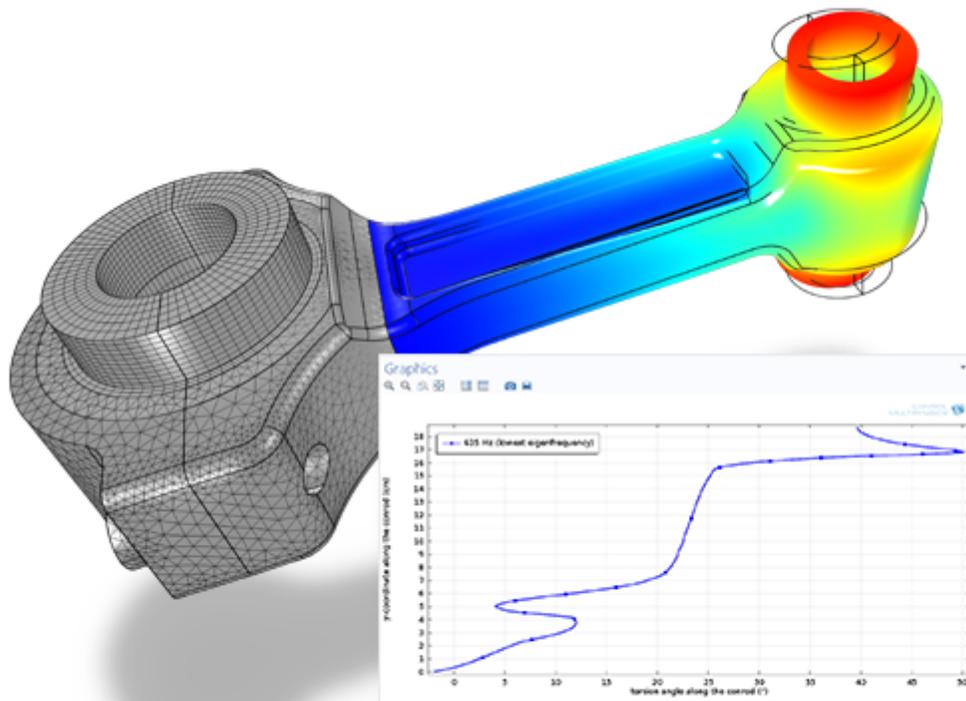


Perform Mechanical Analyses with the Structural Mechanics Module



最低固有周波数におけるコンロッド沿いのねじれ角を示すコンロッドの固有周波数解析。

静的、過渡的、周波数領域の構造解析

構造力学モジュールは、静的負荷や動的負荷を受ける機械構造の解析専用のモジュールです。このモジュールは、静的、過渡的、固有モード/モーダル、パラメトリック、準静的、周波数応答、座屈、プレストレストなどさまざまな解析タイプに利用できます。

構造解析を補強し補完するアドオン製品

構造力学モジュールには、2次元、2次元の軸対象、固体の3次元座標系、シェル(3次元)、プレート(2次元)、トラス(2次元、3次元)、薄膜(2次元軸対象、3次元)、ビーム(2次元、3次元)解析用のユーザーインターフェースがあります。これらのインターフェースでは、幾何学的非線形による大変形解析、機械的接触、熱歪み、圧電材料、流体構造連成(FSI)を処理します。非線形材料解析には、非線形構造材料モジュール(/nonlinear-structural-materials-module)とジオメカニクスモジュール(/geomechanics-module)という2つのアドオン製品を用意しました。疲労寿命評価には、柔軟体と剛体力学のモデル化用として 疲労解析モジュール(/fatigue-module)、またアドオンのマルチボディダイナミクスモジュール(/multibody-dynamics-module)があります。構造力学モジュールは、COMSOL Multiphysics(/comsol-multiphysics)やその他用途固有のモジュールと連携して機能し、機械構造と電磁場、流量、化学的反応間の連成など、さまざまなマルチフィジックス現象の構造解析と連成できます。

材料モデル

構造力学モジュールの構成的モデルには、線形弾性モデルと粘弾性材料モデルのほか、直交異方性の材料や減衰をともなう材料があります。組み込みの材料モデルは、非線形構造材料モジュール(/nonlinear-structural-materials-module)と ジオメカニクスモジュール(/geomechanics-module)を追加して拡張でき、大きな歪みプラスチック変形、超弾性材料、可塑性、クリープ、粘塑性、岩、コンクリート、土の解析が可能です。ユーザー定義の材料を入力できる大きな柔軟性もあり、COMSOLの方程式を操作しやすいユーザーインターフェースを使用できます。さまざまな事例としては、従来のユーザーサブルーチン方式は、構成的な方程式をグラフィカルユーザーインターフェースに場変数、応力、歪み不変式、導出量の数学式として直接入力するやり方になりました。たとえば、ヤング率は必ずしも定数ではありませんが、場変数の関数やその導関数になる場合があります。材料特性は、空間や時間で変化します。あるいは複素数値式で記述することもできます。

負荷、制約、そして特殊な高パフォーマンスモデル化ツール

さまざまな負荷や制約を利用できます。これらの負荷や制約には、合力、圧力負荷、追従負荷、ばね、ダンパー、負荷質量、規定変位、速度、加速度があります。薄い弾性部品をモデル化するとき、特殊な薄い弾性層インターフェースを使用できます。さらに、特殊な剛性領域と剛性境界条件では、剛構造と軟構造を マルチボディダイナミクスモジュール (/multibody-dynamics-module) の持つ機能と組み合わせることができます。弾性材料の大きな基質に埋め込まれた、あるいはその上にある小さな構造をモデル化するとき、専用の無限要素領域特性を利用してください。この領域特性は、ゆっくり減衰する応力の吸収をシミュレートします。精度を損なうことなく、切り取られた小さな領域をシミュレートできる一方、大きな構造を効率的にシミュレートできます。

固体力学

構造力学モジュールの固体力学インターフェースは、応力解析の数量と機能、および一般線形固体力学と非線形固体力学を定義し、変位を解決します。線形弾性材料はデフォルト材料モデルです。他の材料モデルには、超弾性 (非線形構造材料モジュールが必要) と線形粘弾性材料モデルがあります。また、弾性材料モデルは、熱膨張、減衰、初期応力、歪みの各機能で拡張できます。一般非弾性歪みは、追加で初期歪み寄与を入力すれば簡単に定義できます。また、電磁から流量に至る物理特性場の関数としても使用できます。このモジュールの弾性材料の記述には、直交異方性材料と、完全に異方性な材料が含まれています。それぞれの材料係数は、定数、変数、参照テーブル、そして空間と時間で変化する複合式や非線形式で記述できます。COMSOL Multiphysics は、どのような式でも解釈できます。そのため、プログラミングを頼らなくても COMSOL Desktop® 環境からそのまま高度なモデル化タスクに対応できます。

大きな変形と機械的接触

構造力学モジュールでは、幾何学的非線形負荷と追従負荷による大きな変形をモデル化できます。負荷は、分散でき、電磁力や流量力などの他の物理特性を影響因子にすることができます。もちろん機械的接触を利用でき、マルチフィジックスとして有効です。たとえば、接触している境界全体の熱流束 (伝熱モジュールが必要) や電流 (AC/DC モジュールが必要) を操作して接触応力で電流や熱の電圧を伝達範囲をシミュレートできます。

シェル、プレート、薄膜

ミンドリン・ライスナー定式化をベースにしたシェルは、薄壁構造の構造解析に利用できます。厚いシェルもシミュレートできるように、横せん断変形も説明できます。選択した表面に垂直な方向なオフセットを指定できます。シェルインターフェースには、減衰、熱膨張、初期応力、歪みなどの機能も組み込むことができます。利用できる設定済みのスタディは、固体力学インターフェースと同じものです。シェルインターフェースと同じく、プレートインターフェースは、1枚の平面で動作しますが、通常面外負荷のみ使用します。

薄膜インターフェースは、曲面応力要素を3次元でモデル化します。内面方向と外面方向の両方に変形する可能性があります。シェルと薄膜間の違いは、薄膜には曲げ剛性がない点です。このインターフェースは、薄い膜や織物などの構造のモデル化に適しています。

振動波、音響波、弾性波

振動解析では、音響モジュール (/acoustics-module)により、音響特性に対するさまざまなオプションの連成を利用できます。構造力学モジュールを音響モジュールと組み合わせると、音響シェル連成の専用ツールをアクセスできます。音響モジュールには、固体-音響と圧電-音響連成用の追加フィジックスインターフェースがあります。材料内を伝播する弾性波について、構造力学モジュールは、低反射率境界と完全整合層を用意し、送出弾性波が吸収される様子がシミュレートされます。この機能により、比較的大きな媒質や無限媒質の中の振動構造から外に向けて伝播する波形を簡単にモデル化できるようになりました。

疲労評価

構造力学解析に疲労解析モジュールを追加すると、構造疲労寿命計算ができます。高サイクルと低サイクルの両方の疲労手法、損傷解析を利用できます。疲労解析モジュールは構造力学モジュールと密に統合されており、構造力学計算や疲労計算はCOMSOL Desktop®環境から出ずに実行できます。疲労解析モジュールは、固体力学、シェル、プレート、マルチボディダイナミクスインターフェースと連携できるほか、熱応力、ジュール加熱とともに熱膨張や圧電装置をシミュレートするフィジックスインターフェースと連携できます。

ビームとトラス

構造力学モジュールにおけるビーム要素は、面積や慣性モーメントなど断面特性ですべて記述できる、細長い構造(ビーム)の解析を目的としたものです。このモジュールは、平面と3次元両方のフレーム構造をシミュレートします。固体やシェル構造の補強の解析など、他の要素タイプと連成できます。ビームイン

ターフェースには、長方形、ボックス、円形、パイプ、Hプロファイル、Uプロファイル、Tプロファイルのビームセクションのライブラリがあります。その他の機能としては、減衰、熱膨張、初期応力、歪みがあります。独立した2次元フィジックスインターフェース、ビーム断面で任意の2次元断面の断面特性を評価してビーム解析の入力として利用できます。

トラスインターフェースは、軸力のみを支持する細長い構造のモデル化に使用できます。トラスでは、小さな歪みのほか、大きな変形歪みも指定できます。トラス構造の例としては、ストレートエッジのトラス製品、重力にさらされるケーブル(たわんでいるケーブル)があります。その他の機能としては、減衰、熱膨張、初期応力、歪みがあります。

熱応力

構造力学モジュールは、COMSOL Multiphysics と連携でき、他のアドオンモジュールモデルと統合して、さまざまなマルチフィジックス用途をモデル化できます。多くの専用マルチフィジックスインターフェースが組み込まれています。たとえば、熱応力インターフェースは、固体力学インターフェースと同じですが、熱線形弾性材料モデルが追加されています。このインターフェースは、各種伝熱インターフェースと組み合わせて、温度場を構造の(材料)膨張に連成することができます。特別なジュール加熱と熱膨張マルチフィジックスインターフェースは、熱応力をジュール加熱と結びつけて、構造内の電流伝導、それにとともなう構造内の抵抗損による電気加熱、温度場で誘発される熱応力を記述します。

他のモジュールにある追加の機械的なモデル化機能

MEMS モジュール (/mems-module)には、マイクロ力学システム特有の構造シミュレーションの専用ツールがあります。このモジュールには、圧電抵抗、電気機械的偏差、熱弾性振動のためのフィジックスインターフェースのほか、圧電装置を解析するためのその他高度なモデル化ツールがあります。力学解析の面からは、音響モジュール (/acoustics-module)は音響圧力波および弾性と多孔質弾性波伝搬と組み合わせて構造振動に対応しています。地下水流モジュール (/subsurface-flow-module)は、多孔質弾性と多孔質媒体流の組み合わせで固体力学インターフェースを強化します。

CAD および最適化

CAD インポートモジュール (/cad-import-module)では、さまざまな業界標準の CAD 形式をインポートでき、メッシュ化や解析のための CAD モデルの準備に対応したジオメトリククリーンアップや修復操作が可能です。CAD インポートモジュールは、COMSOL ネイティブカーネルでサポートしていたものより高度なソリッド操作のための周知のParasolid®ジオメトリカーネルを用意しました。電子構造の力学シミュレーション用の ECAD インポートモジュール (/ecad-import-module)では、電子レイアウトのインポートができます。機械的部品やアセンブリを解析するときは、モデルパラメータを再構築しなくてもパラメータのスタディと最適化ができるよう、CAD ネイティブのパラメトリックモデルを維持することが大事です。そのためには、以下ようないくつかの代表的な CAD システムで利用できる CAD 用の LiveLink™ 製品を使用する必要があります。 SOLIDWORKS® (/livelink-for-solidworks)、 s、 Inventor® (/livelink-for-inventor)、 AutoCAD® (/livelink-for-autocad)、 PTC® Creo® Parametric™ (/livelink-for-creo-parametric)、 PTC® Pro/ENGINEER® (/livelink-for-proengineer)、 Solid Edge® (/livelink-for-solid-edge)。以上の製品は、本 CAD システムと COMSOL におけるジオメトリパラメータを同時アップデートしており、異なるいくつかのモデル化パラメータに対するパラメトリックスイープと最適化が可能です。 最適化モジュール (/optimization-module)を組み込めば、幾何学的寸法、境界負荷、あるいは材料特性の自動最適化が可能です。

圧電装置

圧電装置インターフェースは、COMSOL の固体力学と静電学のモデル化機能を組み合わせて、圧電材料モデル化用の完全な連成ツールを実現しました。圧電結合は、周波数-スイープ計算、固有モード計算、過渡計算と完全に連成した応力-電荷形式または歪み-電荷形式のいずれかです。固体力学機能と静電機能は、すべてこのフィジックスインターフェースでアクセスでき、周囲の線形弾性体や空気領域だけでなく、たとえば誘電体層もモデル化できます。

流体構造連成 (FSI)

流体構造連成 (FSI) マルチフィジックスインターフェースは、流量構造と固体構造を結びつけて、流体と固体構造間の連成を捉えます。固体力学インターフェースと層流インターフェースは、それぞれ、固体と流体をモデル化します。FSI 連成は、流体と固体の境界に発生し、流体圧力と粘性力の両方のほか、固体から流体への運動量移動 (双方向 FSI) が関わってきます。FSI に使用する方法を任意のラグランジュ・オイラー (ALE) 法として知られています。

機能

- 音響-構造連成¹
 - ビーム
 - 生物力学
 - 座屈と後座屈
 - 接触解析
 - 疲労評価²
 - 流体構造連成 (FSI)
 - 幾何学的非線形性
 - 大変形

 - 潤滑と弾性流体力学³
 - 薄膜
 - モード解析
 - マルチボディダイナミクス⁴
 - 非線形材料⁵
 - 圧電素子
 - 多孔質弾性⁶
 - プレストレスト構造
 - ローターダイナミクス

 - シェル
 - ソリッド
 - 応力光学効果
 - 構造的接触と摩擦
 - 構造最適化⁷
 - 構造振動
 - 熱応力
 - トラス
 - 粘弾性
-