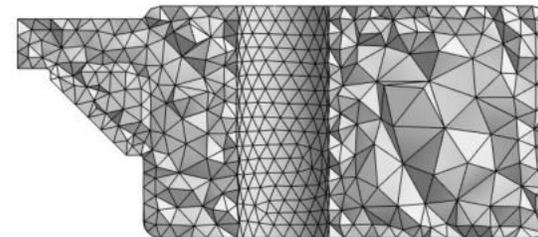
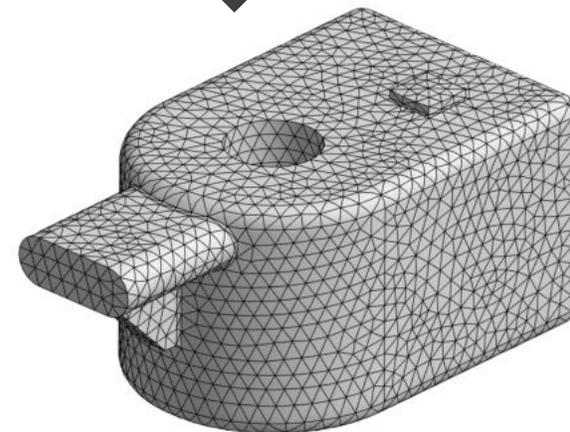
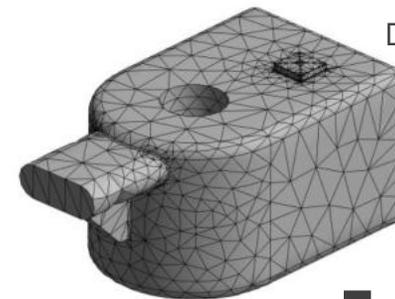
### CFDのデフォルト設定

"メッシュ"の詳細	
表示	ジオメトリ設定を使用
表示スタイル	ジオメトリ設定を使用
デフォルト	
解析分野の選択	CFD
使用ソルバー	Fluent
要素次数	線形
<input type="checkbox"/> 要素サイズ	デフォルト (14.088 mm)
エクスポート形式	標準
サーフェスマッシュのプレビューをエクスポート	No
サイズコントロール	
アダプティブサイズを使用	No
<input type="checkbox"/> 成長率	デフォルト (1.2)
<input type="checkbox"/> 最大サイズ (体積)	デフォルト (28.177 mm)
メッシュのフィーチャー除去	Yes
<input type="checkbox"/> フィーチャー除去サイズ	デフォルト (7.0442e-002 mm)
曲率を捕捉	Yes
<input type="checkbox"/> 曲率最小サイズ	デフォルト (0.14088 mm)
<input type="checkbox"/> 曲率法線角度	デフォルト (18.0°)
近接を捕捉	No
サイズ定式化 (ベータ)	プログラムによるコントロール
バウンディングボックスの対角線	281.77 mm
平均表面積	320.12 mm <sup>2</sup>



※ Fluentでは要素が低次のため、かなり細かめの設定

# Ansys の機能を利用した実践的な活用事例



## ■ グローバルメッシュコントロール：一様アルゴリズム

- ▶ “アダプティブサイズを使用”を“No”に設定、更に“曲率を補足”も“No”に設定
- ▶ 設定項目は以下の3つ

"メッシュ"の詳細	
表示	ジオメトリ設定を使用
デフォルト	
解析分野の選択	メカニカル
要素次数	プログラムによるコントロール
<input type="checkbox"/> 要素サイズ	10.0 mm
サイズコントロール	
アダプティブサイズを使用	No
<input type="checkbox"/> 成長率	デフォルト (1.85)
<input type="checkbox"/> 最大サイズ (体積)	デフォルト (20.0 mm)
メッシュのフィーチャー除去	Yes
<input type="checkbox"/> フィーチャー除去サイズ	デフォルト (5.e-002 mm)
曲率を捕捉	No
近接を捕捉	No

→ モデル面(表面)の要素サイズ

→ 表面のサイズ or 表面の微小な面にできた要素サイズから最大サイズまで移行する比率

→ モデル内部の要素サイズ

→ 微小な辺や面を無視する閾値

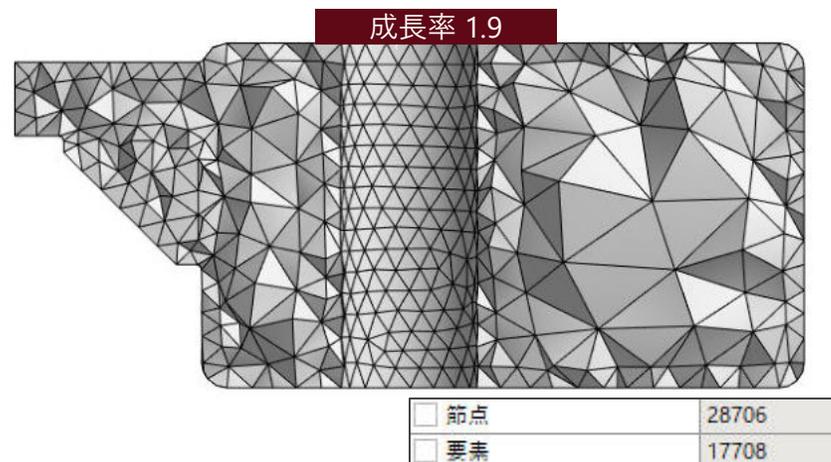
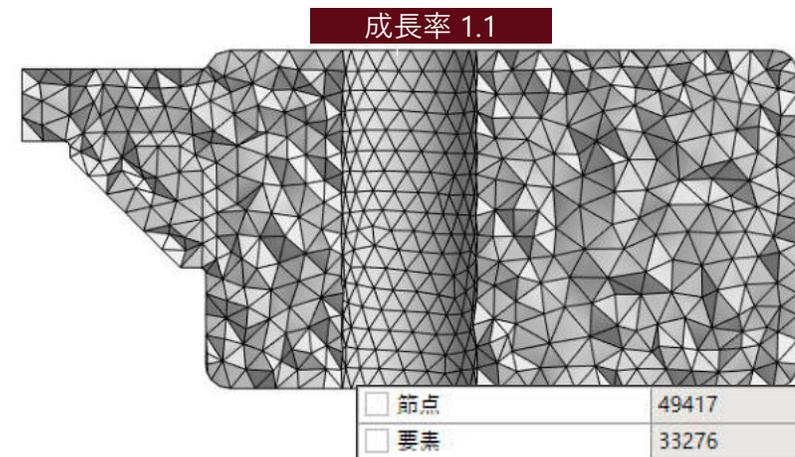
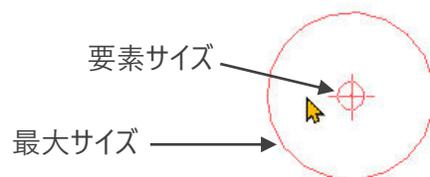
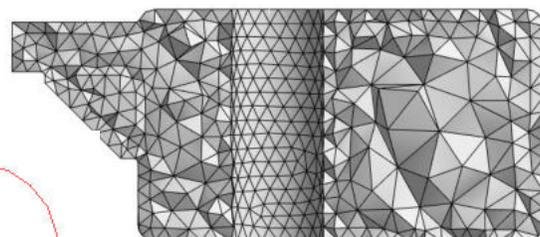
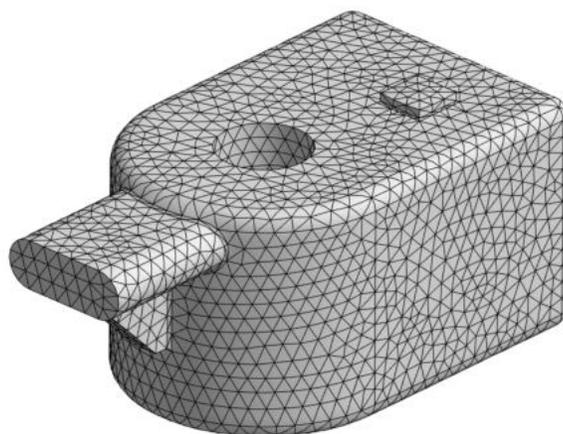
"メッシュ"の詳細	
表示	ジオメトリ設定を使用
デフォルト	
解析分野の選択	メカニカル
要素次数	プログラムによるコントロール
<input type="checkbox"/> 要素サイズ	5.0 mm
サイズコントロール	
アダプティブサイズを使用	No
<input type="checkbox"/> 成長率	1.5
<input type="checkbox"/> 最大サイズ (体積)	30.0 mm
メッシュのフィーチャー除去	Yes
<input type="checkbox"/> フィーチャー除去サイズ	0.5 mm
曲率を捕捉	No
近接を捕捉	No

# Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

## ■ グローバルメッシュコントロール：一様アルゴリズム

- ▶ “成長率の違い
- ▶ 流体解析と構造解析で成長率は注意が必要

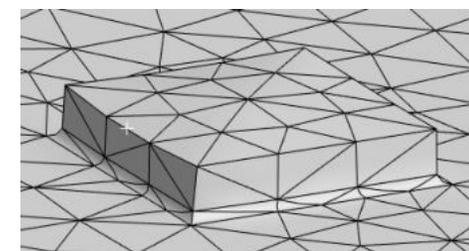
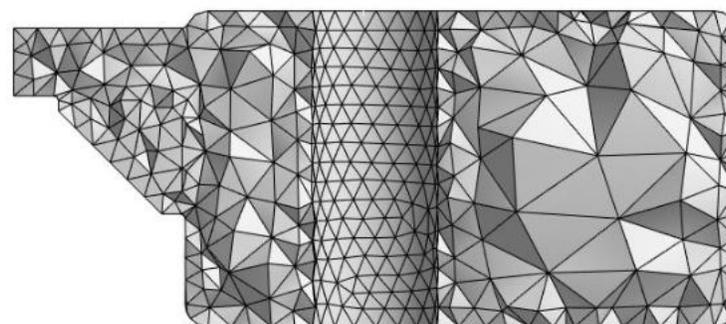
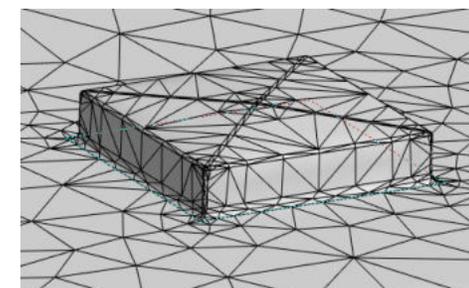
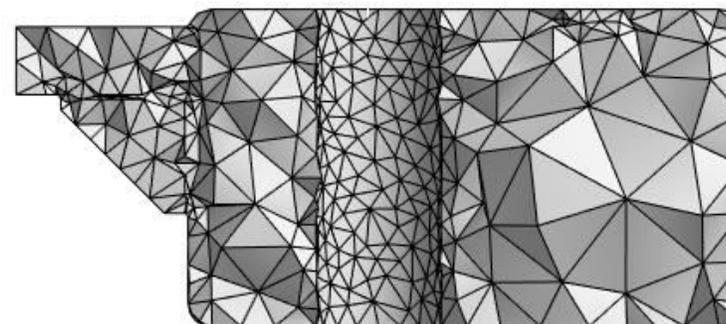
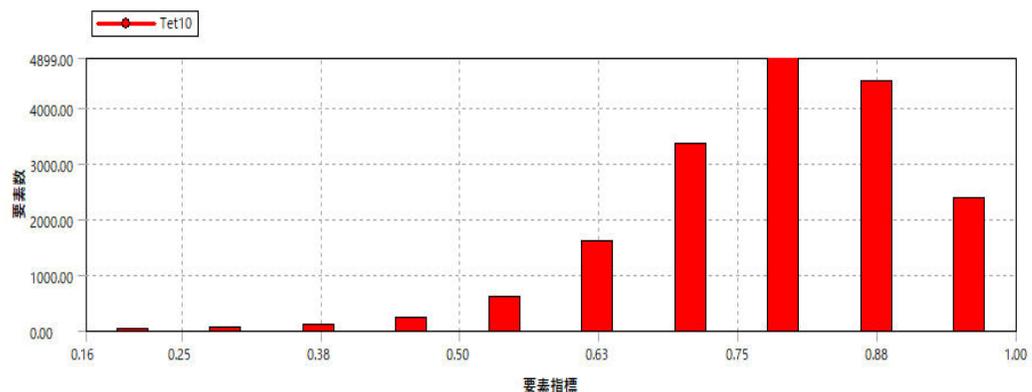
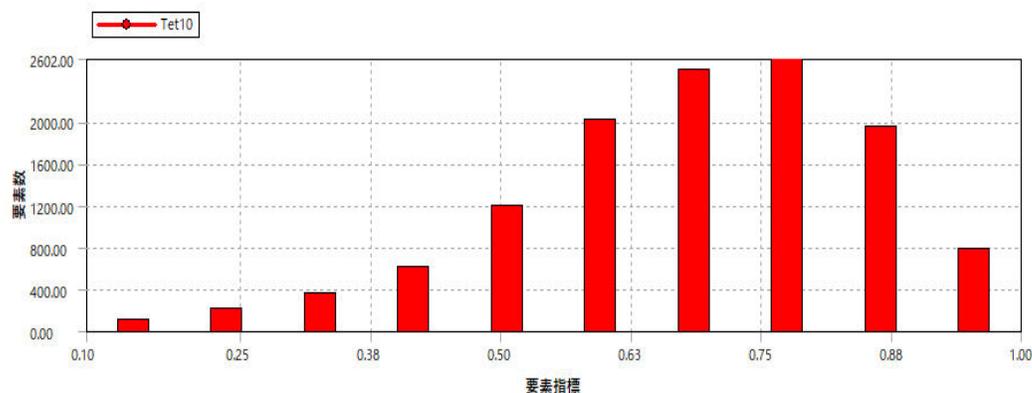
"メッシュ"の詳細	
表示	
表示スタイル	ジオメトリ設定を使用
デフォルト	
解析分野の選択	メカニカル
要素次数	プログラムによるコントロール
<input type="checkbox"/> 要素サイズ	5.0 mm
サイズコントロール	
アダプティブサイズを使用	No
<input type="checkbox"/> 成長率	1.5
<input type="checkbox"/> 最大サイズ (体積)	30.0 mm
メッシュのフィーチャー除去	Yes
<input type="checkbox"/> フィーチャー除去サイズ	0.5 mm
曲率を捕捉	No
近接を捕捉	No



# Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

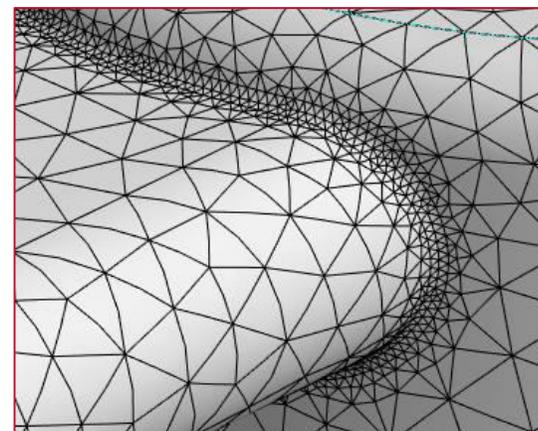
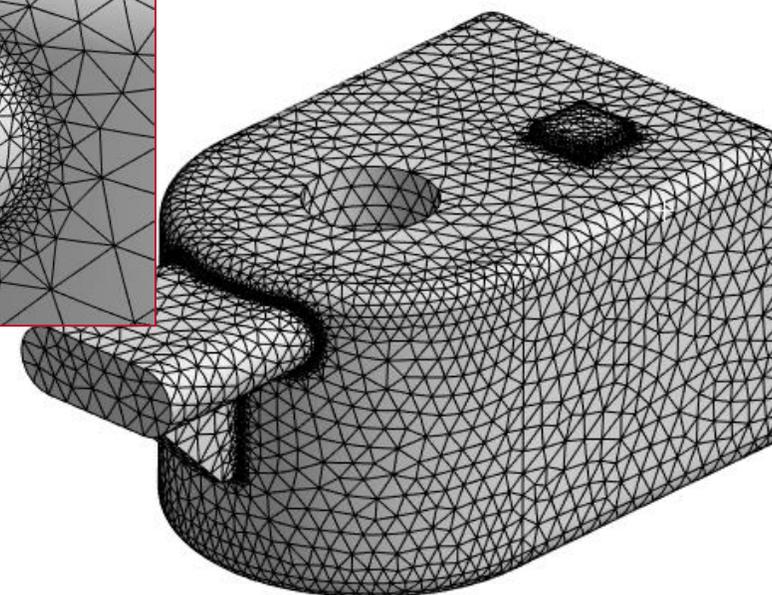
## ■ グローバルメッシュコントロール：一様アルゴリズム

- ▶ 基本的に、アダプティブサイズに比べ要素品質が良くなる傾向
- ▶ メッシュベースのフィーチャー除去により、微小な面を無視できる。CAD側の修正に手間が省ける



# Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

一様のメッシュ



## ■ グローバルメッシュコントロール：曲率アルゴリズム

- ▶ “アダプティブサイズを使用”を“No”に設定、更に“曲率を補足”も“Yes”に設定
- ▶ 設定項目は以下の3つ
- ▶ 全体の曲面に影響を及ぼすため、不用意に細くなりすぎないように注意が必要

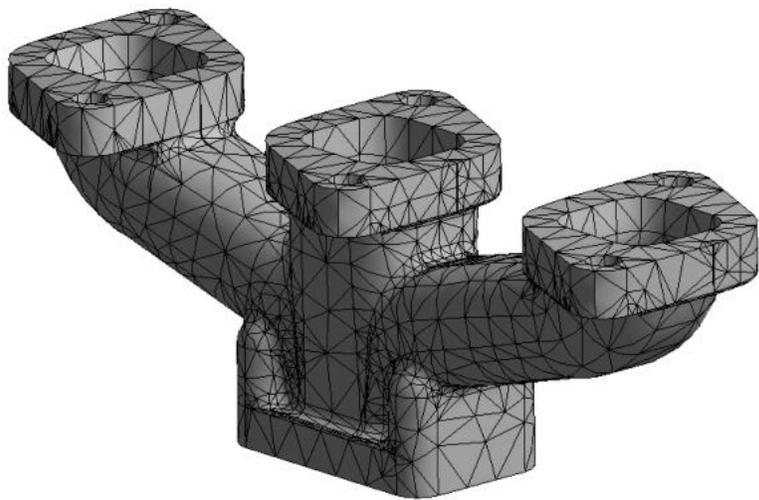
"メッシュ"の詳細	
表示	
表示スタイル	ジオメトリ設定を使用
デフォルト	
解析分野の選択	メカニカル
要素次数	プログラムによるコントロール
<input type="checkbox"/> 要素サイズ	5.0 mm
サイズコントロール	
アダプティブサイズを使用	No
<input type="checkbox"/> 成長率	1.9
<input type="checkbox"/> 最大サイズ (体積)	30.0 mm
メッシュのフィーチャー除去	Yes
<input type="checkbox"/> フィーチャー除去サイズ	0.5 mm
<input checked="" type="checkbox"/> 曲率を捕捉	Yes
<input type="checkbox"/> 曲率最小サイズ	0.5 mm
<input type="checkbox"/> 曲率法線角度	33.0°
近接を捕捉	No
サイズ定式化 (パータ)	プログラムによるコントロール

微小なフィレットでメッシュが細くなりすぎないように下限値を指定できる (必要に応じて設定)

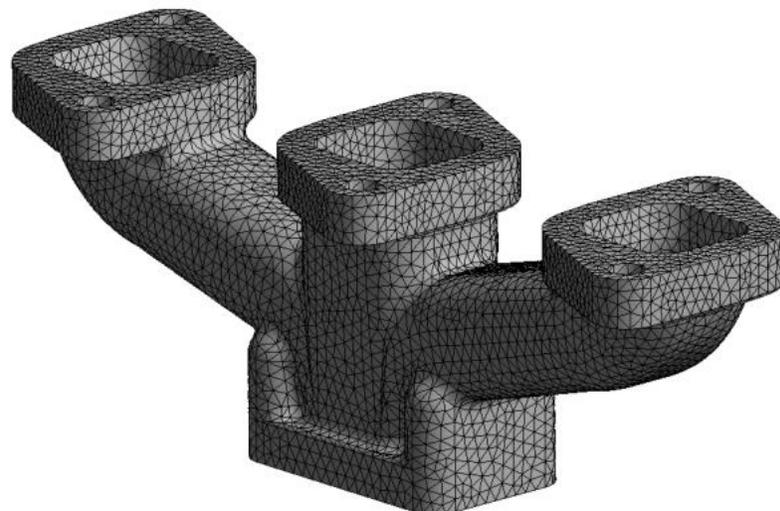
曲面のメッシュの分解能 33度では90度の曲面に3分割のメッシュが設定される

## ■ グローバルメッシュコントロール：アダプティブ・一様・曲率アルゴリズム

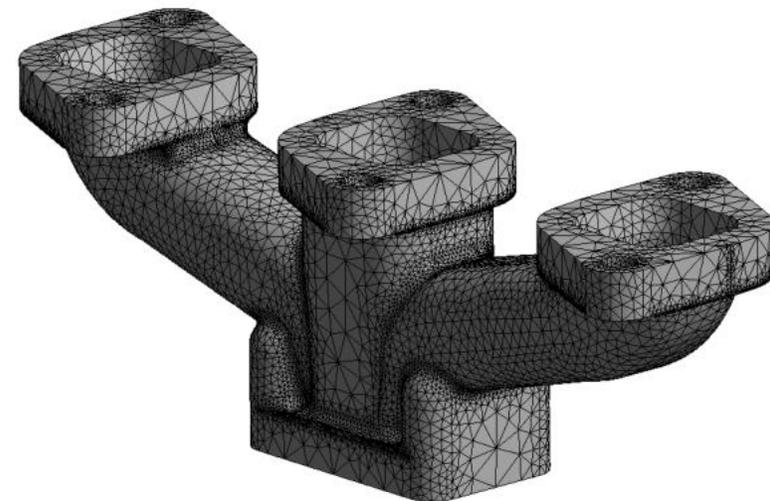
- ▶ モデル形状と解析のフィールドを考慮して、最適なアルゴリズムを使用することで次のメリットが生まれる
  - メッシングにかかる時間の短縮
  - 要素品質の向上
  - 一次解の精度向上(剛性や熱抵抗など、幾何学的な誤差を減らすことが重要)
  - 曲面の精度の担保



アダプティブ



一様



曲率

## ■ 低次メッシュ

- ▶ Mechanicalライセンスの場合、基本的にSolid要素は高次メッシュで作成される（Fluentは低次）
- ▶ 構造以外の伝熱などの場合は低次要素でも十分な精度で計算できる
  - 曲面など熱抵抗が正確に表現できている必要があり、曲面は高次要素、平面は低次要素という使い分けも可能
- ▶ 同等数の節点数の場合、低次の要素の方が明らかに解析コストが低い

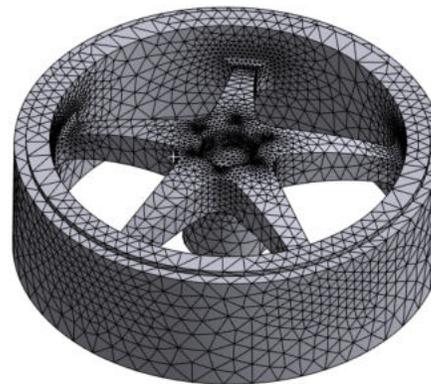
モデル全体への設定

メッシュ	
静的構造 (B5)	解析設定
"メッシュ"の詳細	
表示	表示スタイル ジオメトリ設定を使用
デフォルト	解析分野の選択 メカニカル
要素次数	プログラムによるコントロール
要素サイズ	プログラムによるコントロール
サイズコントロール	線形 2次

個別パーツへの設定

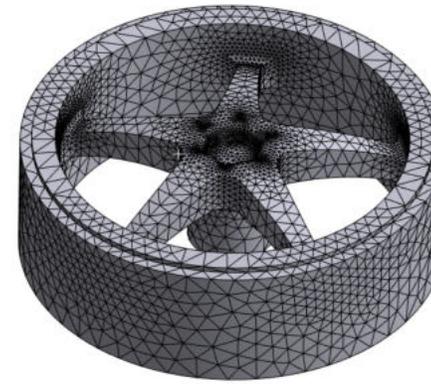
メッシュ	
手法 - パッチ依存	静的構造 (B5)
"手法 - パッチ依存" - 手法の詳細	
スコープ	スコープ方法 ジオメトリ選択
	ジオメトリ 1 ボディ
定義	抑制 No
	手法 四面体
	アルゴリズム パッチ依存
要素次数	2次
	グローバル設定を使用
	線形 2次

高次要素



情報	
節点	97425
要素	65738

低次要素(左と同設定)



情報	
節点	13462
要素	65616

低次要素(高次要素と同規模)



情報	
節点	93234
要素	491543

## Fluent Meshing Workflow

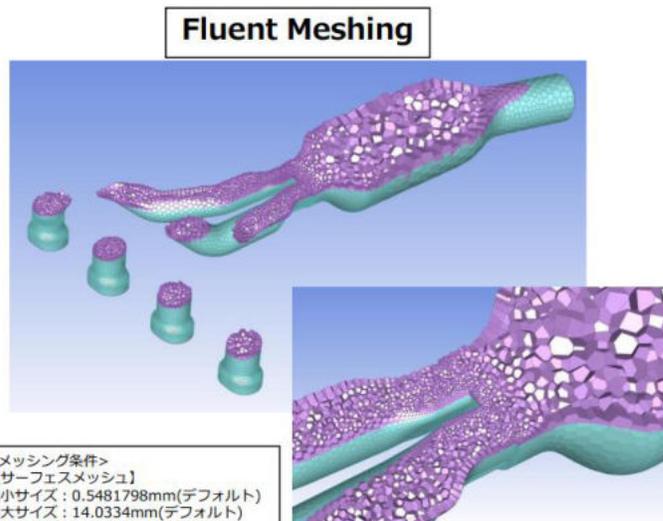
### ▶ 特徴

- 少ない工数で作成することができるワークフロー
- 要素数を抑えた高品質なメッシュを作成可能
- Fluentによる解析ともシームレスに連携
- 作業を記録してCADデータの変更にも対応

### ▶ メッシュ形状

- ポリヘドラル、ポリ-ヘキサコアメッシュ
- 流体解析に適した高品質な境界層メッシュ

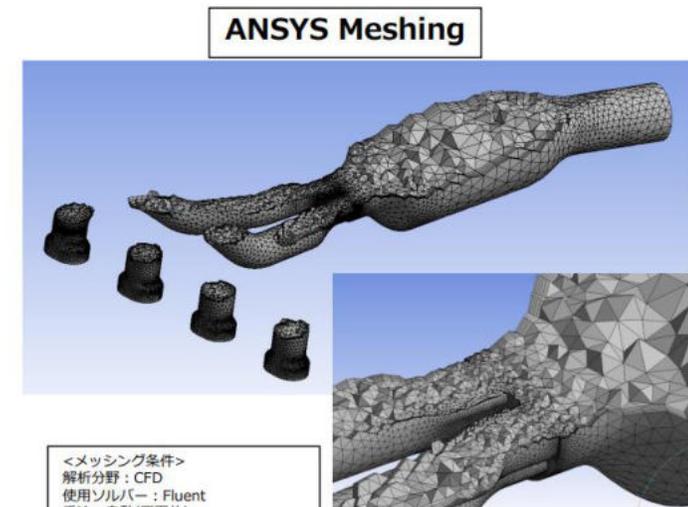
### ▶ システム



<メッシュ条件>  
【サーフェスマッシュ】  
最小サイズ: 0.5481798mm(デフォルト)  
最大サイズ: 14.0334mm(デフォルト)  
曲率法線角度: 18°(デフォルト)  
近接のギャップの要素数: 3  
近接スコープ: 面と辺  
【ポリウムメッシュ】  
タイプ: ポリヘドラル  
インフレーション: スムーズな移行  
移行比: 0.272(デフォルト)  
最大層数: 5  
成長率: 1.2

要素数: 219,497  
直交品質: 0.341

要素数を抑えて高品質



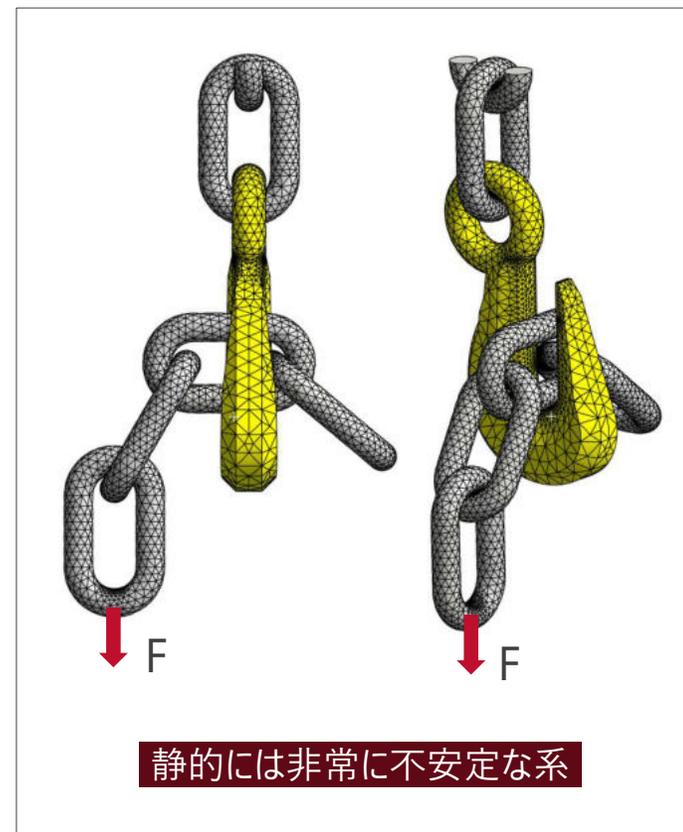
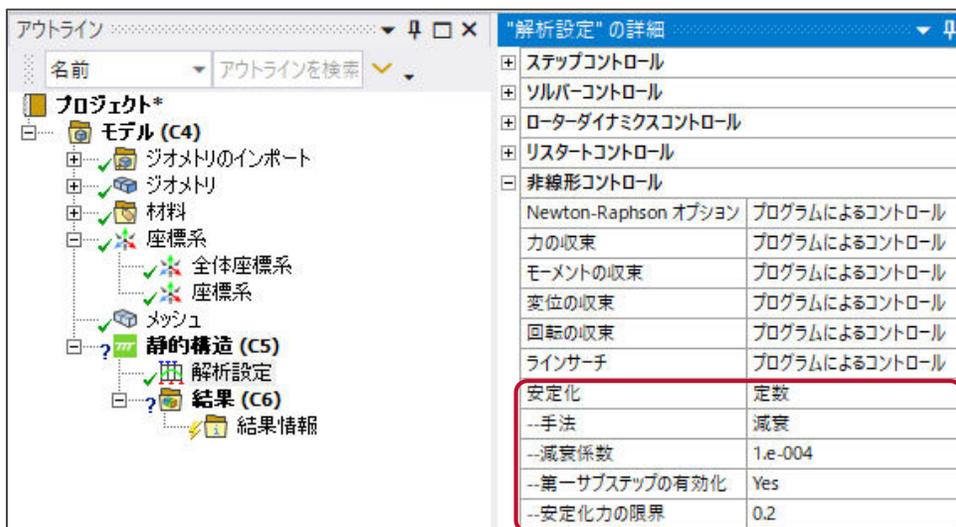
<メッシュ条件>  
解析分野: CFD  
使用ソルバー: Fluent  
手法: 自動(四面体)  
要素サイズ: 32.98mm(デフォルト)  
曲率を補足: Yes  
曲率法線角度: 18°(デフォルト)  
近接を補足: Yes  
ギャップの要素数: 3(デフォルト)  
近接スコープ: 面と辺  
インフレーション: スムーズな移行  
移行比: 0.272(デフォルト)  
最大層数: 5  
成長率: 1.2

要素数: 488,130  
直交品質: 0.102

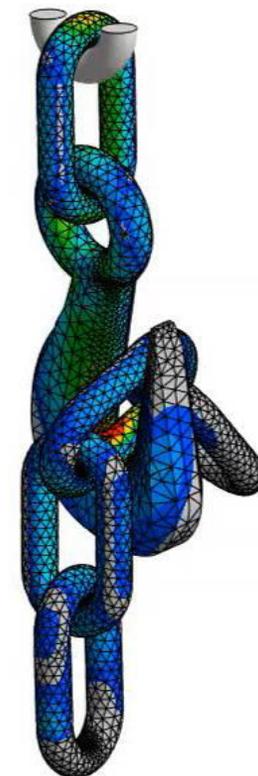
# Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

## ■ スタビライズ

- ▶ モデル内のすべての節点に弱いダンパーを定義し、抵抗を付けることで不安定な非線形接触解析を安定的に計算することができる。
- ▶ 実際は、存在しない抵抗力のため、結果で消費したエネルギーを確認し、影響がないか確認する。多くの場合、適切な値を得るためトライ&エラーが必要になる。
- ▶ 設定は、解析設定の詳細ビューの“安定化”を“定数”にし設定項目を適宜設定する。



静的には非常に不安定な系

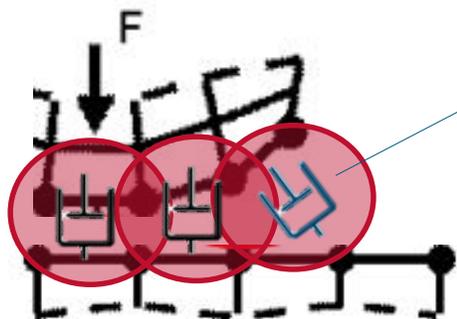


※ ここでの減衰は、疑似時間とモデルの移動量で求まる速度に、この減衰係数がかかる。その為、解析単位系が“mm”か“m”で抵抗が1000倍変わるため、注意が必要

## ■ スタビライズ

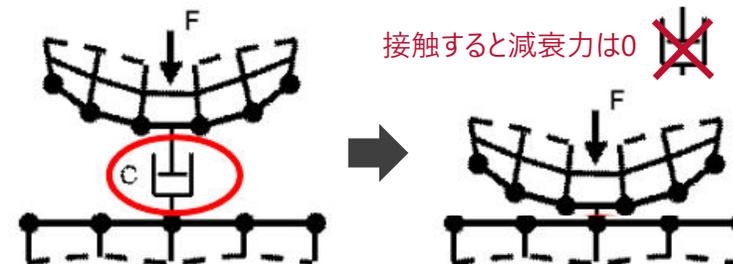
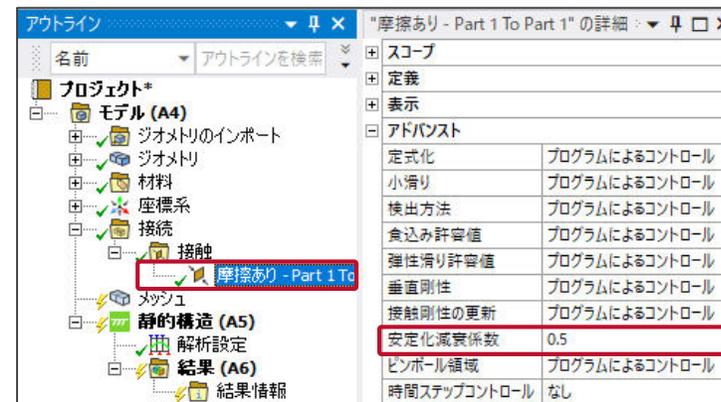
### ▶ 接触領域の安定化減衰との違い

- 接触領域の安定化減衰係数は指向性(接触バネと同方向)を持つ、スタビライズ機能は指向性を持たない
- 接触領域の安定化減衰は接触すれば減衰0になるが、スタビライズは0にならない



非線形接触の安定化減衰機能はピンボール内に入ったコンタクトとターゲット面に対して減衰を張る。その方向は接触バネが考慮される方向のため、フィレットなど曲面が存在し、ピンボールが大きい場合は接触前に意図しない方向に減衰力を受け収束性に影響を与える場合がある。

非線形解析の収束が悪い場合、接触の検出方法で接触バネの方向を変更するか、指向性を持たないスタビライズを利用する方法が対策になる



接触すると減衰力は0 ~~X~~

## ■ スタビライズ

### ▶ スタビライズによるエネルギーの確認

- 結果項目の内、[エネルギー]>[安定化エネルギー]でチェックができ、弾性変形のエネルギー比較する場合は、その下のひずみエネルギーのトータルと比較する。

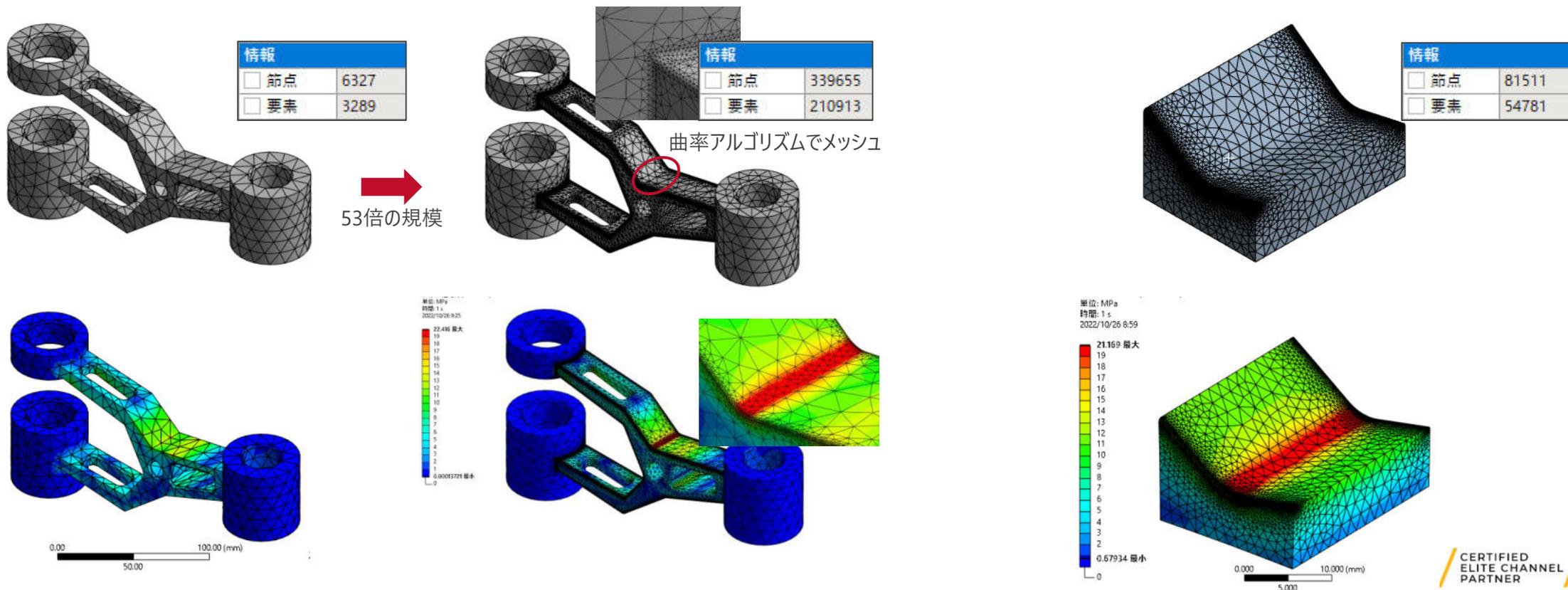


### ▶ 用途

- 今回のチェーンのように剛体的な運動を静的に解きたい場合に非常に便利
- 安定化エネルギーの影響が心配な場合は、緩和ステップを置くと影響を減らすことが可能
  - STEP1 : 疑似時間1秒
  - STEP2 : 疑似時間10秒 (STEP1と同じ条件)

## サブモデリング機能の活用

- ▶ サブモデリング解析(ズームング解析)は、簡略化した全体モデルの解析を実施し、その後精度の高い結果が必要な領域だけ抜き出し、その境界面に全体で得られた条件を与えて計算する。⇒ St. Venantの原理に基づく
- ▶ 必要な領域だけにメッシュを作成できるため、解析コストをおさえながら高精度な結果を得られる。

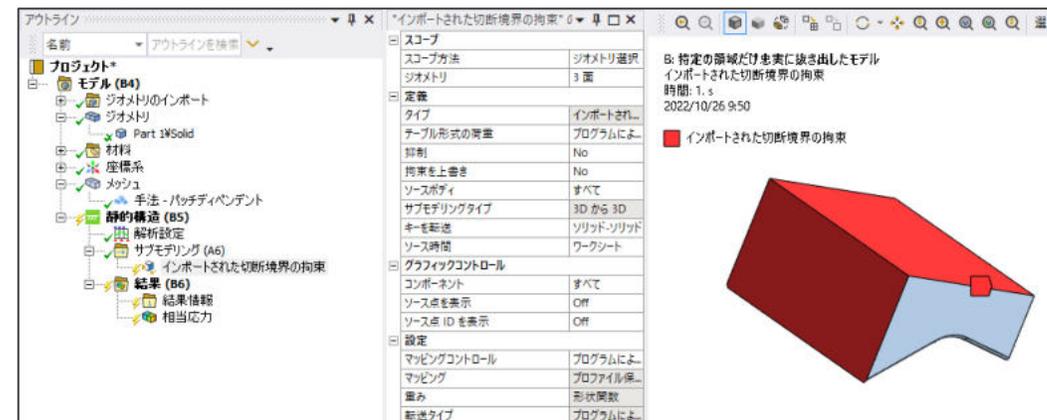


# Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

## ■ サブモデリング機能の活用

▶ Ansys Workbench Mechanicalでは非常に簡単な操作で、この解析を実現できる

フルモデルを計算したシステムの解析実行セルとサブモデルのセットアップセルにリンク線を張るだけ



## サブモデリング機能の活用

- ▶ フックとチェーンモデルのような非線形解析でも活用可能
- ▶ フルモデルのサブステップのすべての時間を“インポートされた切断境界の拘束”に登録することで、全体モデルの経路を追いながら解析が可能

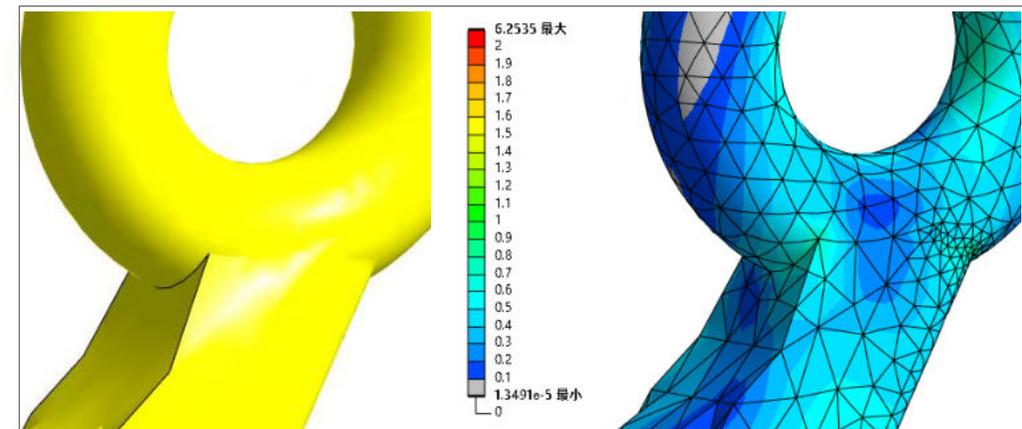
プロジェクト\*  
モデル (C4)  
ジオメトリのインポート  
ジオメトリ  
Geom#Solid11  
材料  
座標系  
全体座標系  
メッシュ  
サイズコントロール-面  
サイズコントロール-面 2  
名前選択  
静的構造 (C5)  
解析設定  
サブモデリング (A6)  
インポートされた切断境界の拘束  
結果 (C6)  
結果情報  
相当応力 2  
相当応力  
相当応力 3  
相当応力 4

静的構造  
インポートされた切断境界の拘束  
時間: 0.1 s  
すべて  
単位: mm  
2022/10/26 11:54

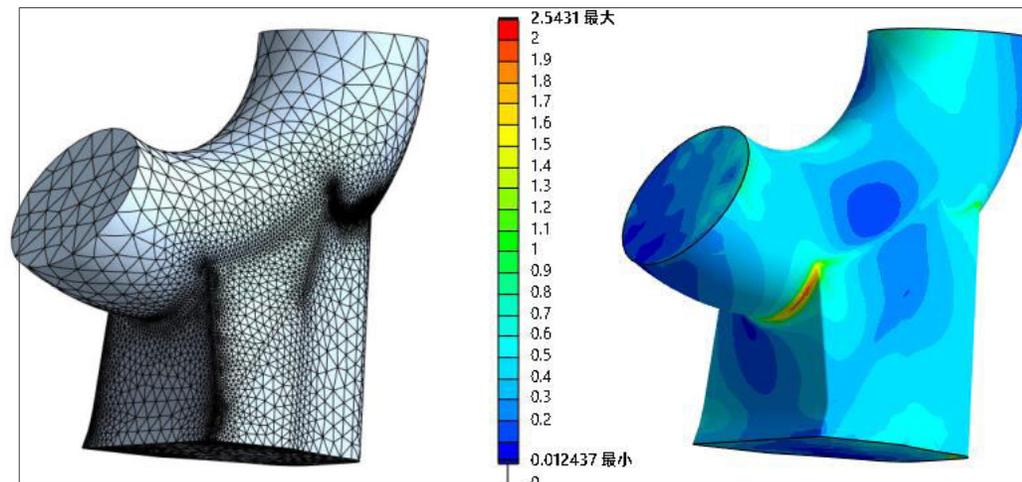
0.076982 最大  
0.076982  
0.076982  
0.076982  
0.076982  
0.076982  
0.076982  
0.076982

データビュー  
インポートされた切断境界の拘束

ソース時間 (s)	解析時間 (s)
1 0.1	0.1
2 0.2	0.2
3 0.3	0.3
4 0.4	0.4
5 0.5	0.5
6 0.6	0.6
7 0.7	0.7



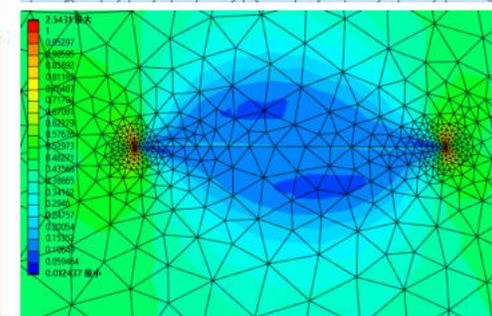
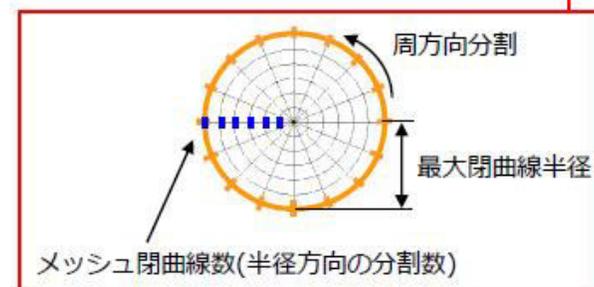
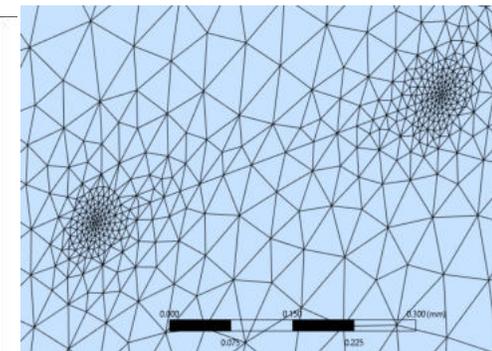
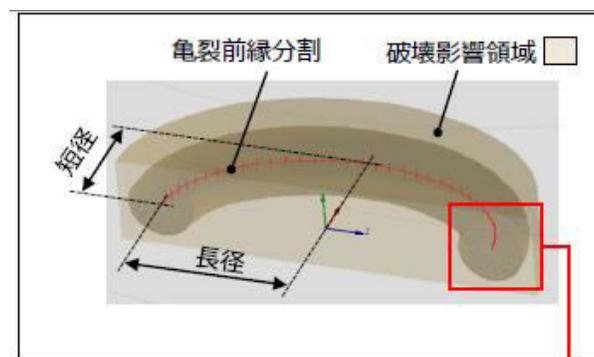
フルモデルの相当応力 [MPa]



サブモデルの相当応力 [MPa]

## サブモデリング機能の活用

- ▶ 半円亀裂メッシュをサブモデルに含めることで、微小な亀裂が存在した際の解析も可

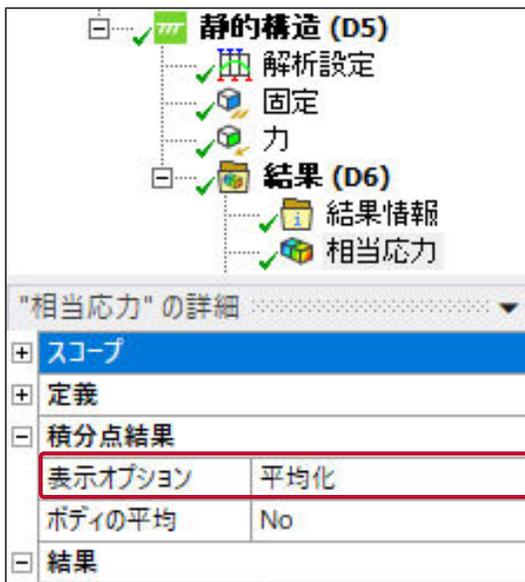


- 破壊ツール
- SIFS (K1)
- J積分 (JINT)

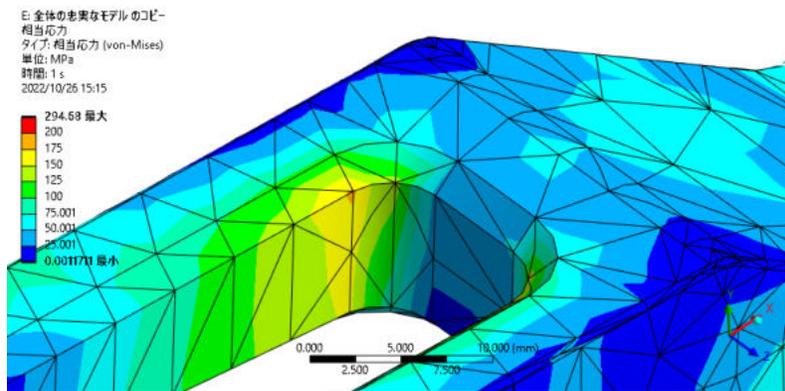
破壊関連の結果の確認可

## 積分点結果

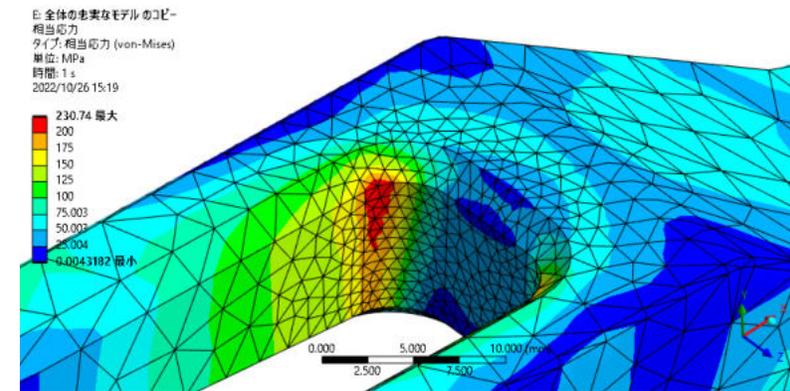
- ▶ 2次の節点解は、積分点から節点に外挿された後に、隣接要素の同位置の節点と平均化処理される
- ▶ 2次解のメッシュの妥当性を議論する際、平均化されない分布の確認が可能



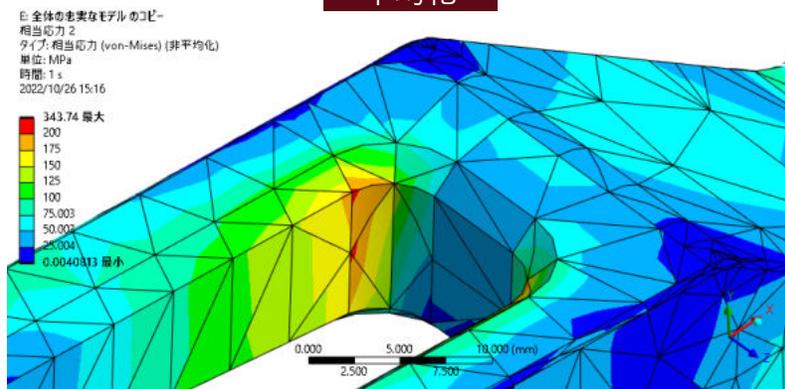
← 平均化(default)  
非平均化



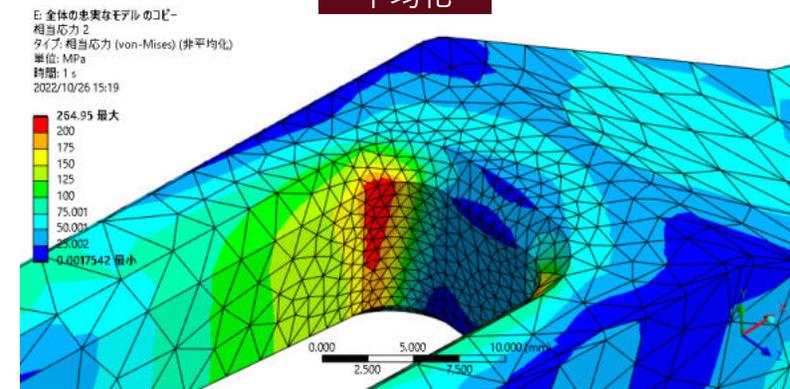
平均化



平均化



非平均化



非平均化

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Mechanical Enterpriseのユニークな機能

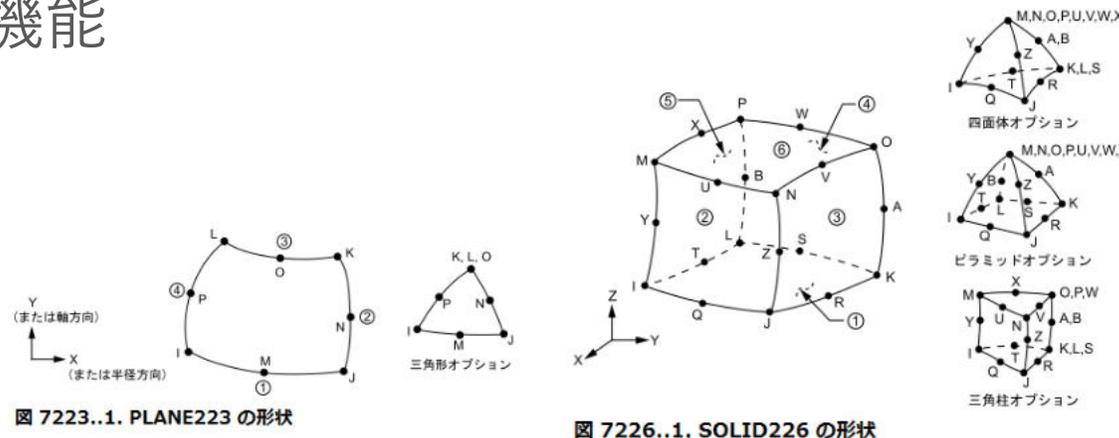
### ▶ 連成場要素

- Plane223 , Solid225 , Solid226 , Solid227

### ▶ バースデス(要素/接触)

### ▶ ユニークな要素

- Fluid116 (伝熱 - 流体連成パイプ要素)
- Circu124 (電気回路要素)
- Trans126 (トランスデューサー要素)
- Fluid136 (スクイーズ膜流体要素)
- HSFLD242 (静止流体要素)



場	場のキー	自由度 ラベル	節点荷重ラベル	反力解
構造	1	UX, UY, UZ	FX, FY, FZ	力
伝熱解析	10	TEMP	HEAT	熱流
電気伝導	100	VOLT	AMPS	電流
電磁誘導	200	EMF	CURT	電流
静電場	1000	VOLT	CHRG	電荷
磁場	10000	AZ	CSGZ	磁気電流セグメント
拡散	100000	CONC	RATE	拡散流量

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Mechanical Enterprise

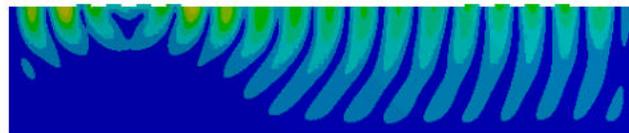
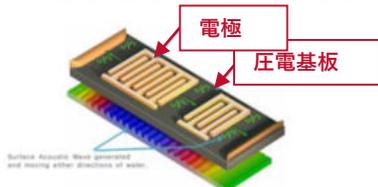
### ▶ 連成場要素

- 場のキーを組み合わせることで、多彩な連成解析が可能

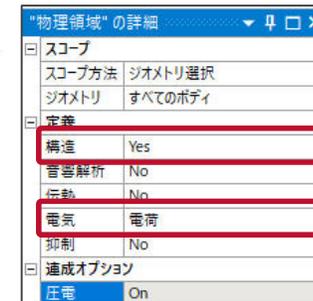
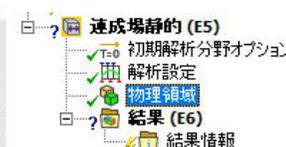
場	場のキー	自由度 ラベル	節点荷重ラベル	反力解
構造	1	UX, UY, UZ	FX, FY, FZ	力
伝熱解析	10	TEMP	HEAT	熱流
電気伝導	100	VOLT	AMPS	電流
電磁誘導	200	EMF	CURT	電流
静電場	1000	VOLT	CHRG	電荷
磁場	10000	AZ	CSGZ	磁気電流セグメント
拡散	100000	CONC	RATE	拡散流量

### – 場のキー例1：1001⇒圧電解析

$$\begin{bmatrix} [M] & [0] \\ [0] & [0] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\dot{u}\} \\ \{\dot{v}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C] + [C^m] & [0] \\ [0] & -[C^e] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{v\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K] & [K^z] \\ [K^z]^T & -[K^d] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{v\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F\} \\ \{L\} + \{L^{th}\} \end{Bmatrix}$$

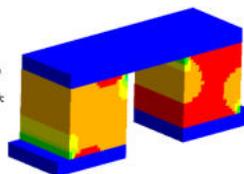


連成場静的



### – 場のキー例2：101⇒ペルチエ、ゼーバック効果を考慮した電気伝熱解析

$$\begin{bmatrix} [C^t] & [0] \\ [0] & [C^v] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{T\} \\ \{\dot{v}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K^t] & [0] \\ [K^{vt}] & [K^v] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{T\} \\ \{v\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{Q\} + \{Q^p\} \\ \{I\} \end{Bmatrix}$$

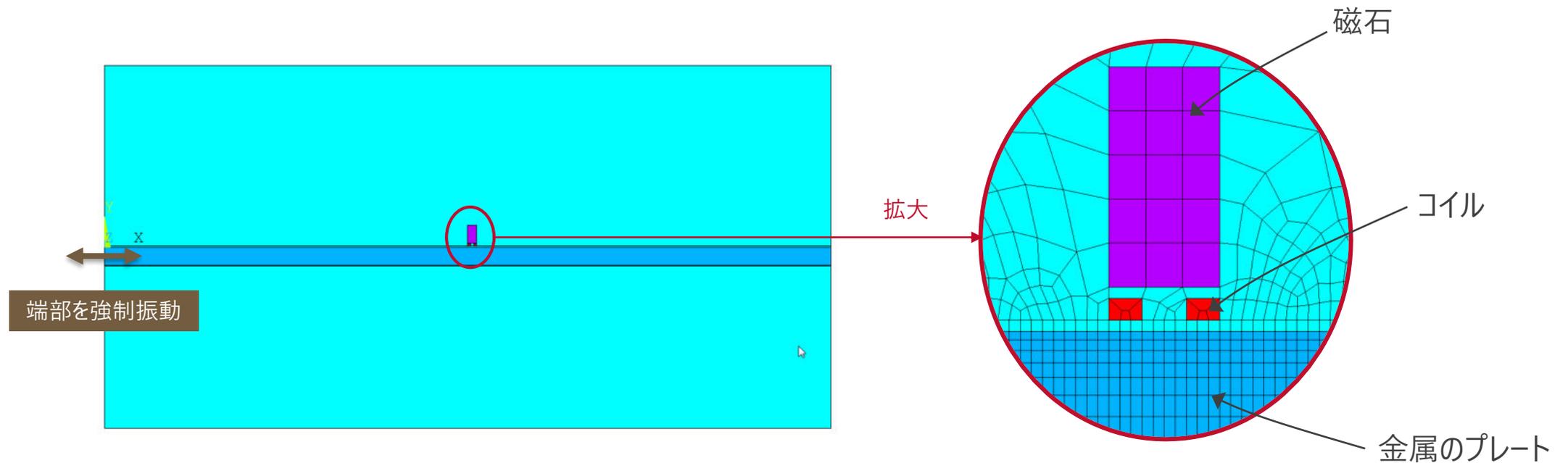


伝熱-電気

## ■ Ansys Mechanical Enterprise

### ▶ 連成場要素

- 場のキーを組み合わせることで、多彩な連成解析が可能
  - 場のキー例1：10201 ⇒ 電磁場-構造連成解析を利用



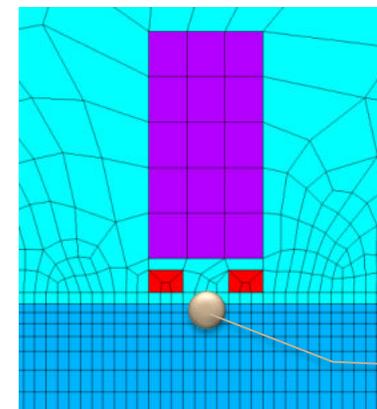
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

CYBERNET

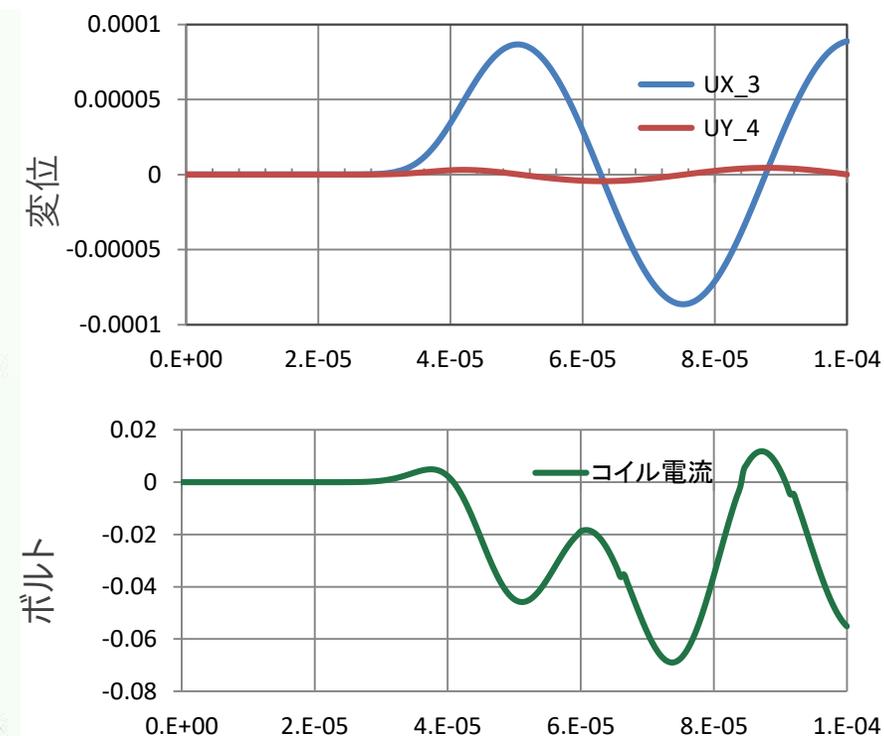
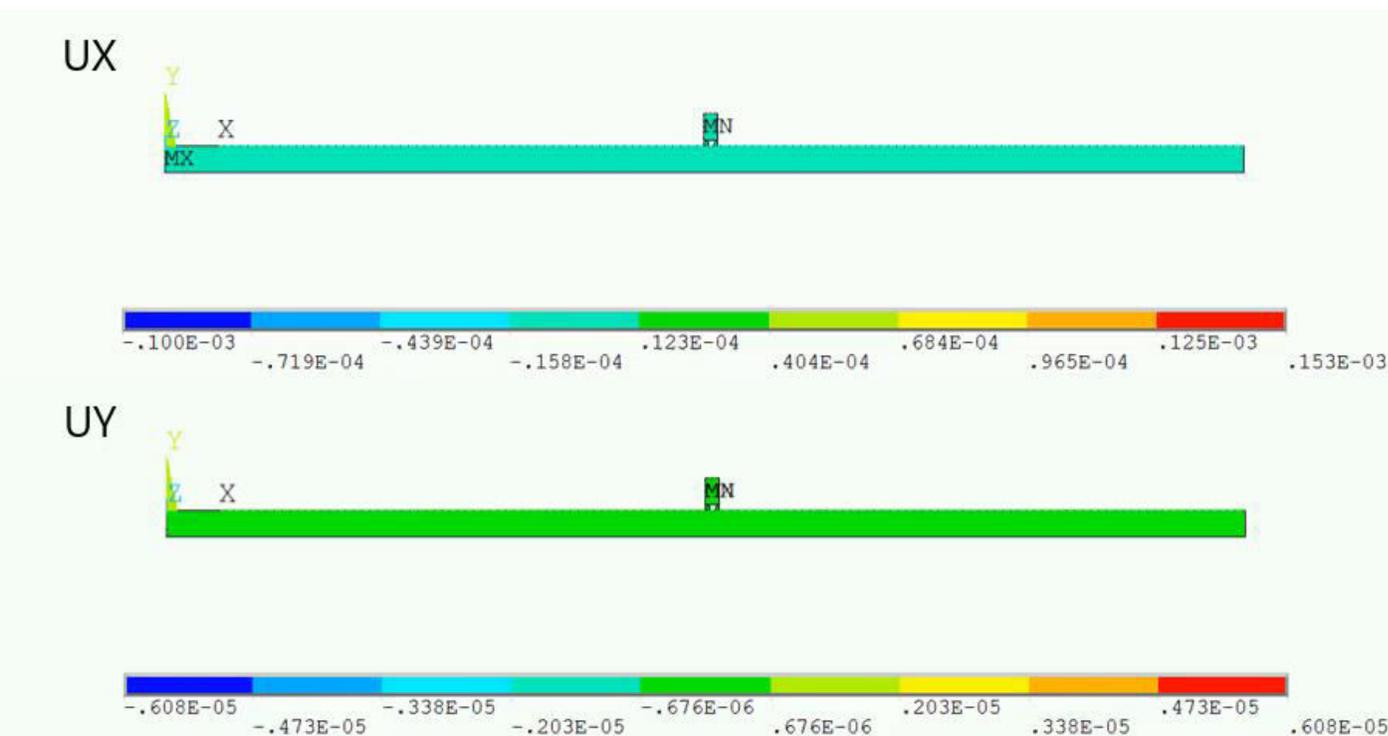
## ■ Ansys Mechanical Enterprise

### ▶ 連成場要素

- 場のキーを組み合わせることで、多彩な連成解析が可能
  - 場のキー例1：10201 ⇒ 電磁場-構造連成解析を利用



観測ポイント



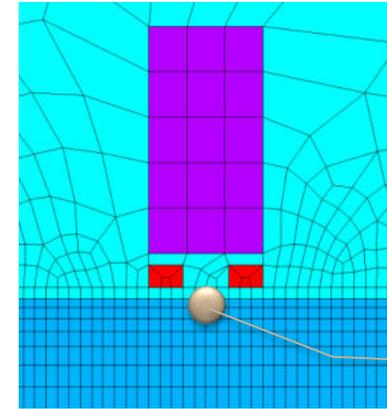
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

CYBERNET

## ■ Ansys Mechanical Enterprise

### ▶ 連成場要素

- 場のキーを組み合わせることで、多彩な連成解析が可能
  - 場のキー例1：10201 ⇒ 電磁場-構造連成解析を利用



観測ポイント

### ポイント：

MaxwellとMechanicalでは、**過渡磁場**と**過渡伝熱**、**過渡磁場**と**過渡構造**の連成が不可  
Mechanical では、**過渡磁場**と**過渡伝熱**、**過渡磁場**と**過渡構造**の連成解析が可能

- 微小な振動(空間のリメッシュが必要にならない程度)であれば、過渡磁場と過渡構造の連成解析が可能
- 過渡伝熱と過渡磁場の連成も可能だが、時間スケールが異なるため、任意の区間の磁場解析を実施し、平均の発熱で一定区間の伝熱をするなど、現象に応じて最適な手法を取れる。

# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Mechanical Enterpriseのユニークな機能

### ▶ バーステス(要素/接触)

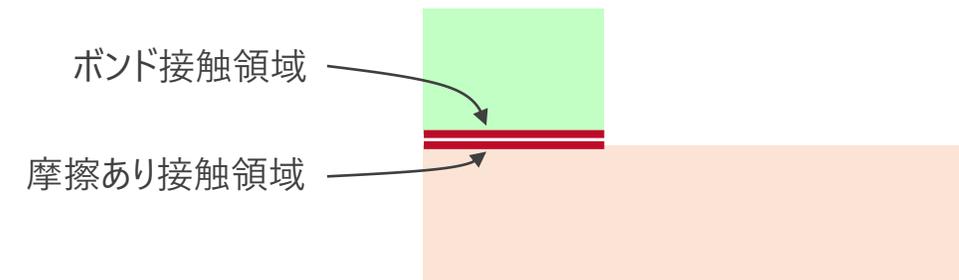
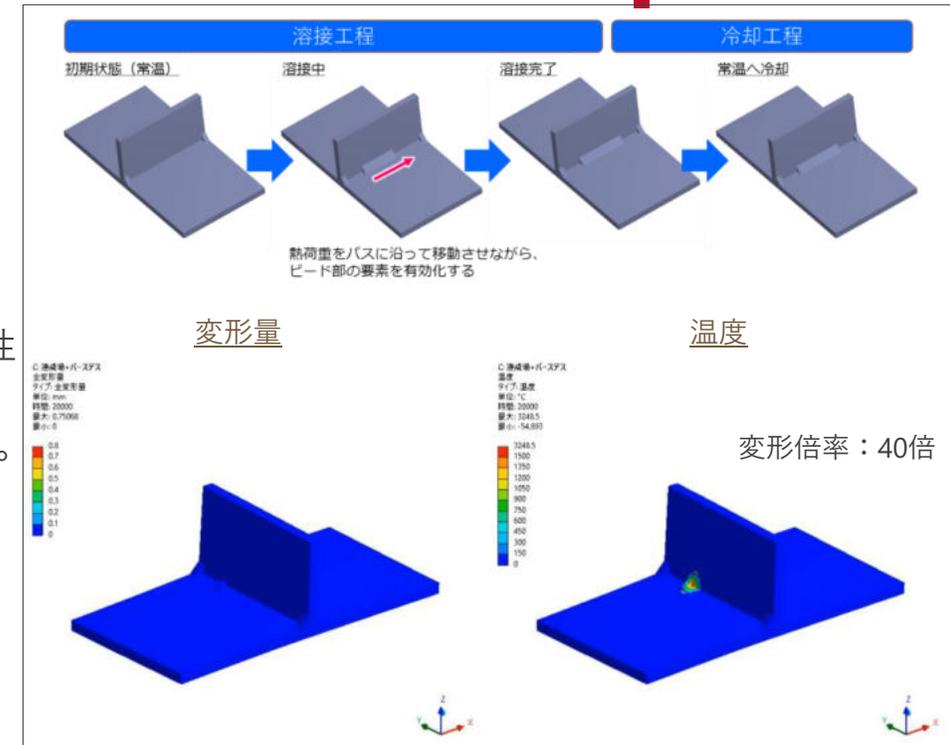
- 構造・伝熱などの要素を無効化、有効化が可能
  - 無効化された要素はモデルとしては全体マトリクスに対して非常に小さい剛性（または伝導）として残る
  - 状態変数（応力、塑性ひずみ、クリープひずみなど）はゼロに設定されます。
  - 全体の質量（容量など）マトリクスには影響しない
  - Workbenchではコマンドで対応

### • 接触要素の無効化・有効化が可能

- 接触タイプの切替
  - » 重複して接触を作成し、表のように有効無効を設定します。

	ボンド	摩擦あり
step1	無効	有効
step2	有効	無効

- 溶融した部分パーツ同士を固着にして連続に変化
  - » 後述のスポット溶接参照



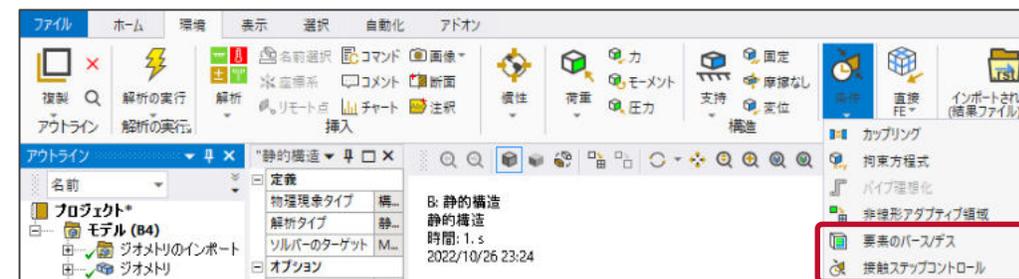
# Mechanical製品の解析機能のご紹介

## ■ Ansys Mechanical Enterpriseのユニークな機能

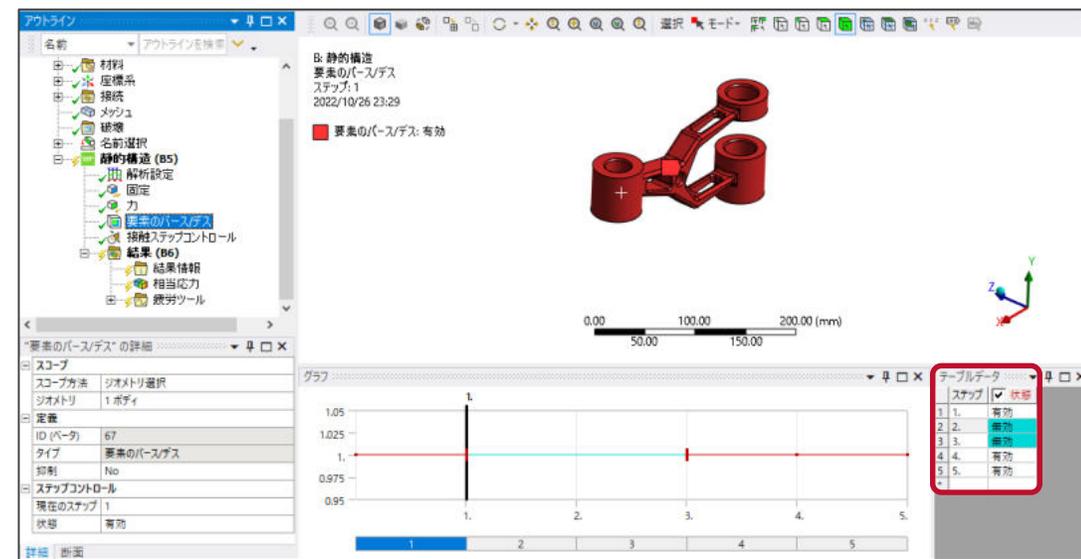
### ▶ バースデス(要素/接触)

- 設定手順

1. 要素のバースデス、接触ステップコントロールを挿入



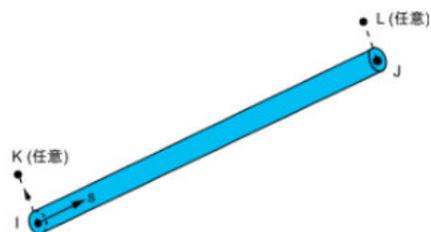
2. 挿入した項目をクリックし、テーブルデータ側で有効/無効を設定  
変更はセルを右クリックし、“スワップ状態”を変更



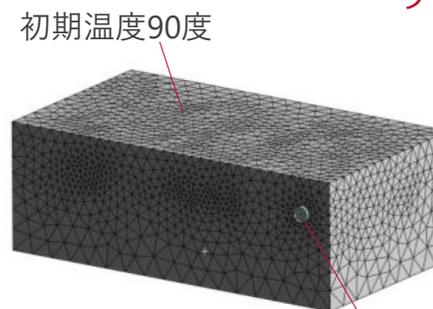
## ■ Ansys Mechanical Enterpriseのユニークな機能

### ▶ ユニークな要素

- Fluid116 (伝熱 - 流体連成パイプ要素)
  - パイプ内を流れる液体の熱の輸送量を考慮できる
  - 流体ソルバーを使用せずに管を通る液体の熱輸送を考慮でき、解析規模も非常に小さく収まる

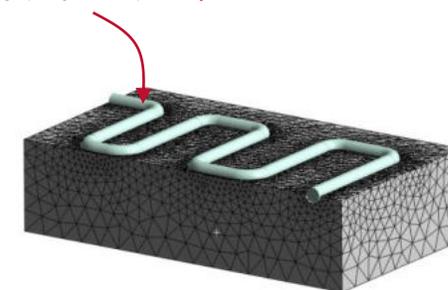


Fluid116

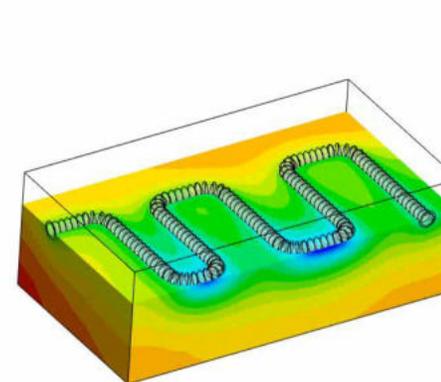


流体の入り口 20度で固定

ラインボディでモデル化



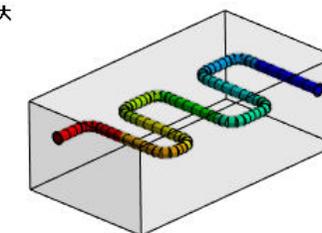
流体入り口温度を20度に固定



伝熱伝導のコピー  
タイプ: 温度  
単位: °C  
時間: 60 s  
2022/10/26 22:58

99.797 最大  
99.782  
99.768  
99.754  
99.739  
99.725  
99.711  
99.697  
99.682  
99.668  
99.654  
99.64  
99.625  
99.611  
99.597  
99.582 最小

22.011 最大  
22.01  
22.008  
22.007  
22.006  
22.005  
22.004  
22.002  
22.001  
22 最小

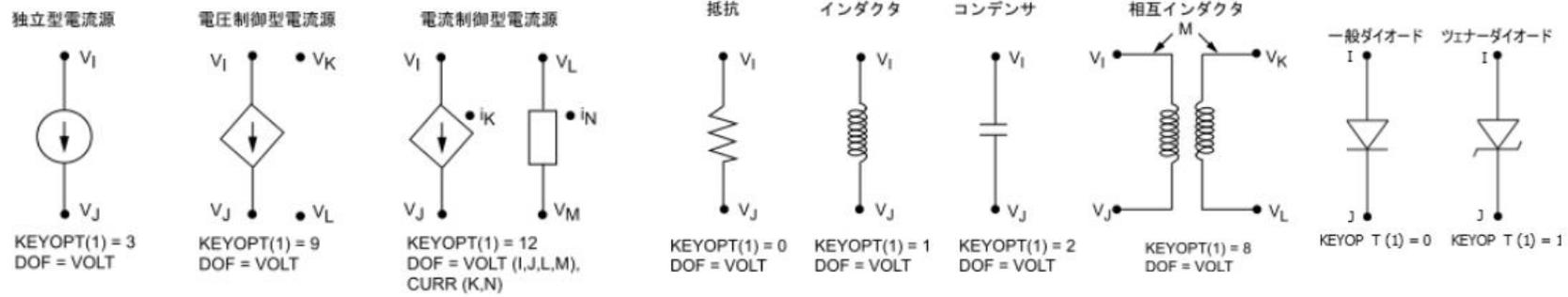


## ■ Ansys Mechanical Enterpriseのユニークな機能

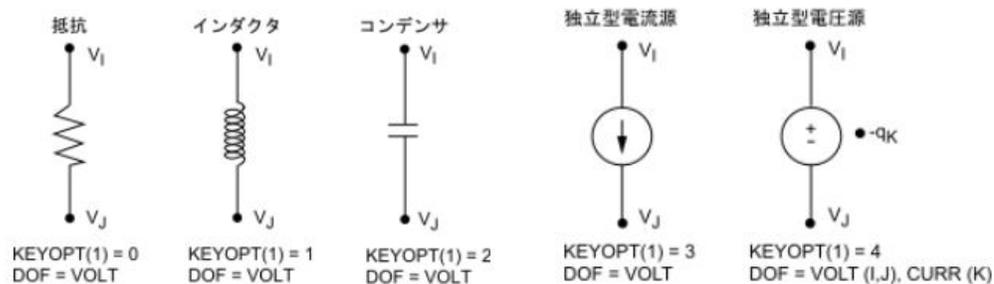
### ▶ ユニークな要素

- Circu124、125 (回路要素)

ー 電気ソリッド要素や電磁場解析要素の電極のカップリングした節点とつなぐことで、FEMとここに記述された回路との連成が可能



ー 圧電解析で回路を利用する場合は、Circu94を利用



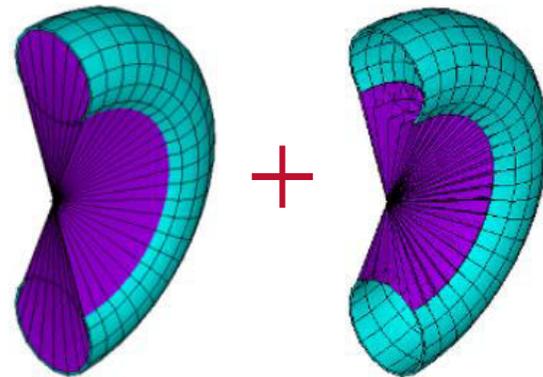
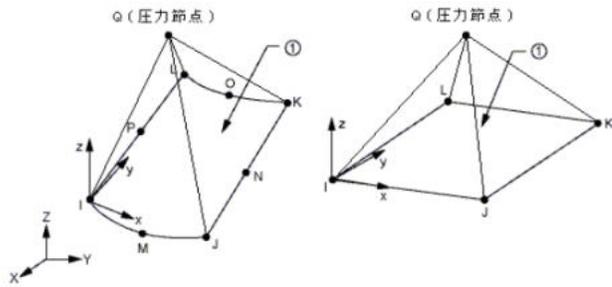
※電源は一般的な波形を入れることが出来る

## ■ Ansys Mechanical Enterpriseのユニークな機能

### ▶ ユニークな要素

- HSFLD242 (静止流体要素)

- 構造解析時に、物体内部に密閉された流体による構造側へのリアクションの考慮ができる
- 流体は気体は理想気体に基づき、液体は体積弾性率や線膨張係数 ( $\beta=3\alpha$ ) の考慮が可能

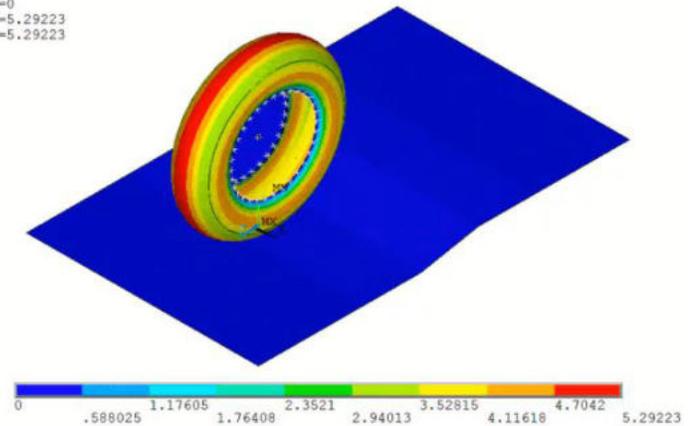


正の体積

負の体積

＝  
タイヤの内部の  
空間の体積

```
NODAL SOLUTION  
STEP=2  
SUB =2  
TIME=1.2  
USUM (AVG)  
RSYS=0  
DMX =5.29223  
SMX =5.29223
```

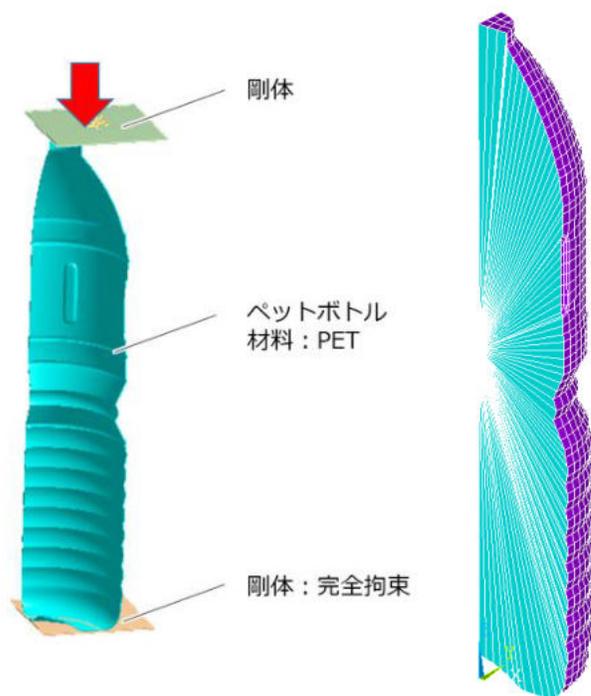


# Mechanical製品の解析機能のご紹介

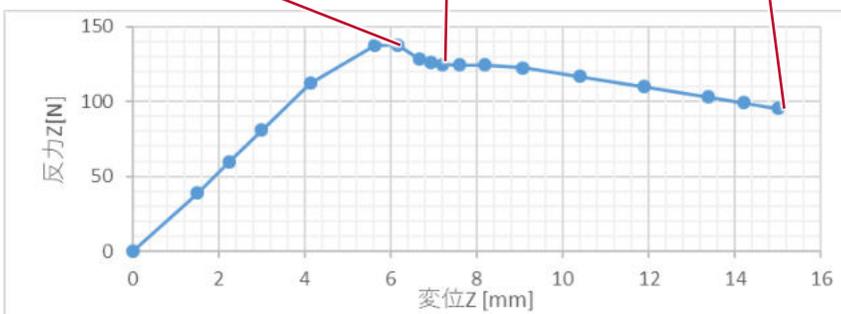
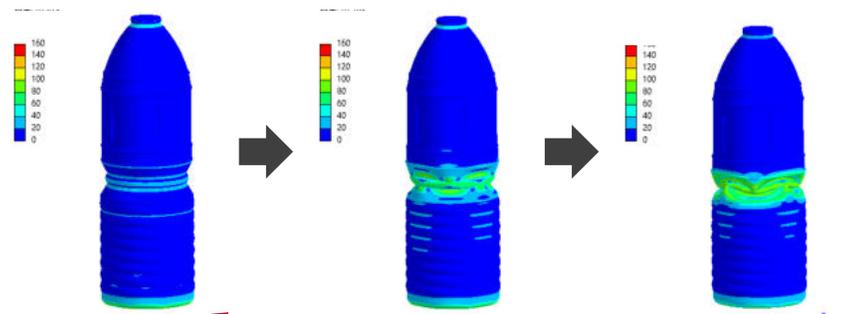
## ■ Ansys Mechanical Enterpriseのユニークな機能

### ▶ ユニークな要素

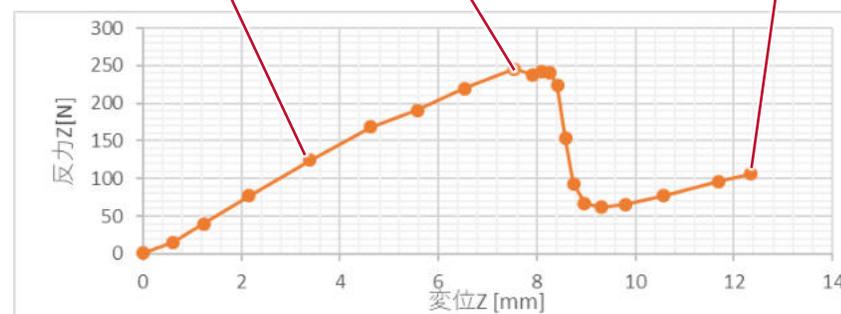
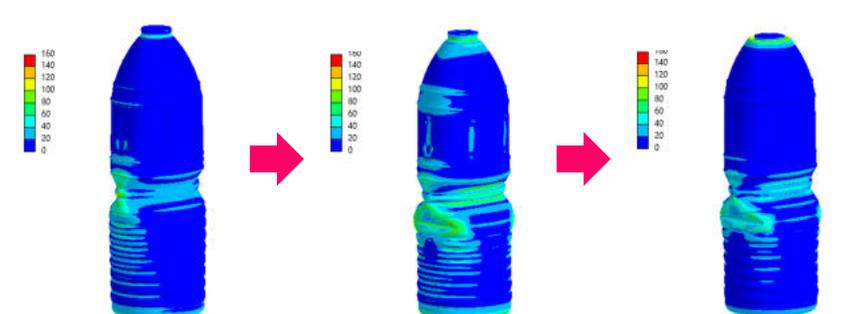
- HSFLD242 (静止流体要素)



空のペットボトル



水が満たされたペットボトル



## ■ Ansys により広がるシミュレーションの世界

### 1. Ansys全般の紹介

- 製品がカバーしている幅広い物理領域の解析機能のご紹介



Mechanical



Fluids



Electronics

LS-DYNA / Multiscale.Sim

### 2. Ansys の機能を利用した実践的な活用事例

### 3. Ansys の活用事例の紹介

- 熱関連を中心とした事例、スポット溶接などの連成解析、低次元化を利用した3D解析などをご紹介

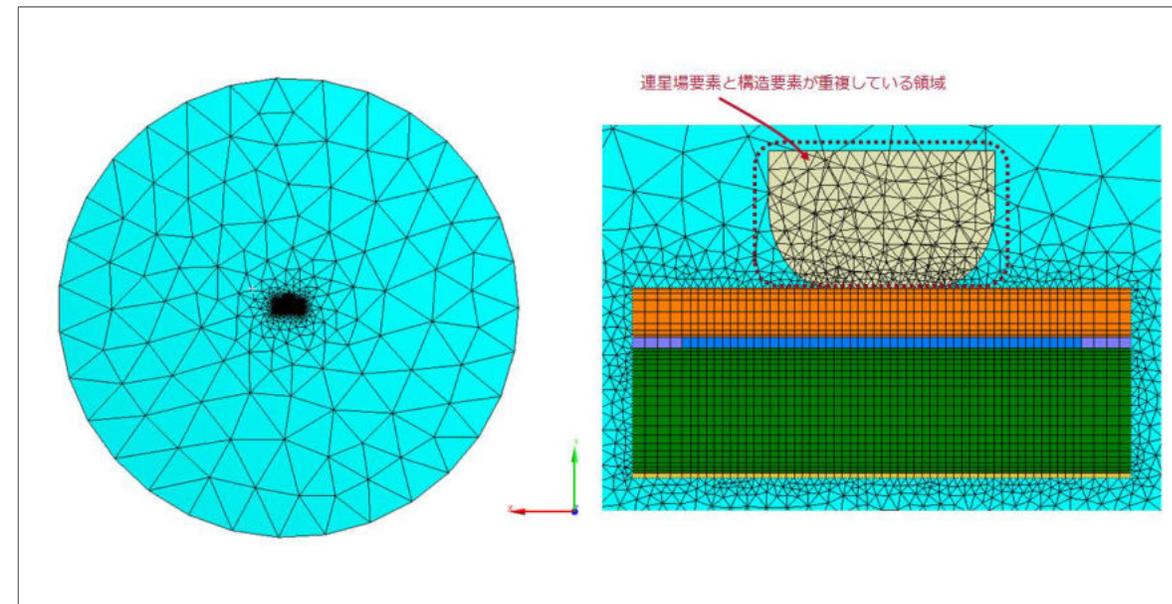
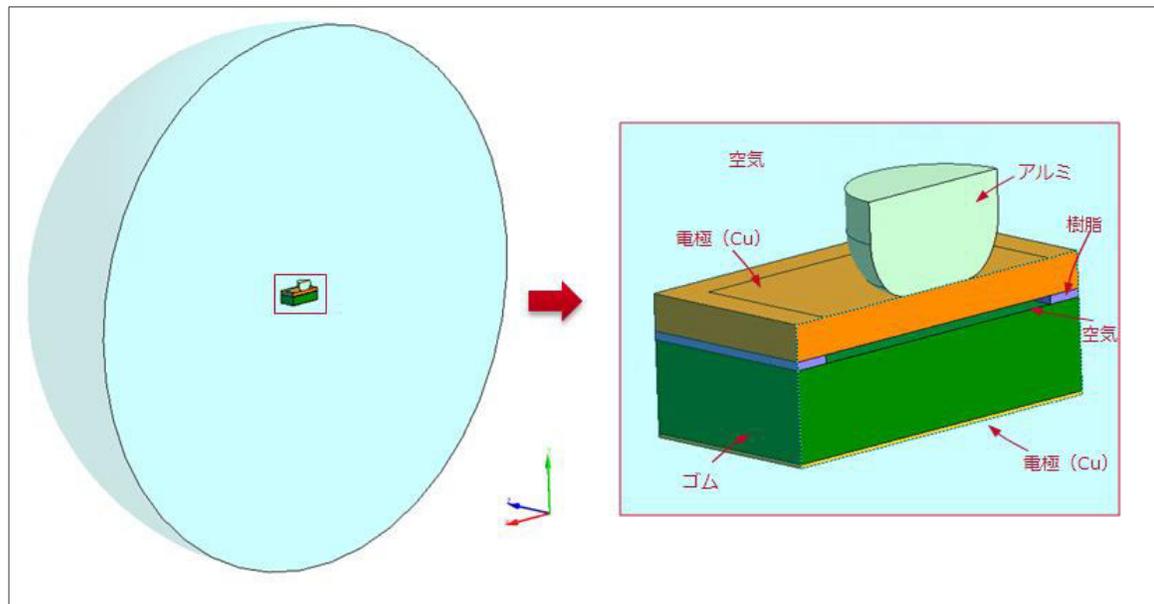
### 4. DEMO

### 5. 質疑応答

## ■ タッチペン静電容量センサー

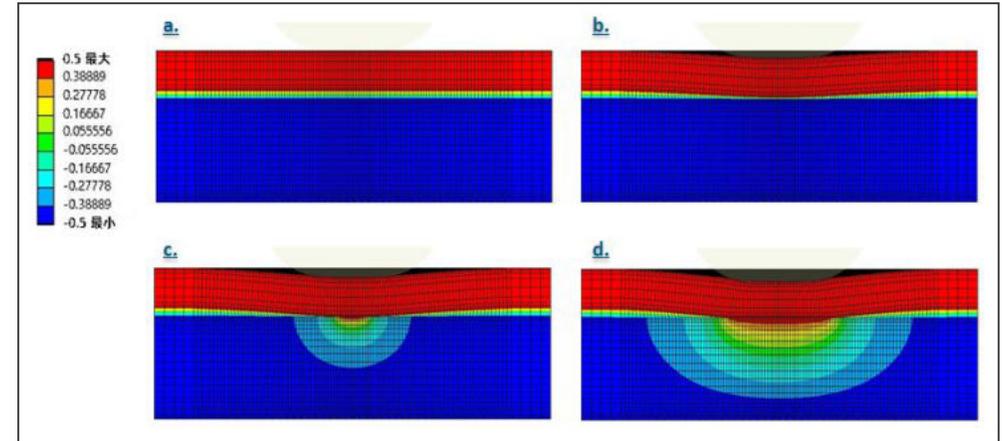
- ▶ Mechanicalの連成場要素の電場-構造キーをonに設定し、解析を実施（Keyopt(1)=1001）
- ▶ ペンの位置の変化によるキャパシタンスの変化のフィーリングの曲線を解析で計算する

場	場のキー	自由度 ラベル	節点荷重ラベル	反力解
構造	1	UX、UY、UZ	FX、FY、FZ	力
伝熱解析	10	TEMP	HEAT	熱流
電気伝導	100	VOLT	AMPS	電流
電磁誘導	200	EMF	CURT	電流
静電場	1000	VOLT	CHRG	電荷
磁場	10000	AZ	CSGZ	磁気電流セグメント
拡散	100000	CONC	RATE	拡散流量

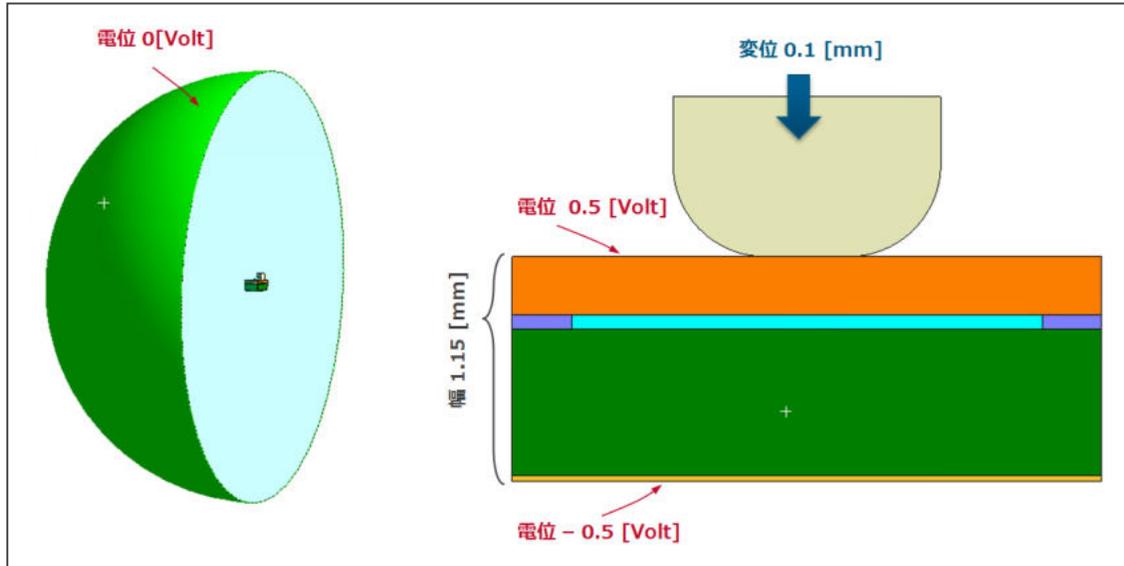


## タッチペン静電容量センサー

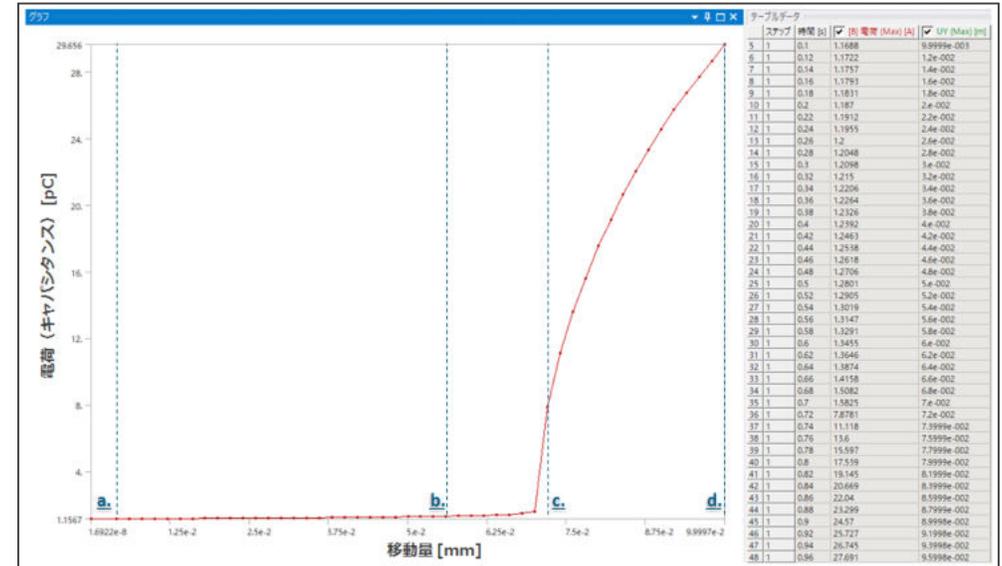
- ▶  $Q=CV$ より、1[volt]を与えることで、 $Q=C$ になるため、反力の電荷をキャパシタンスとしてGUI上で結果を確認(右下図)
- ▶ 銅とゴムの接触にvolt自由度を追加することで、接した瞬間に電場が大きく変わる様子が確認できる。



電位結果



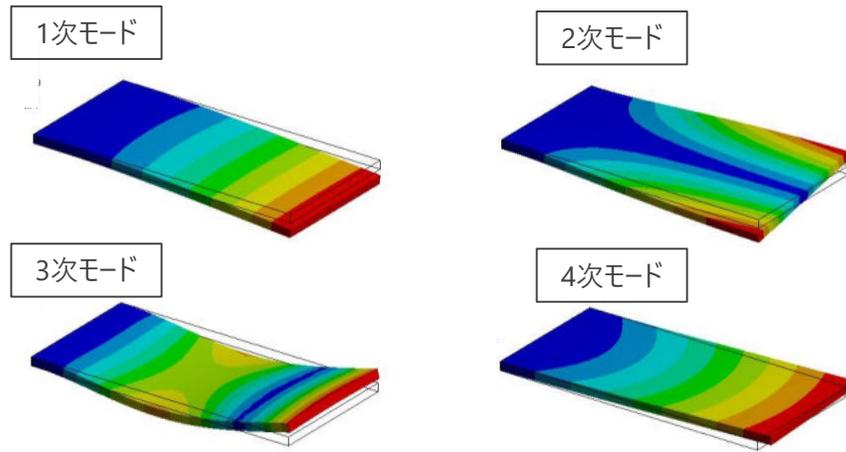
境界条件



ペンの移動量 VS キャパシタンス

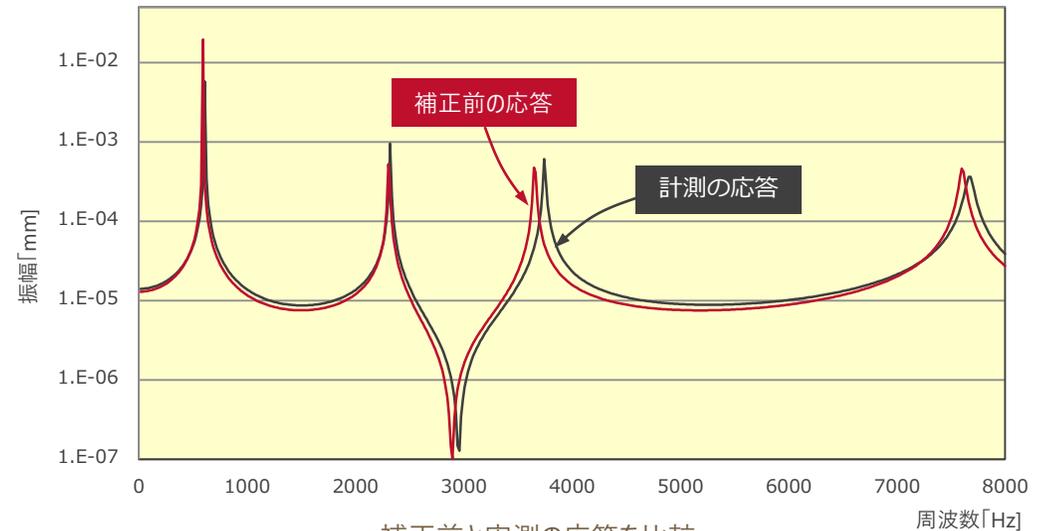
## ■ 圧電材料定数の補正

- ▶ Workbenchの**応答曲面最適化**を利用し、圧電の材料定数を補正する
- ▶ 実測と解析の共振周波数補正を目標として補正した



	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
実際の圧電マトリクス固有値[Hz]	608.68	2316.9	3736.5	6828.9
計測で得た圧電マトリクス固有値[Hz]	592.2	2305.4	3647.3	6828.8
実際の圧電マトリクスとの誤差[%]	2.71	0.50	2.39	0.00

補正前の圧電マトリクス				実際の圧電マトリクス			
	x	y	z	x	y	z	
x	0	0	-1	0	0	-2.7095	
y	0	0	-1	0	0	-2.7095	
z	0	0	16	0	0	17.961	
xy	0	0	0	0	0	0	
yz	0	12	0	0	13.945	0	
zx	12	0	0	13.945	0	0	



補正前と実測の応答を比較

## ■ 圧電材料定数の補正

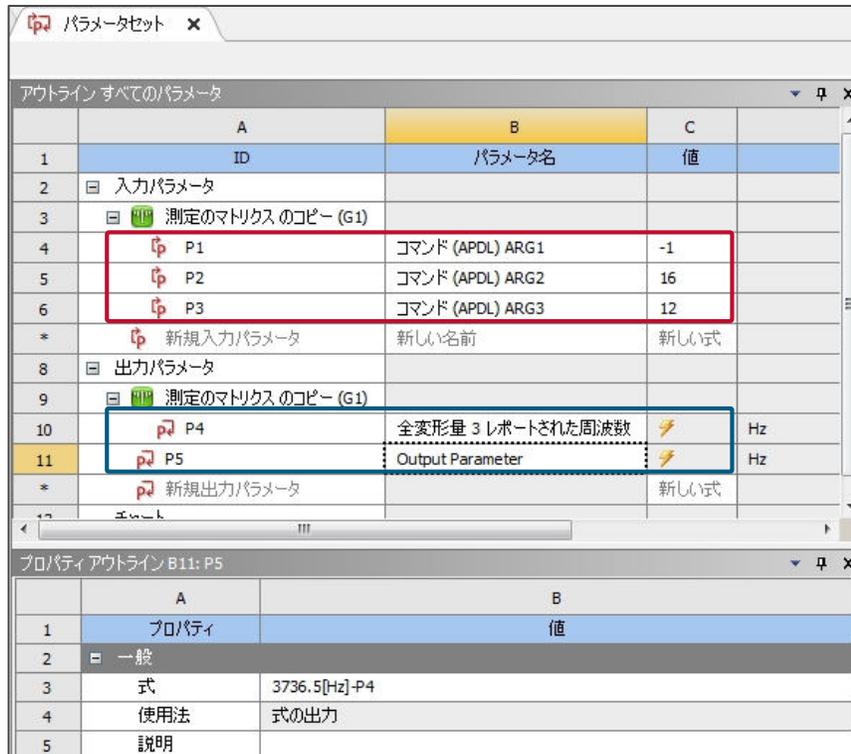
- ▶ 入力パラメータに圧電定数 3 つをパラメータに設定
- ▶ 出力パラメータに解析の固有値を設定し、**派生パラメータ**として実測の固有値と解析の固有値の差を設定（4 つの固有値分設定）
- ▶ **実測と解析の差を0**にするように入力パラメータを最適化

実際の圧電マトリクス

	x	y	z
x	0	0	-2.7095
y	0	0	-2.7095
z	0	0	17.961
xy	0	0	0
yz	0	13.945	0
zx	13.945	0	0

固有値4つ考慮

	x	y	z
x	0	0	-2.724
y	0	0	-2.724
z	0	0	17.49
xy	0	0	0
yz	0	13.2	0
zx	13.2	0	0



### 入力パラメータ

補正前の圧電マトリクス

	x	y	z
x	0	0	-1 P1
y	0	0	-1 P2
z	0	0	16 P3
xy	0	0	0
yz	0	12	0
zx	12	0	0

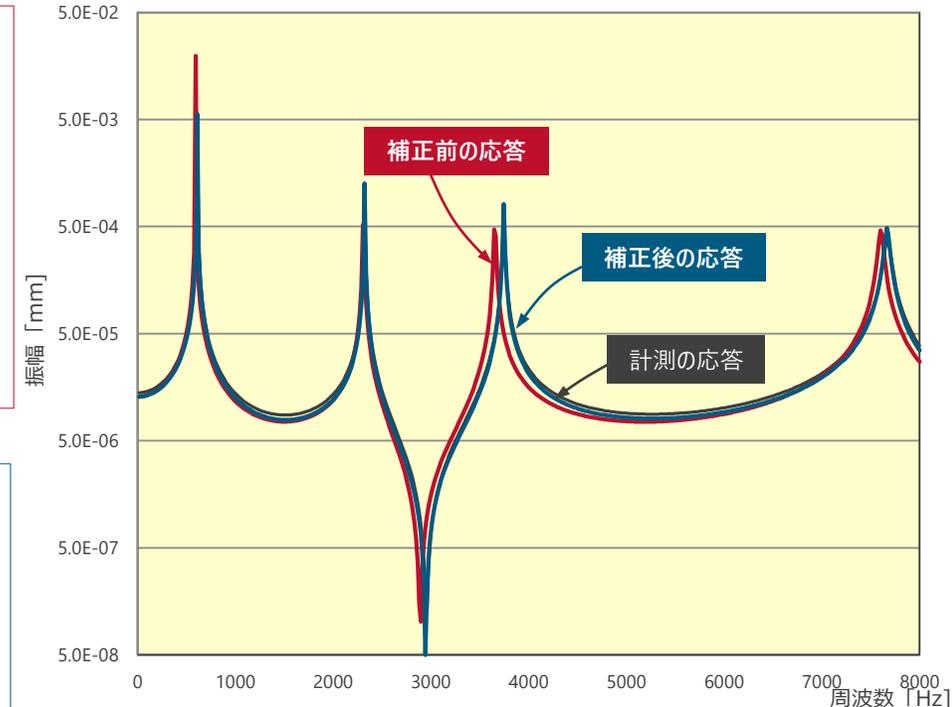
### 出力パラメータ

P4 : モーダル解析の  
3次モードの固有値

P5 :  $3736.5[\text{Hz}] - P4$

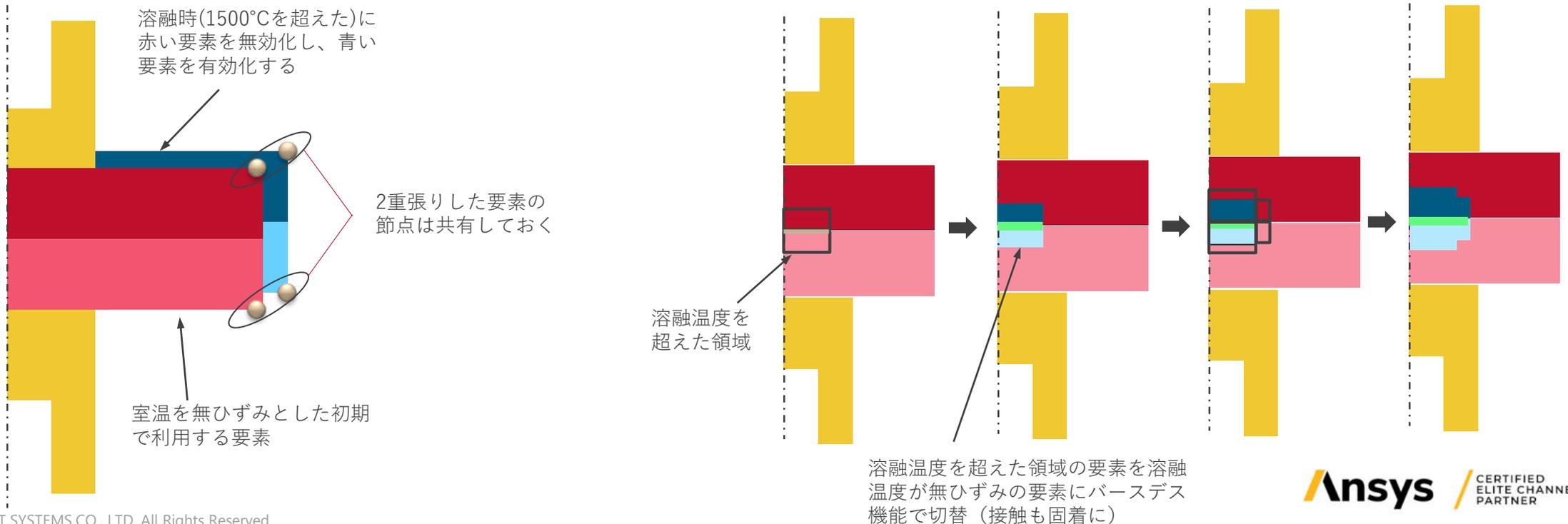
実測での固有値

※ つまり、P5は実験と解析での共  
振周波数の差



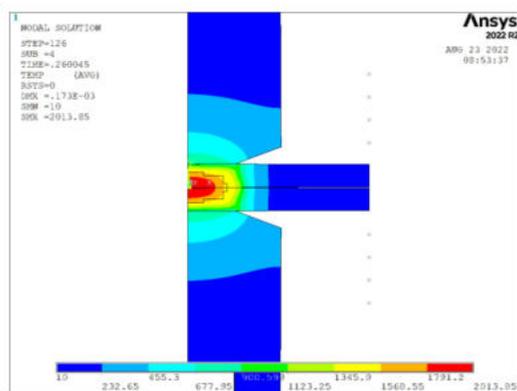
## ■ スポット溶接

- ▶ 連成場要素用い、電気/伝熱/構造の場を同時に計算
- ▶ 溶融前と溶融後では無ひずみの温度が異なるため、要素を2重張りに設定し、溶融しない要素と溶融した後の要素をバースデスで切替
- ▶ 2枚の板が溶融した後は、非線形接触からボンド接触に切替、溶接を表現

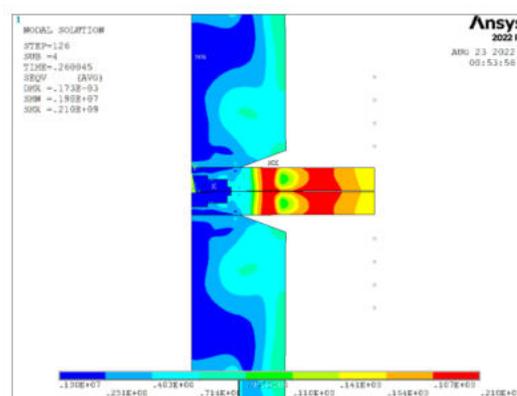


## ■ スポット溶接

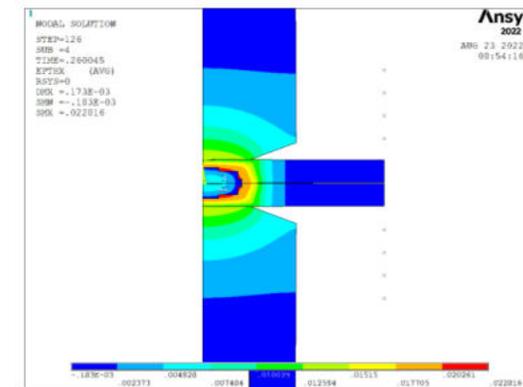
### ▶ 通電終了時結果



温度

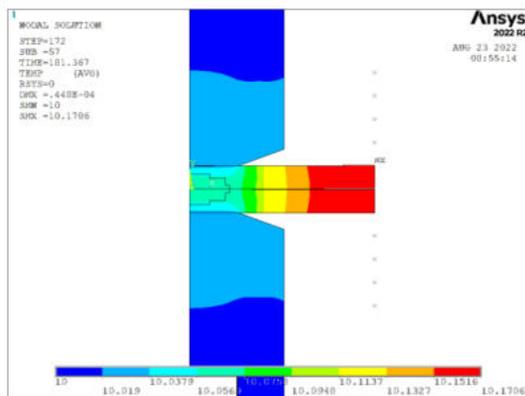


相当応力

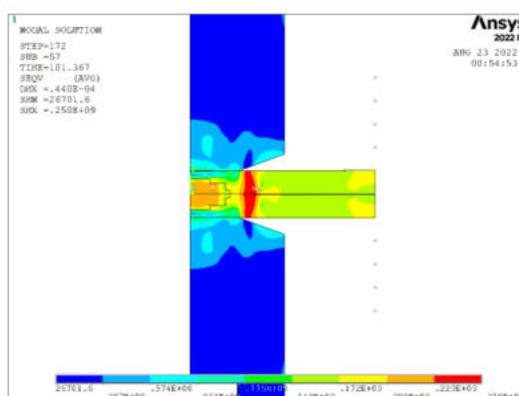


熱ひずみ(x成分)

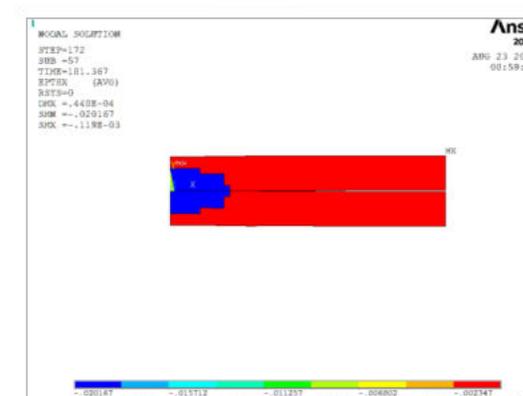
### ▶ 冷却後の結果



温度



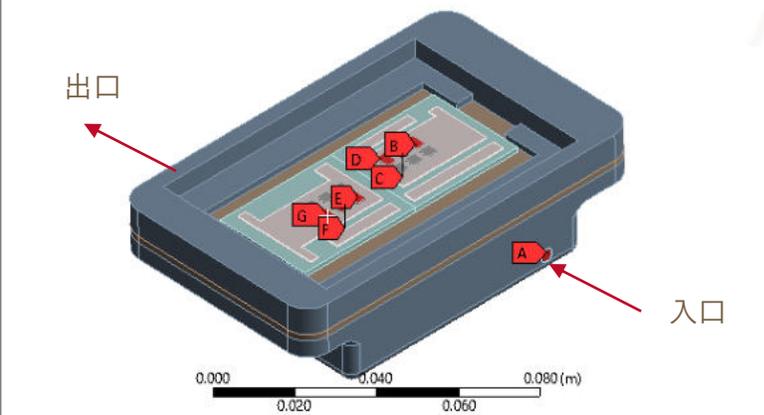
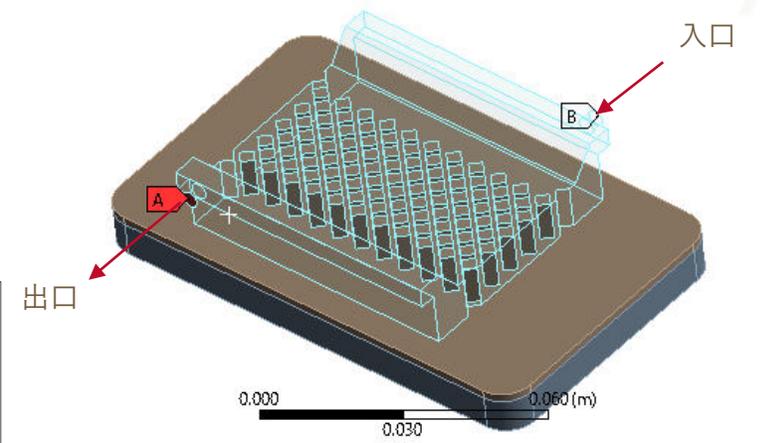
相当応力



熱ひずみ(x成分)

## IGBTの発熱によるヒートシンクの熱流体解析

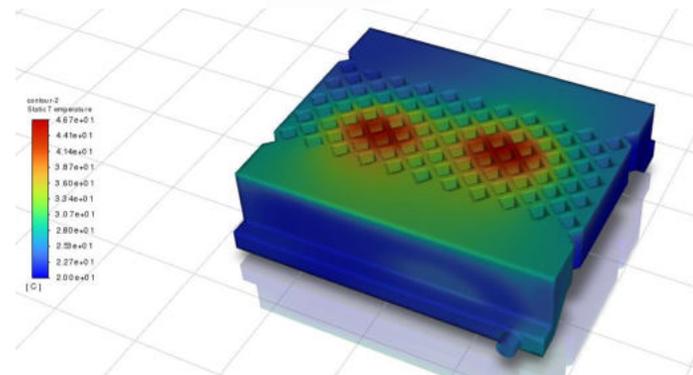
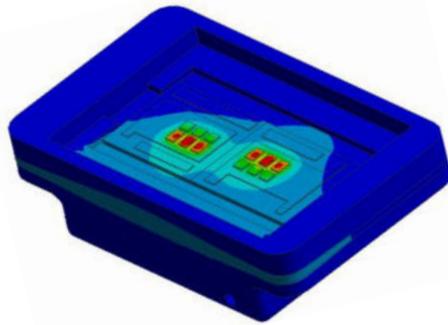
- ▶ Mechanicalの機能で、物質移送効果を用いて、水冷を表現する
- ▶ Solid278要素の新機能で、ペクレ数の制限のない物質移送効果の解析が可能に
  - これまでの伝熱要素では物質輸送効果は可能だがペクレ数の制限で自由度が低かった
  - 流体部分にメッシュを作成し、速度場をマッピングし、割と忠実な流体の物質移送を表現



システムカップリング (Fluent / Mechanical)

A: ON\_OFF解析  
温度 6  
タイプ: 温度  
単位: °C  
時間: 300 s  
2022/07/05 13:19

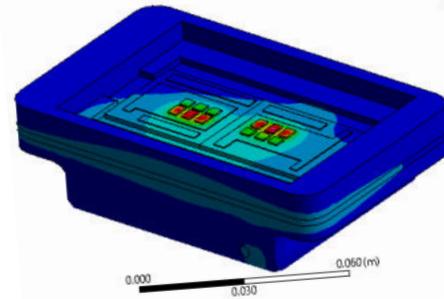
94.116 最大  
76.992  
69.868  
62.744  
55.62  
48.496  
41.372  
34.248  
27.124  
20 最小



Mechanical Only 物質移送効果

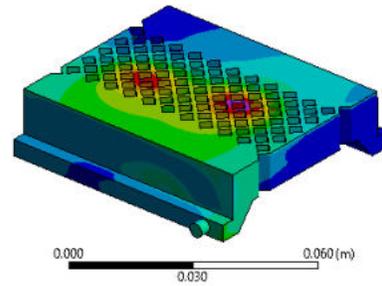
F: ON\_OFF解析  
温度 2  
タイプ: 温度  
単位: °C  
時間: 300 s  
2022/07/15 13:10

95.043 最大  
84.116  
76.992  
69.868  
62.744  
55.62  
48.496  
41.372  
34.248  
27.124  
20  
17.987 最小



F: ON\_OFF解析  
温度 3  
タイプ: 温度  
単位: °C  
時間: 300 s  
2022/07/15 13:11

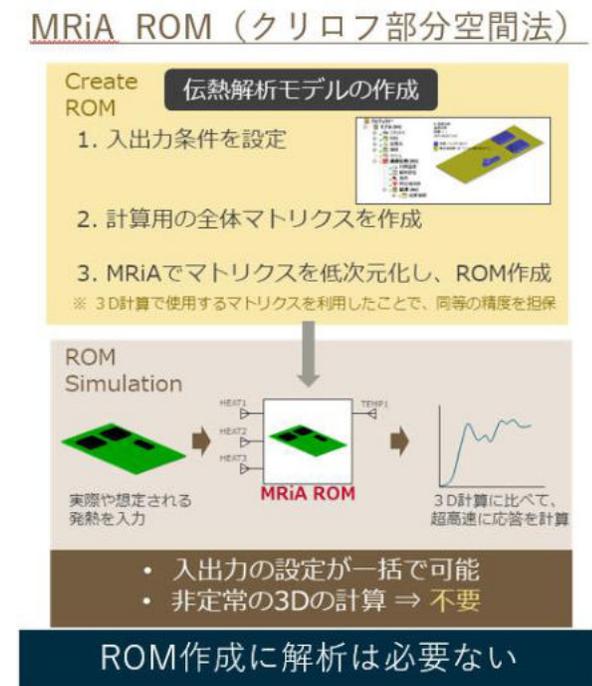
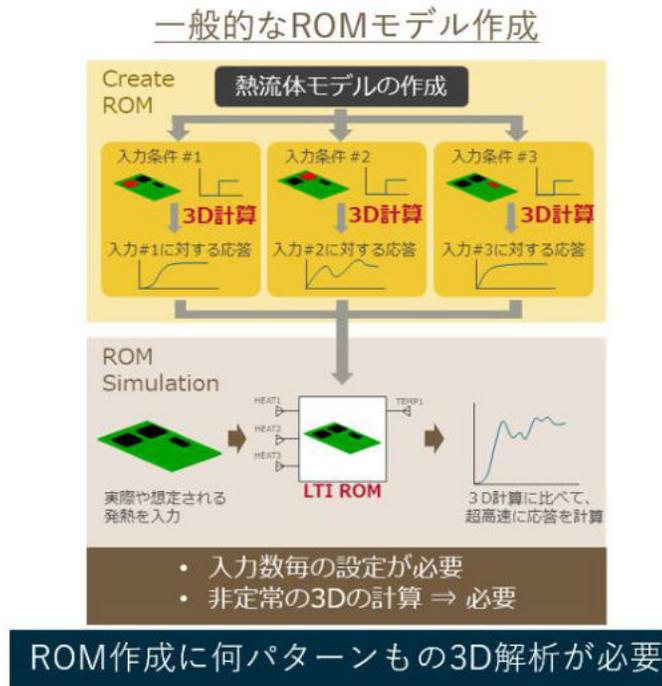
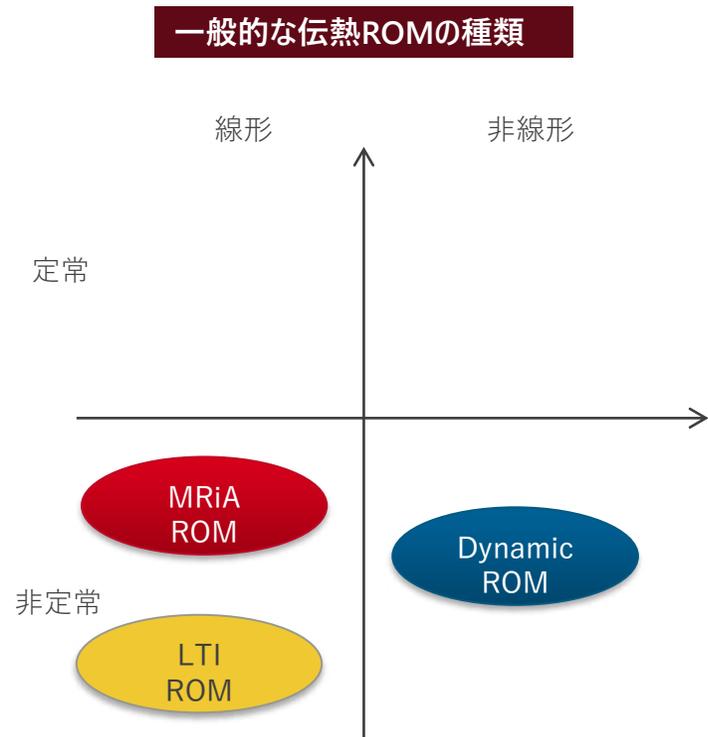
48.047 最大  
46.7  
43.733  
40.767  
37.8  
34.833  
31.867  
28.9  
25.933  
22.967  
20  
17.987 最小



※ 1 ~ 2 度の誤差

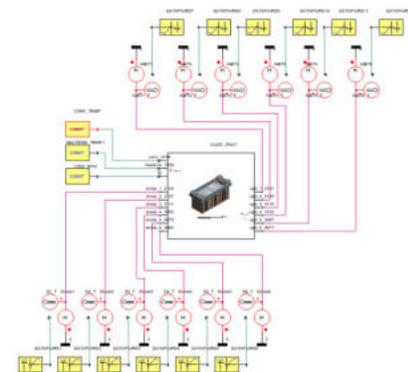
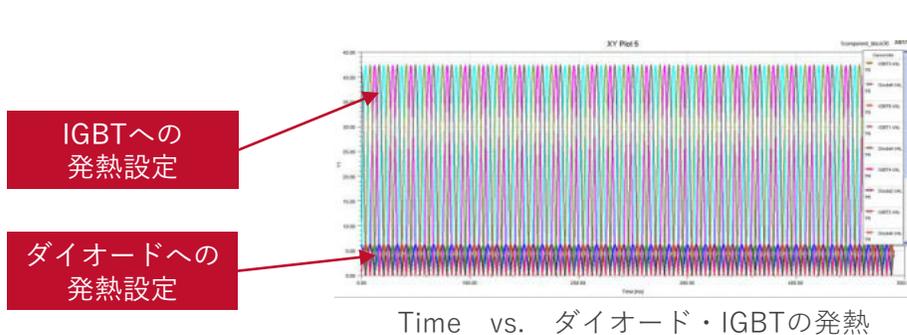
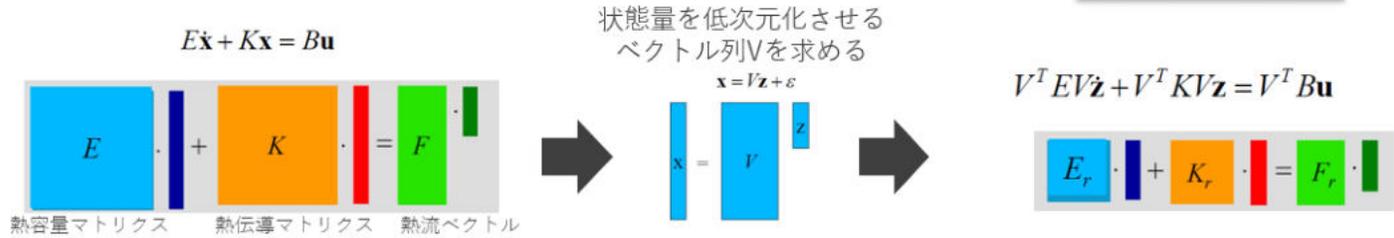
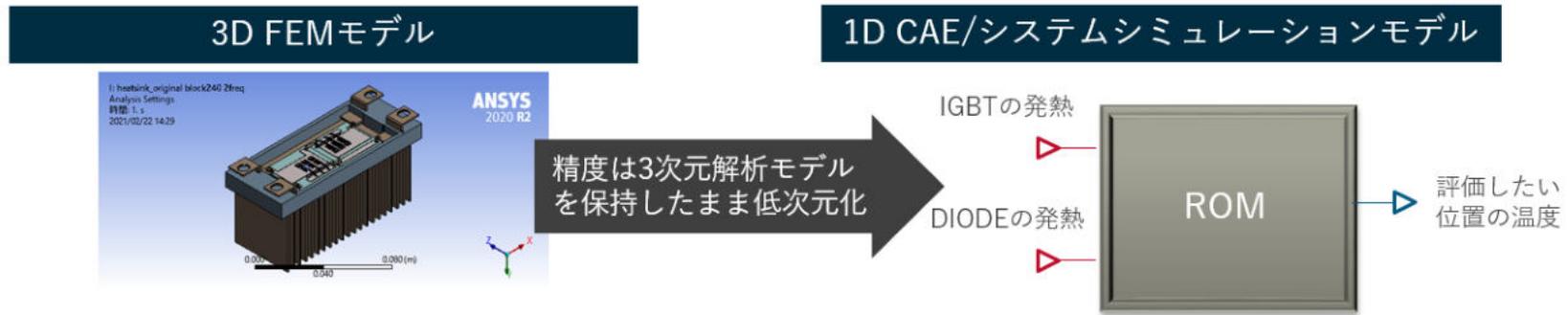
## Model Reduction inside Ansys (MRiA)

- ▶ ドイツCADFEM社によって開発されたAnsysのアドオン製品
- ▶ ROM(Reduced Order Modeling)化することで、忠実な1Dモデルを作成可能
- ▶ MRiAの利用は別途ライセンスが必要



## Model Reduction inside Ansys (MRiA)

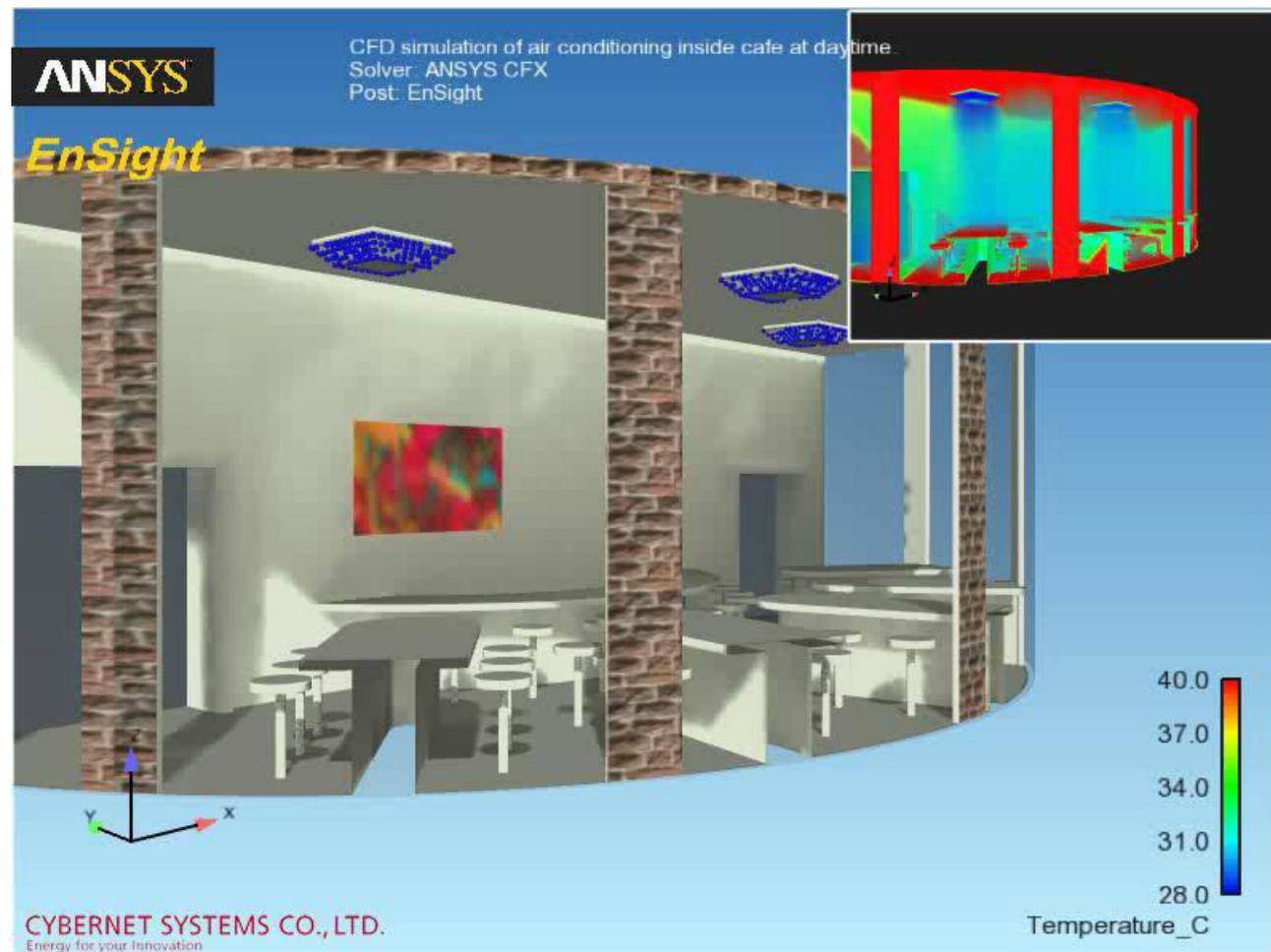
### MRiAの低次元化の方法



大規模モデルでも、低次元化することで、信号のパターンによる温度変化を高速に求めることが可能

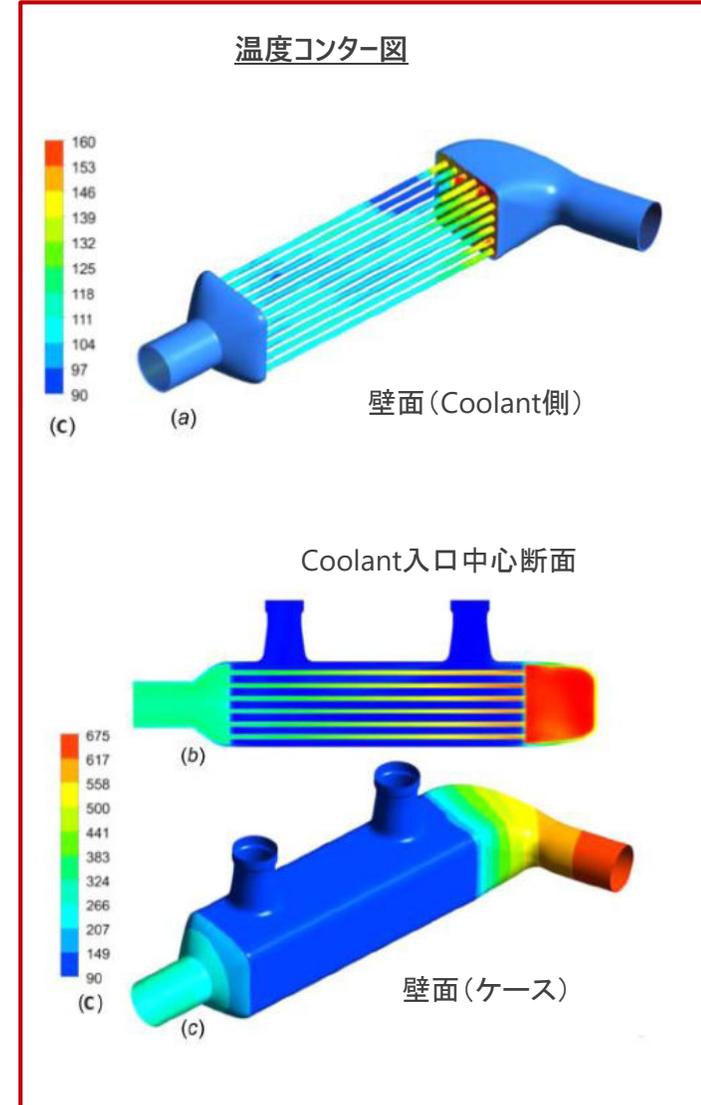
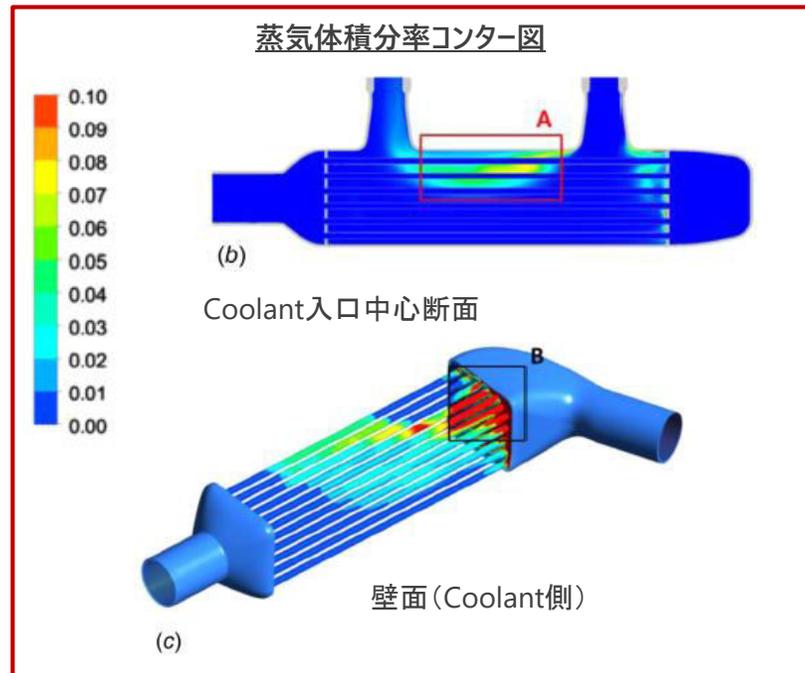
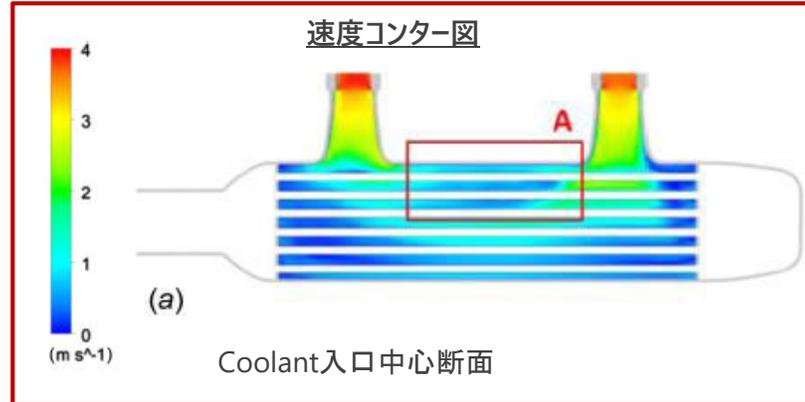
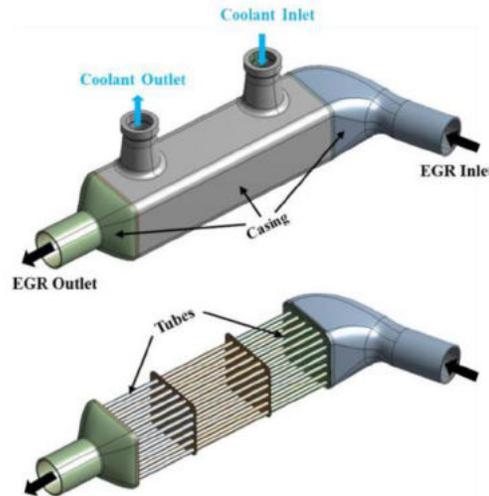
## ■ カフェの空調と日射による熱流体解析

- ▶ 太陽の日射を考慮したカフェの建屋内の空調の解析
- ▶ EnSightによる高度なポスト処理
  - Ansys CFD Premium以上のライセンスで利用可



## EGRクーラー

- ▶ 相変化（沸騰）を含む混相流解析
- ▶ Semi-mechanistic boiling (SMB) モデルを使用することで従来の複雑なモデルよりも沸騰現象をより手軽にシミュレーションすることが可能
- ▶ 現状の把握、温度むらなどの確認
  - 熱応力や疲労を考慮した温度の検証
  - よどみ領域、蒸気ポケットによる冷却性能への影響



ご清聴ありがとうございました。

# CYBERNET

サイバネットシステム株式会社  
CAE第1事業部

ホームページ | <http://www.cybernet.co.jp/ansys/>  
お問い合わせ | [anssales@cybernet.co.jp](mailto:anssales@cybernet.co.jp)