



音響と振動解析

はじめに

COMSOL Multiphysicsは偏微分方程式に基づくマルチフィジックスシミュレーションソフトウェアです。振動と音響シミュレーションには次のようなアプリケーションがあります。

- 自動車部品のノイズ性能
- スピーカー、その他オーディオ部品の設計
- 構造-音響、構造-流体の相互作用
- 機械振動
- 流体音響
- 圧電素子と超音波

COMSOL Multiphysics環境

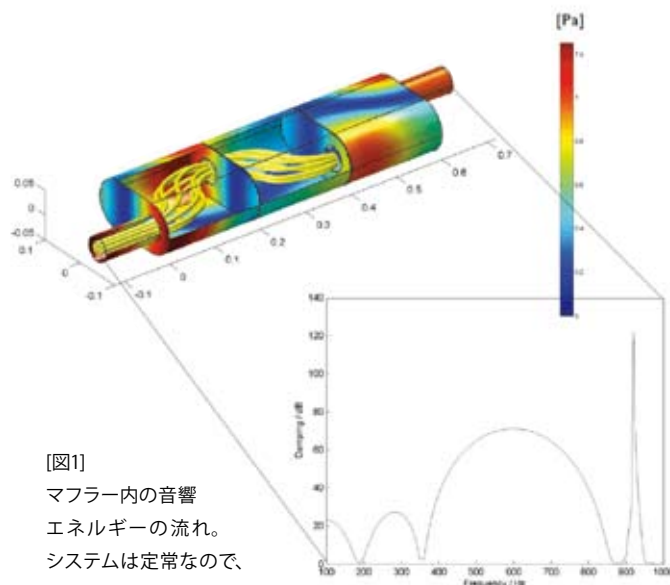
統合 GUI 環境でマルチフィジックスモデルの作成、解決、後処理が対話的に行えます。COMSOL Multiphysics標準の方程式ベースのモデリングと物理アプリケーション用のモデリング環境に加え、構造力学モジュールは専用アプリケーションインターフェース、ソルバ、要素を提供します。

- 構造解析用の板、梁、シェル要素
- 静的、動的、固有振動数、周波数応答解析
- 複素数式、材料特性を完全サポート

COMSOL Multiphysicsは方程式と境界条件の定義において完全な柔軟性があります。様々な音響現象や波動伝播現象

主な特長

- 複素数特性を使用した調和/固有値/周波数応答解析を含む気体/液体/固体構造内の音波を方程式ベースでモデリング
- ヘルムホルツ方程式/ナビエ・ストークス方程式/オイラー方程式/構造力学/電磁気学等を含む柔軟なマルチフィジックスシミュレーション
- 平面歪み/平面応力/軸対称用の板/シェル要素と完全3D構造解析を備えた構造力学モジュール
- MATLAB・Simulinkと互換



【図1】マフラー内の音響エネルギーの流れ。システムは定常なので、流入は流出によって常に平衡になります。総エネルギー流は周波数に強く依存します。ここでは減衰率(dB)は、周波数の関数で示されています。

をモデル化するために、異方性/不均質材料の特性と係数、低反射境界条件、単極源を使用できます。時間調和/固有振動数/過渡解析により、遠近両音場パターン用の音波圧力/速度を考慮します。

COMSOL Multiphysicsはアクチュエータやフィードバック制御アルゴリズムの様な周波数領域解析及び動的シミュレーションのために、有限要素モデルを直接State-Space形式に変換します。

ノイズ解析

マフラーのノイズ解析によってノイズ特性がすぐ分かります。COMSOL Multiphysicsは3Dマフラー形状内の音波伝播を記述するヘルムホルツ方程式を解きます(図1)。パラメトリックソルバにより100~2000Hzまで周波数掃引しました。周波数分析からエネルギーの流れは周波数に強く依存することが示されます。後処理により騒音レベルや減衰率(dB)等の追加情報が得られます。モデルは、音響エネルギーの輸送が大きい幾つかの望ましくない共振周波数をマフラーが持つことを示します。このことは、マフラーがこれらの周波数においてはノイズの低減効果が少ないことを示しています。COMSOL Multiphysicsのパラメータ化機能を使い、設計変更を探索するために解析機能を簡単に拡張することができます。周波数

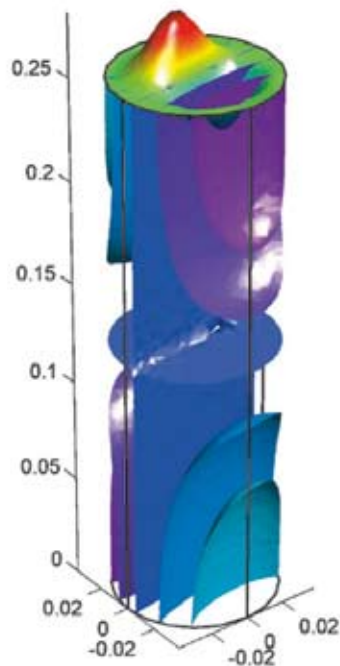
掃引の他にパラメータ分析は様々な形状/境界条件/材料特性を扱います。

振動解析

薄い、または厚い円形ディスクの振動モードはよく知られています。また、剛体壁を持つ気体充填シリンダの音響モードについてもよく知られています。しかしシリンダの一方を剛体壁でなく、薄いディスクで密閉したらどうなるでしょう？すなわち片方の先端は厚版に溶接され、もう一方の先端は薄い鋼板で密閉された剛体鋼シリンダを考えます。モデルはシリンダ内の3D音響を、COMSOL Multiphysicsのマルチフィジックス機能を使って構造力学モジュールの2D Mindlin板に連成します。固有振動数解析により固有振動数とそれに関連する固有モードが得られ、これらを動画や3Dの等表面プロットで可視化できます(図2)。振動の低モード分析により、ディスクの曲げモードと音響モードの連成が無視できないことを示しています。

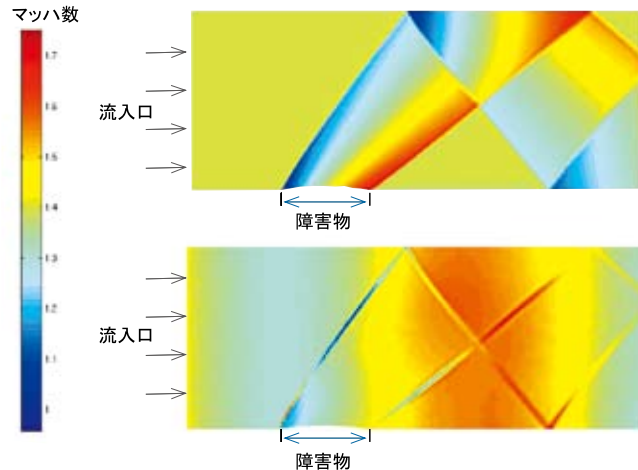
流体音響解析

圧縮性流れに対するオイラー方程式を解くことにより、COMSOL Multiphysics は超音速流れの動作や流体音響現象をシミュ



[図2] 構造 - 音響連成モデルの同時可視化。等表面プロットで示されている音圧が板の振動モードを決定します(2730Hzでの13次振動モードを表しています)。

レートできます。図3のモデルは左からチャンネルに入る超音速流れを示し、その流れはチャンネル内の小さな障害物に衝突します。障害物の前縁と後縁から衝撃波が発達してチャンネル壁で反射します。上のプロットは定常流内でのマッハ数分布を示します。上流では平面調和音波が生じ、流れ速度と音速を足した速度で右側に進みます。2番目のプロットは瞬間的な音圧分布、衝撃による波への影響、元の流れの局所的音速の変化を示しています。COMSOL Multiphysics モデルでは局所的誤差評価に基づく適応メッシュ精緻化により衝撃波の解像度が決まります。



[図3] 超音速流れがチャンネル内の障害物を通るときに発達する衝撃波。上のプロットはマッハ数分布、下のプロットは衝撃が波に与える影響を一瞬の音圧で表したもの。

COMSOL Multiphysicsと構造力学モジュール

方程式ベースの方法により、COMSOL Multiphysicsで音響/振動現象の高精度モデルを作成できます。1Dと2Dの平面及び軸対称モデルのインタフェースは、高速で柔軟なシミュレーションとモデル簡略用の完全3Dモデリングを補完します。構造力学モジュールは構造固有モードと周波数応答解析のために板及びシェル要素を追加します。拡張マルチフィジックス(非局所連成と0D/1D/2D/3D形状を同時にモデル化する機能)により、COMSOL Multiphysicsと構造力学モジュールは音響と振動の分野における広範囲のアプリケーションに対する理想的なツールとなっています。