

ゴム材は柔軟な変形性能を持つ材料であり、建築物の防振部材、防水のためのシールやパッキン、動力伝達のためのベルトなど幅広い分野で利用されています。FEMIによる解析においては、そのユニークな材料非線形性を表現するための構成則や、大変形・大ひずみ問題に対応する機能が求められ、MSCのソルバーでは様々なエネルギー関数や要素テクノロジーの実装、非線形問題を最適に解くための増分荷重自動調整機能など、多くの技術によりゴム解析をサポートしています。

本ソリューションでは、これらのゴム解析において有用な機能をご提供します。

## 内容

### □ ゴム製品の解析に求められる機能

#### ● エネルギー関数による材料表現

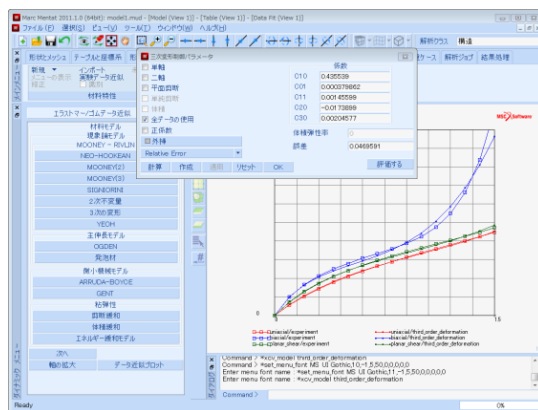
ゴムのように超弾性体挙動を示す材料の表現にはひずみエネルギー関数を用いられます。MSCのソルバーでは実績のあるエネルギー関数を実装しています。また、エネルギー関数の係数決定を実験値より同定するプログラムをプリプロセッサに搭載し提供しています。

#### ● ダメージモデル

ゴム材では使用条件によってヒステリシス現象が起こります。Marcソルバーでは応力軟化に着目したダメージモデルを搭載しており、Mullins効果などを再現します。

#### ● 大変形問題への対応

ゴムの解析では大変形や座屈といった不安定現象がつきものです。Marcソルバーでは増分値を自動的に調整する機能や初期応力マトリクスを制御するオプションなどにより、より安定的に非線形問題をシミュレートすることを実現します。



### □ ゴム製品の解析に有用な機能

#### ● 接触解析機能

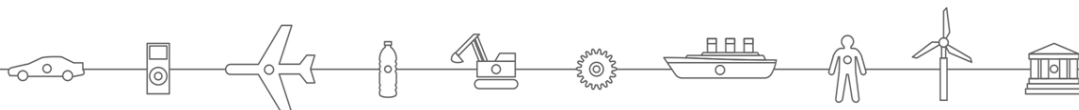
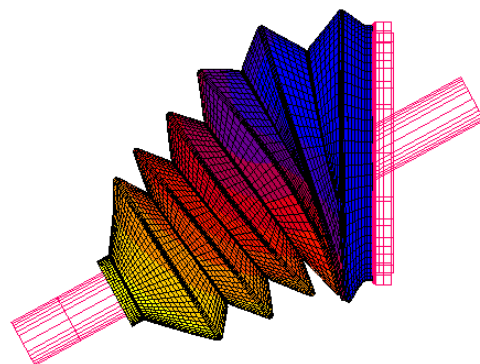
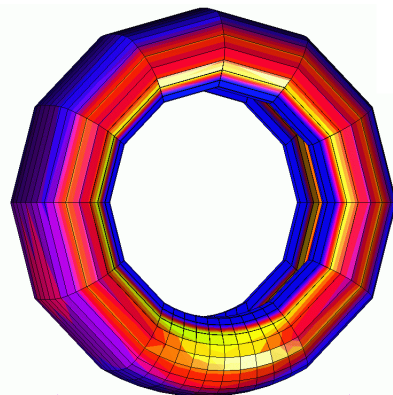
MSCのソルバーでは接触ボディの概念に基づく接触定義を採用しています。グループ単位の定義により、データ作成の煩雑さを低減できます。また、異なる二種類の接触アルゴリズムを提供しており、解析ニーズに応じて選択することで、最適なパフォーマンスを発揮することが可能です。

#### ● リゾーニング機能

ひずみが数百パーセントを超えるような大変形問題では、要素の品質低下が発生します。グローバルリメッシュ/リゾーニング機能は解析中に要素の再作成・更新を自動で行ない、過大な変形が発生しても解析を継続することを可能にします。

#### ● HPC (High Performance Computing)

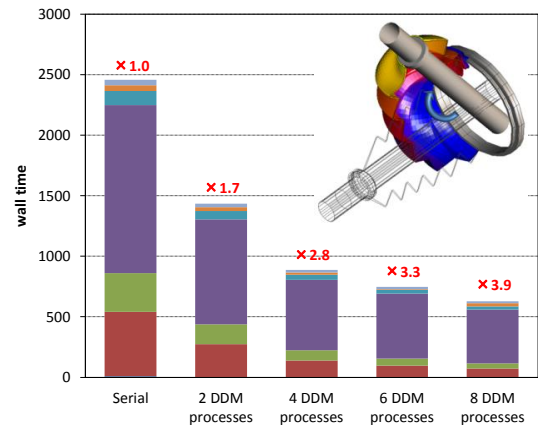
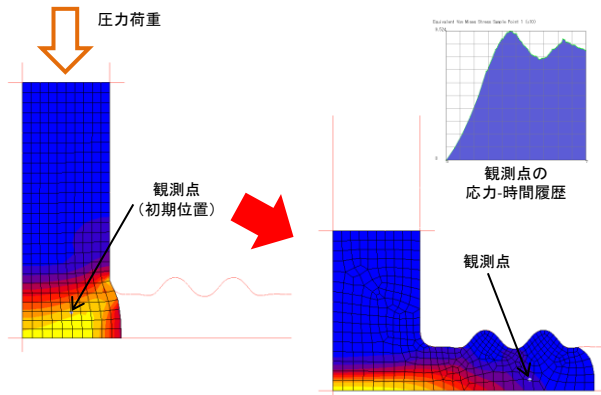
ゴム製品の解析の場合、その強い非線形性から反復法ソルバーの適用が難しい場合があります。Marcでは領域分割法 (DDM; Domain Decomposition Method) による解析プロセス全体の並列化が可能であり、且つ直接法ソルバーによるマトリクス求解の並列処理機能を提供しています。



## □ ゴム材の充填

ゴム材を管の中に充填するような現象を再現しようとする、問題となるのは要素品質の低下です。ひずみが数百パーセントを超えるような問題においては、最低限の要素品質を維持できないような大変形に達し、計算が続行できない状態に陥ることがあります。Marcにはこういった問題の解決方法の一つとして、リメッシング/リゾーニング機能があります。計算中にある設定されたクライテリアに達した要素が発生すると、それを含むコンタクトボディの要素がその時点の変形形状を基に、新しく品質の良い形のものへ再作成(=リメッシング)され、自動的に以前の要素のひずみや応力値などの状態が新しい要素に引き継がれます(=リゾーニング)。ユーザーは要素品質悪化による中断や再実行の作業に悩まされることなく、計算を進めることが可能となります。

また、Marc専用プリポストプログラムであるMarc Mentatには、任意点の結果値を抽出機能が搭載されています。これにより、リゾーニングによって計算中に節点IDなどが変更されたとしても、特定の位置の結果値処理を行なうことができます。



## □ ラバーブーツの大変形問題

ラバーブーツなどの解析では、ゴム材料を使うことに加え大変形、自己接触、座屈現象など多くの非線形性がふくまれます。こういった問題を安定的にかつ精度良く解析するためには、増分間隔や非圧縮場の取り扱いなどに配慮しなければなりません。Marcの提供する増分調整機能では、前の増分での収束具合から増分間隔を自動的に変化させ、座屈を伴うような不安定な現象も安定的に収束させることをサポートします。また、非圧縮性がもたらすマトリクスの非正定化にたいしては、初期応力マトリクスをコントロールすることで対応できます。解析スピードを向上させる手段としては、反復ソルバーや並列計算の利用が考えられます。ただ、非線形性を強く含むような問題では、反復ソルバーの利用が適さない場合も多く、プロセスの一部のみを並列化するような計算手法では高いパフォーマンスも期待できません。

MarcのDDM機能は、計算プロセス全体を分散し並列処理を行なうため、高いスケーラビリティ実現します。また、マトリクス求解を直接法で並列処理するマトリクスソルバーと組み合わせて利用することが可能なため、不安定現象を含むような非線形問題においても、信頼ある直接法求解で解くことができます。

## ソリューションセミナー

本ソリューションの詳細はセミナー形式にて皆様へご紹介します。

### □ アジェンダ

- ゴム材料の解析
  - ・ エネルギー関数
  - ・ 材料定数の同定
  - ・ 非圧縮要素
  - ・ ダメージモデル
- ゴム解析でのよく使用する数値解法
  - ・ 初期応力マトリクスの取り扱い
  - ・ 自動増分機能
- ゴム解析に有効な機能
  - ・ 接触解析機能
  - ・ リゾーニング解析機能
  - ・ 領域分割法による計算

### □ 対象者

- ゴム材を用いた製品のシミュレーションにご興味がある方
- ゴム材を用いた製品のシミュレーションに問題を抱えられている方

### □ お問い合わせ先

- 担当営業: \_\_\_\_\_
- または
- マーケティング部: [mscj.market@mscsoftware.com](mailto:mscj.market@mscsoftware.com)

※ アジェンダの内容は、お客様のご希望に応じて変更される場合があります。

## エムエスシーソフトウェア株式会社

本 社 〒160-0023 東京都新宿区西新宿1丁目23番7号 新宿ファーストウエスト8F  
 TEL.03-6911-1200 FAX.03-6911-1201

大阪営業所 〒532-0003 大阪市淀川区宮原3丁目5番36号 新大阪トラストタワー3F  
 TEL.06-6393-0701 FAX.06-6393-0702

名古屋営業所 〒450-0001 名古屋市中村区那古野1丁目47番1号 名古屋国際センタービル18F  
 TEL.052-589-8505 FAX.052-561-0339