

# 進化する設計を支援する動的プラットフォーム

## —COMSOL Multiphysics—

計測エンジニアリングシステム 橋口 真宜\*

\*はしぐち まさのり：第1技術部部长 COMSOL Multiphysicsのサポート技術部門統轄，日本機械学会認定計算力学技術者上級アナリスト <http://www.kesco.co.jp/>

### はじめに

製品やシステムの設計においては、物理現象に基づく数理的な解析モデルを構築して、試作品を作成する前に設計目標を達成するかどうかを予測するためのシミュレーションが重要である。設計対象はさまざまな物理現象が含まれており、そのような多重物理の連成系（マルチフィジックス）を解析することになる。一般的に多重物理連成系に基づく詳細モデルは未知数が大規模になってしまう。設計の早期段階である企画設計では、そのような詳細モデルよりは、単独のフィジックスの場を縮約した集中定数モデル、関連の強そうなフィジックス間の連成に絞った連成解析モデルによってシミュレーションを行うほうが検討の効率が良い。この早期段階でいろいろな因子、それらの関連を調べ上げておくことで設計の後行程で大きな問題を引き起こす確率も減ってくると考えられる。

並行して、設計の中で行ったモデリングの知識は、設計過程の中で獲得し、記録し、抽出、再利用ができるように管理することの重要性が述べられている<sup>1)</sup>。ここでは加熱器の設計において熱伝達と流体運動の連成解析を行うシステムとしてCOMSOL Multiphysics<sup>1)</sup>を利用している。

本稿では、多物理分野の連成解析（マルチフィジックス解析）を目的として設計・開発され、今も急速に進歩し続けている有限要素解析ソフトウェア「COMSOL Multiphysics」（開発元、発売元：スウェーデン・COMSOL AB/米国・COMSOL, Inc.）<sup>1)</sup>の内容を紹介し、設計、モデリングに関する知識といった事柄との関係について考えてみた

い。COMSOL News に音響の特集号がある<sup>2)</sup>ので、音響に関する実例を中心に紹介する。当社は同製品の日本総代理店を務めている<sup>1)</sup>。

### 音響分野に見るマルチフィジックス解析の成果

オーディオでは静電型ヘッドフォンが高品質で正確なオーディオ再生を可能にすることが知られている。実際に制作するとなると機械的精度を確保するためには手作りに頼っていた。Warwick Audio Technologies Limited（以後、WAT社）は、最終版を完成させるために音質を損なうことなく安価で製造も容易に行えるよう、多くの設計要素を徹底的に調査した。この製品に関わる、機械、電気、音響の間の多重物理連成の考えに不慣れな彼らはCOMSOLの利用に長けている社外の技術者を使って、トランスデューサーの仮想最適化を実現した。彼らのトランスデューサーは片面構成であったため振動する薄膜上の静電力は分布が非一様であったが、非線形ひずみについて理解が進み、非線形ひずみを電氣的にキャンセルできた。シミュレーションの結果は実験値とよく一致したと報告している<sup>2)3)</sup>。本製品は日本でも販売されている。

自動車の車室内音場へCOMSOLを適用した事例を図1に紹介する。音場の有限要素解析において重要なことは、音の波長を有限要素メッシュで表現することである。空間二次分布の有限要素メッシュでは1波長を少なくとも6分割する必要がある。音波の波長は周波数が高くなるほど波長は短くなる。有限要素法だけでは高周波の音を扱え

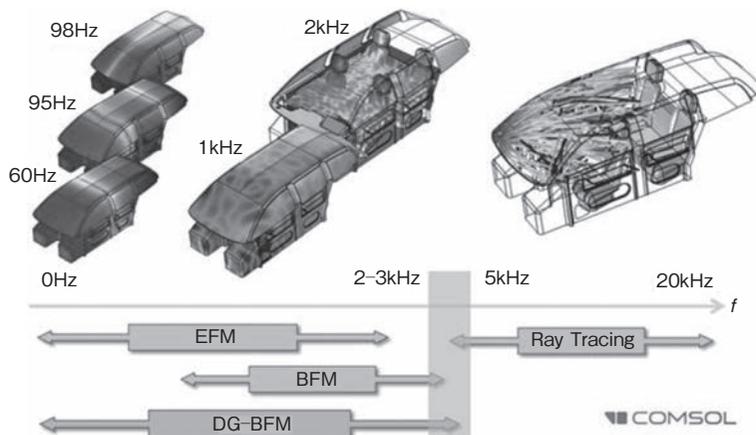


図1 自動車の車室内音場の周波数とCOMSOLで利用できる計算手法の関係<sup>5)</sup>

なくなるので、広範囲な周波数領域をカバーできるように、原稿執筆時点での新バージョン Ver.5.3a でCOMSOLは有限要素法 (Finite-Element Method ; FEM) に加えて境界要素法 (Boundary Element Method ; BEM) を新規導入した。すでに導入済みの粒子運動で音のラインを追跡する音線音響も含めると、実現できなかった周波数範囲を十分にカバーできるようになった。このように、モデリングを行うに際しては、そのフィジックスのもつ性質と適用する数値解析法の種類も把握しておき、それらを適切に運用することが重要である。このような場面においても、COMSOL は自在に数値解法を選択し、適用できる。

さらにCOMSOLでは、音源近傍をFEMで解き、その外側(一般に広い領域)をBEMで解くというハイブリッド解析も新バージョン Ver.5.3a から可能になった。

さて、音の源になるものとしては機械振動系である場合が多い。機械振動系の中でも複数ギヤから生み出される音の低減は取扱いが難しい分野である。この問題についてCOMSOLは変形応力と機構解析を同時に行う(フレキシブルな)マルチボディダイナミクスモジュールで複数のギヤの運動解析を行い、ギヤボックスパネルの機械振動を時間依存データとして計算を行う。続いてFFTを掛けてそのデータを周波数域データに変換する。ギヤボックス外側の音響領域ではそれを音源データとして音圧分布を解析する。図2に計算結果を

示す<sup>6)</sup>。

インドのMahindra社では、上述の連成解析を使ってCOMSOLによる数値解析を自社のオートバイのNVH(振動、騒音、静音性)解析に適用し、目標の騒音レベルを達成した。以前は設計案に小さな変更を加えて多数の試験を行う必要があったがCOMSOLソフトウェアによって試行数を大幅に減らし開発時間の短縮につながったと報告している<sup>2)3)</sup>。解析結果と実験がよく一致したことも設計初期段階で構造に変更を加えることができた大きな要因である。さらに彼らは、本誌でもすでに紹介したCOMSOL Application Builder (COMSOLのWindows版に標準添付)を使って、解析で得られた出力フォームや音圧データのプロットを定型化することで、それらの結果の比較作業を容易にし、結果の検討に要する時間を大幅に短縮したとも述べている。

## モデリングプロセスの動的プラットフォームとしてのCOMSOL

再度、WAT社の記事<sup>2)</sup>を検討してみる。WAT社を技術的に支援したのは別会社であるが、その会社の技術担当の言葉として、「開発した解析内容をApplication Builderでアプリ化してWAT社に供給したが、シミュレーションソフトウェアに関する知識がなくてもアプリを使い続けることができる。解析内容の小さな変更を行う逐一の連絡は不要であり、顧客自身が状況を把握し、希望の条件