

1. はじめに

市販の流体解析ソルバーおよび構造解析ソルバーには、それぞれの専用ポストプロセッサがあり、容易に可視化ができるようになっている。また、特定のソルバーに固定せず、汎用的に使えるポストプロセッサも少なくないが、そのほとんどは流体解析用または構造解析用のどちらかであり、両方に適用できるものはほとんどない。

近年、マルチフィジックス連成解析インターフェース MpCCI を用いることにより、異なるメーカーの市販流体解析ソルバーと構造解析ソルバーを使った弱連成解析が可能になった。しかし、各々の専用ポストプロセッサでは、両方の解析結果を合わせて可視化することができないことが問題になっている。ここでは、汎用ポストプロセッサ EnSight を例にして、熱流体 - 構造連成解析の可視化に必要な機能を説明するとともに、可視化事例を紹介する。

2. MpCCIによる連成解析

MpCCI^[1] (Mesh-based parallel Code Coupling Interface)は、独国Fraunhofer SCAI (Institute for Algorithms and Scientific Computing)で開発された連成解析用インターフェースで、流体解析ソルバー、構造解析ソルバーなど異なるCAE解析ソフトウェアを相互に連成させ、データの交換を行ない、弱連成解析を可能にする。流体 - 構造連成、流体 - 電磁場連成などのマルチフィジックス現象をシミュレーションすることができる。

現在、熱流体解析、構造解析分野では以下のソルバーに対応している。

- ・ 熱流体解析ソルバー： FLUENT, STAR-CD
- ・ 構造解析ソルバー： ABAQUS, ANSYS, MSC.Marc, PERMAS

これらの組み合わせで、熱流体 - 構造連成解析が可能になる。MpCCI の登場により、異なる市販ソルバーを使った連成解析が注目され、実践されつつある。

3. 熱流体 - 構造連成解析結果の可視化に必要な機能

Fig.3.1~Fig.3.3 は、ドア閉め時の空気穴付きドアシールのシミュレーション結果を EnSight で可視化したものである (データ提供：ABAQUS, Inc.日本支社、協力：シーディー・アダプコ・ジャパン)。流体部分はSTAR-CDで解析し、構造部分はABAQUSで解析している。Fig.3.1はSTAR-CDの結果のみを表示し (流速ベクトル表示)、Fig.3.2はABAQUSの結果のみを表示している (ミーゼス応力のコンター表示)。それぞれの専用ポストプロセッサで可視化するような場合は、このように、一つの現象であるにも関わらず流体部分と構造部分を別々に表示することになるため、現象の全体を把握したり、流体部分と構造部分の相互関係を理解するのが容易ではない。Fig.3.3のように、それらを合成して表示することが求められる。

静的な解析であれば、それぞれのポストプロセッサからVRMLやSTL等の3次元形状のファイルに出力することにより、別のビューワーソフトで合成表示することが可能であ

るが、そうするとインタラクティブに可視化パラメータを変更することはできない。また、このデータではドアが閉まる際の変形のアニメーションが必要であるが、このような方法でアニメーションに対応することは現実的には困難である。

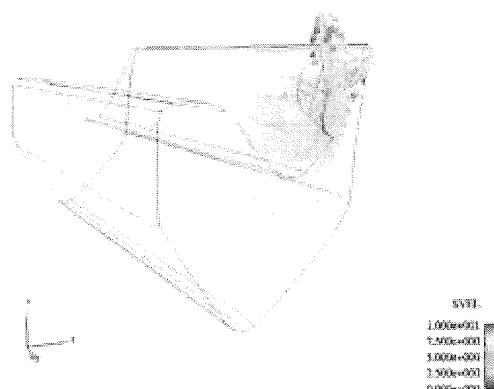


Fig.3.1 Visualization of STAR-CD result (velocity vector)

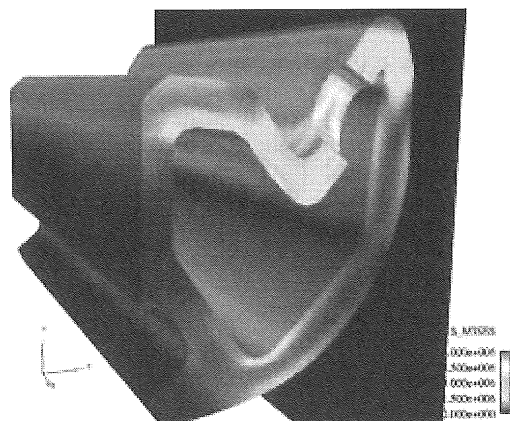


Fig.3.2 Visualization of ABAQUS result (Mises stress)

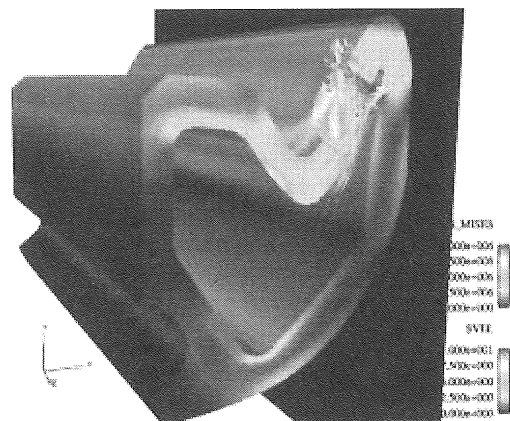


Fig.3.3 Composition of visualization of STAR-CD and ABAQUS results

熱流体—構造連成解析結果の可視化のためには次の機能が必要といえる。

- 1) 対象となる熱流体解析ソルバーおよび構造解析ソルバーとのインターフェースがある。
- 2) 熱流体解析結果のための可視化機能と構造解析結果のための可視化機能の両方を持つ。
- 3) 2つの異なるデータを読み込み、重ね合わせて表示することができる。
- 4) 2つの異なるデータに対して、タイムステップを合わせて同時にアニメーション表示することができる。

各ソルバーに付属した専用ポストプロセッサはこのような機能は持たない。また、汎用ポストプロセッサにもこのような機能を満たすものはほとんどなく、現在のところ、EnSightのみといわれている(ソルバーインターフェースを除けば、AVS/Express^[2]など他にもこの条件を満たすソフトはある)。

4. EnSight の対応

4-1 ソルバーとのインターフェース

EnSight^[3] は米国 CEI (Computational Engineering International) で開発された汎用ポストプロセッサである。流体解析と構造解析の両方で利用できるのが一つの特徴で、上述のMpCCIがサポートしているソルバーを始め、主要なソルバーとのインターフェースがある。市販ソルバーの多くは出力フォーマットが公開されておらず、また、ソルバーのバージョンアップによる出力フォーマットの変更にタイムリーに対応する必要があるため、ソルバーとのインターフェースをとるにはソルバーメーカーの協力が欠かせない。したがって、ソルバーとのインターフェースが豊富な可視化アプリケーションは限られる。

4-2 複数データの重ね合わせとアニメーション機能

EnSight では、複数のデータを読み込む場合に、1つのビューに重ねて表示することができる(複数のビューに分けて表示することもできる)。可視化機能はそれぞれのデータに対して個別に適用できるが、タイムステップはすべてのデータに対して同時にコントロールされる。すなわち、熱流体解析結果と構造解析結果は常に同じタイムステップで表示され、アニメーション表示の際は同時に更新される。さらに、2つのデータでステップ間隔が異なる場合は、間を補間して、同じタイムで表示する機能もある。

EnSightはアニメーション機能も特徴の一つである。連成解析結果は簡単に動画ファイルにすることができる。動画ファイルの場合は再生時に視点を変更できないが、3次元形状のままアニメーションを保存し、EnLiten^[3] という無償ビューワーによって、視点や大きさを変更しながらアニメーションを再生することが可能である。

4-3 大規模データへの対応

連成解析結果の可視化は単独の解析結果の可視化よりも規模が大きくなる。EnSightは大規模データへの対応も特徴の一つである。古くから 64 ビット対応しているとともに、メモリの消費を少なくするための工夫がされている。上位版のEnSight Gold^[3]やEnSight DR^[3]で並列処理も可能である。

4-4 可視化事例

Fig.4.1 は FLUENT と ABAQUS による熱流体—構造連成解析結果の可視化である(提供: CEI)。マニフォールドの構造部分を ABAQUS で、管内の流体部分を FLUENT で解析した結果を温度でコンター表示している。流体部分と構造部分の両方の温度が変化するアニメーション表示が可能である。

Fig.4.2 も FLUENT と ABAQUS による流体—構造連成解析結果の可視化である(提供: ABAQUS, Inc. 日本支社)。空気流の通過による弾性体フラップのシミュレーション結果で、流体部分は速度ベクトル表示と圧力のコンター表示、構造部分はミーゼス応力のコンター表示をしている。流れによってフラップが変形するアニメーション表示が可能である。

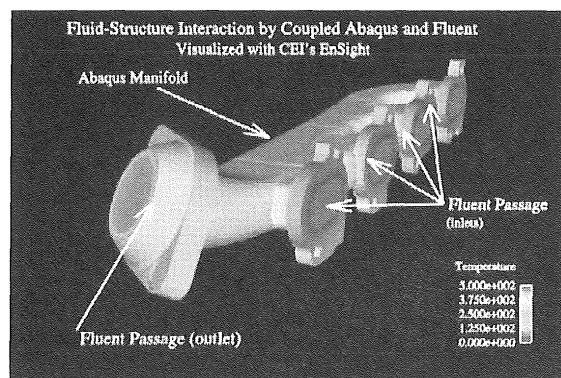


Fig.4.1 Simulation of a manifold and the passage (Fluent & ABAQUS)

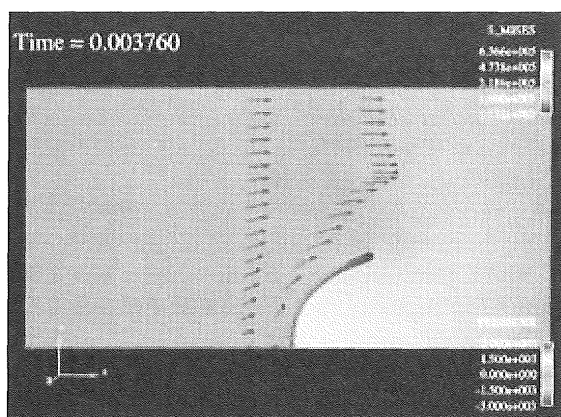


Fig.4.2 Simulation of a flap in air flow (Fluent & ABAQUS)

5. おわりに

汎用ポストプロセッサEnSight を例に、異なるメーカーの熱流体解析ソルバーと構造解析ソルバーを用いた弱連成解析結果の可視化に必要な機能を述べた。

連成解析結果を合わせて可視化するためには、流体解析、構造解析の両方に適用可能な汎用ポストプロセッサが必要である。また、このような連成解析が普及すれば、同じ技術者が複数のソルバーを扱う機会が増えると予想される。その際、個々のソルバーの結果を単独で見る目的であっても、ポストプロセッサが統一されていることは、操作方法の習得の点からメリットがある。連成解析結果に対しては、これまで以上に、わかりやすい見せ方や効果的な見せ方が求められるだろう。大規模データに対する対応も必要となる。こういったことから、今後、高機能な汎用ポストプロセッサのニーズが増えると思われる。

参考文献

- [1] (株) シーディー・アダプコ・ジャパン
<http://www.cdaj.co.jp/product/090000mpcci/index.html>
- [2] (株) ケイ・ジー・ティー
<http://www.kgt.co.jp/feature/express/>
- [3] (株) ケイ・ジー・ティー
<http://www.kgt.co.jp/feature/ensight/>