

スーパーコンピューティングプリポストプロセッサ

徳永 健一*

Prepost Processor for Super Computing

Ken-ichi TOKUNAGA*

本稿ではスーパーコンピューティング環境でのプリポストプロセスについて、特にメッシュ生成と可視化に関する現在の技術動向を概説し、当社の取り組みについて紹介する。

Key word: スーパーコンピュータ、シミュレーション、プリポストプロセッサ、メッシュ生成、可視化

1. はじめに

スーパーコンピューティング環境が身近なものになりつつある現在、その計算資源を活用して詳細または高精度の解析を行うためには、大規模で詳細な解析モデルを作成する必要がある。有限要素法を用いた構造解析、有限体積法を用いた流体解析を行う場合、これはすなわち大規模なメッシュ生成が必要であることを意味している。またその結果を評価するためには大規模モデルに対する可視化技術も必要であるほか、運用上はモデル全体の詳細な可視化だけでなく、結果の概要を迅速に知ることも重要である。

これらプリポストプロセスに関する課題について、現在の技術動向および課題を概説する。また当社が行っている取り組みについて紹介する。

2. メッシュ生成技術について

2.1. 概要

有限要素法または有限体積法のためのメッシュ生成技術としては、実務では全自動のメッシュ生成技術よりも手動または半自動のメッシュ生成ソフトウェアが広く使われている。その理由としては、入力となる形状データ（CAD データ）が必ずしもメッシュ生成のために作成されたものでないためデータの修正が必要となること、解析の制約（全体のメッシュ数の上限、目的に応じて

場所ごとにメッシュのサイズを変える等）を満たすために人間が試行錯誤をしながら作成せざるを得ないこと、解析ソフトウェアが要請する六面体のメッシュについては自動生成が技術的に困難であること、等が挙げられる。しかしながらスーパーコンピューティング環境で対象となる大規模メッシュは数億要素規模になることもあるため、手動で作成するのは難しい。そのためすでに作成した解析モデルに対して、全体を細分化して大規模モデルにする技術や、部分的に再分割して解析の制約を満足させるようにする技術開発が進んでいる。

一方、全自動メッシュ生成については前述のとおり六面体については一般には困難であり、複雑形状については四面体メッシュ生成が主流となっている。メッシュ生成を行う計算機環境の性能向上により、例えば 64GB 搭載の PC 上では 1 億要素以上のメッシュ生成も可能になってきており、1000 万要素程度なら 10 分以内で生成することもできる。そのため前述の手動または半自動で作成しなければならない制約がなければ、スーパーコンピューティング環境を利用する大規模高精度解析のための解析モデルを、四面体メッシュ自動生成を使って行うのは十分実用的である。

2.2. メッシュ細分化技術

大規模メッシュを作成するために、すでに作成したモデルをもとに細分化する技術が開発されている。当社では文部科学省次世代 IT 基盤技術

*アドバンスソフト株式会社 第 1 事業部

1st Computational Science and Engineering Group,
AdvanceSoft Corporation

のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトで開発された REVOCAP_Refiner を活用して解析ソフトウェアのための高解像度のモデルを作成している。

REVOCAP_Refiner では要素ごとにそれぞれの辺を2分割して要素を分割している。四面体および六面体の要素分割例を図 2-1 および図 2-2 に示す。その際境界条件も同時に更新する機能が備わっている。詳細は [1] [2] 等に解説してあるのでここでは割愛する。

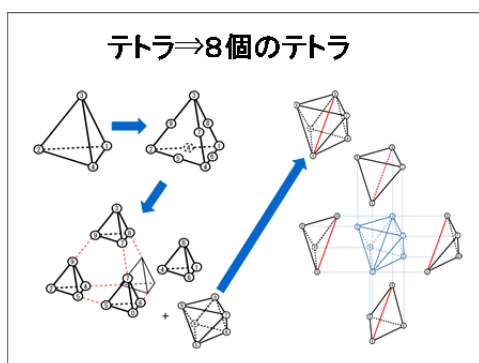


図 2-1 四面体の要素分割例 [3]

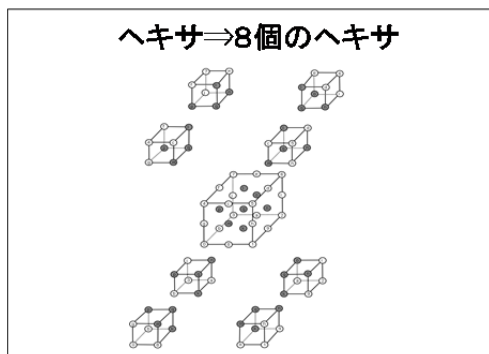


図 2-2 六面体の要素分割例 [3]

当社の解析ソフトウェアでは Advance/ FrontSTR は REVOCAP_Refiner を内部で利用しており、Advance/FrontFlow/red および Advance/FrontFlow/MP については外部ツールとして REVOCAP_Refiner の要素細分化機能が利用できる。Advance/FrontSTR はメモリ上で細分化することができ、並列計算時には領域分割後にそれぞれの計算ノードで要素細分化を行うため、モデル全体を細分化するよりも必要なメモリが少なく済むという利点がある。

2.3. メッシュ局所細分化

上記で述べた方法は解析モデル全体を細分化する方法であるが、実際に高精度で解析したい場所は流体解析では乱流の領域、構造解析では応力集中の領域など、その一部である。あらかじめ粗いメッシュで粗密がつけられている場合は全体を細分化すればよいが、そうでない場合、特に粗いメッシュで解析した結果を使って詳細な解析を行いたい場合は、一部だけを細分化することが求められる。

当社では REVOCAP_Refiner を改良して局所細分機能を開発した。細分する領域は座標で直方体または球体を指定する方法の他に、解析結果の値に対してある閾値以上（または以下）の領域を指定することができる。

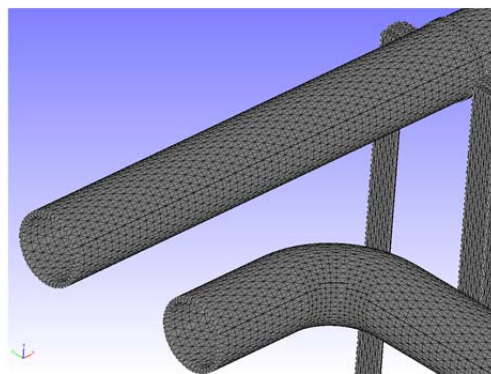


図 2-3 局所細分前のメッシュ

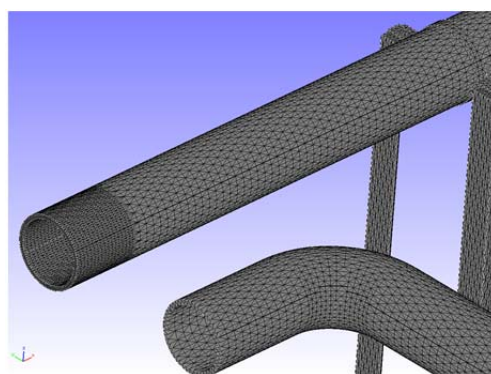


図 2-4 局所細分後のメッシュ

2.4. 詳細構造のモデリング

スーパーコンピューティング環境の計算能力を活用して、今まで解析を行うことが困難であった詳細構造のモデリング手法について紹介する。ここで述べる詳細構造とは、いわゆる機械部品のような CAD で定義される形状からなる構造ではなく、粉体を充填した構造や、砂や砂利との混合

物であるコンクリート、繊維強化樹脂、発泡性樹脂など従来は多孔質体や平均化した材料物性で解析していたものを指す。スーパーコンピューティングで大規模な計算ができるようになったため、これらの構造を近似ではなく直接モデリングして解析することが可能となってきた。

これらの構造のメッシュを生成するツールとして当社では微細構造モデリングツールとして REVOCAP_PorousModeler を開発している。詳細は [4]を参照していただきたい。

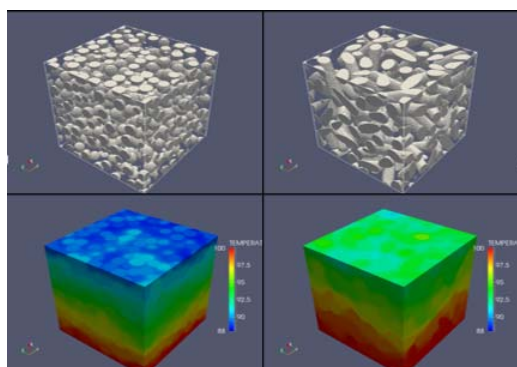


図 2-5 微細構造モデリングツールによる熱伝導解析の結果

3. 可視化技術について

3.1. 概要

スーパーコンピューティング環境での計算結果を可視化する場合には、データ量が大きいことと、それがネットワーク越しの離れた場所にあることが問題となる。データ量が大きいことについては、大規模データに対応する可視化用の計算機環境（CPU および GPU 用の大容量のメモリ、高速なストレージ、並列可視化環境など）を準備する、または粗いデータに変換してサイズを小さくすることが考えられる。ネットワーク越しの離れた場所にあることについては、データをネットワーク以外の方法で移動させる（HDD に退避する、作業担当者が移動するなど）、可視化をネットワーク越しに行い、結果を手元に転送する、等の方法が考えられる。これらの具体的な方法について以下に説明する。

3.2. 粗視化

大規模データのサイズを小さくして概要を可

視化する手法を粗視化という。単純に節点や要素を間引いて可視化する方法や細かいメッシュを粗いメッシュに変換してから粗いメッシュを可視化する方法などがある。当社のメッシュ細分化技術を使って大規模メッシュを作成した場合は、細分する前の粗いメッシュに戻すことが可能である。これも一種の粗視化といえることができる。これは Advance/FrontSTR、Advance/FrontFlow/red ではすでに対応していて、Advance/FrontNoise では独自の細分化ルーチンで対応している。

大規模データを可視化する手法として PBVR と呼ばれる自己発光する粒子ベースのボリュームレンダリングがある。この手法ではレンダリングする対象はポリゴンではなく粒子であり従って大規模データでも比較的軽量に可視化することができる。また、粒子の個数はメッシュの要素数とは無関係に自由に増減することができるため、少ない粒子で可視化することで粗視化の一手法としても有効であると考えられる。

3.3. スーパーコンピューティング環境での可視化

大規模並列計算をスーパーコンピューティング環境で行った場合、その結果の可視化の方法としては、そのスーパーコンピューティング環境にプリポスト処理専用の計算機があればそれを利用するのが良い。ただし並列で実行できない場合や、外部ネットワークから操作できない場合もあるので注意が必要である。

計算ノードで実行する解析と同時にバッチ処理で可視化を行うこともあるだろう。GPU が利用できる環境であれば通常の可視化ソフトウェアをバッチ処理で実行することで可能であるが、GPU が利用できない場合は GPU をエミュレートするソフトウェアやその他のソフトウェアレンダリングを行えばよい。ソフトウェアレンダリングが並列計算に対応していれば、大規模な非構造格子の可視化が可能だと考えられる。この場合は一般にはインタラクティブに操作するのではなく、バッチ処理によって画像ファイルが生成されるのが普通である。

3.4. クライアント・サーバー

可視化ソフトウェアの中にはクライアント・サーバー型の通信を行うものもある。この場合サーバーでレンダリングを行い、クライアントでインタラクティブな操作を行う。並列計算可能なサーバーも存在する。その場合はより大規模なモデルの可視化が可能になる。例えば ParaView は並列計算版のサーバーモードで起動するプログラムが付属している。

3.5. ソフトウェアレンダリング

上述のようにバッチ処理で可視化を行って画像ファイルを生成する場合によく用いられるのがソフトウェアレンダリングである。これは画面に表示することなく、GPU または CPU のメモリ内でレンダリングしてその結果を画像ファイルとして出力するものである。

スーパーコンピューティング用に開発された解析ソフトウェアにはこの機能を持つものも多い。例えば FrontISTR [5]では、そのミドルウェアである HECMW では独自のレンダラーが内蔵している。

一般的に利用されているオープンソースソフトウェアでもこの機能が実装されているものがある。OpenGL の拡張機能である GLEW [6]では GPU のオフスクリーンレンダリング機能で画像ファイルへの出力が可能である。OpenGL のエミュレーションを行う OSMesa [7]では、GPU がない環境でもオフスクリーンレンダリングを可能にするものである。これは ParaView でも利用することができる。

3.6. リモートデスクトップ

古くから利用されている技術であるが Windows の機能であるリモートデスクトップも通信が高速となった現在では、スーパーコンピューティング環境での可視化手法としては十分実用的である。スーパーコンピューティング環境でプリポスト専用の計算機があり、外部ネットワークからアクセスできることが前提となるが、その画面をリモートデスクトップ機能で手元の端末に表示さ

せてインタラクティブに可視化を行うことができる。

3.7. WebGL

最後に今後おそらく主流となってくると思われる技術として、WebGL [8]を挙げておく。Web ブラウザを端末として可視化する手法は以前から様々なものがあつたが、HTML5 で WebGL が正式に仕様として確定したため、特別なソフトウェアをインストールすることなくブラウザ上で3次元グラフィックスが表示できるようになった。開発環境としては JavaScript の広く使われているライブラリ [9]が公開されている。現在のところ OS やブラウザによって対応状況は異なるが、将来は PC、タブレット、スマートフォンでも同じインターフェイスでスーパーコンピューティングの解析結果の可視化を行うことができるようになることが期待される。

課題としては、スーパーコンピューティング環境の側で WebGL 用のデータの作成を行う必要があり、ブラウザからアクセスする専用の Web サーバーを立ち上げなければならないことと、レンダリングを端末で行うことになるため、通信速度の制約から可視化のためのデータを圧縮または粗視化したデータを転送する必要があると考えられる。

4. まとめ

スーパーコンピューティングにおけるプリポストプロセスの現状と課題をまとめ、当社の取り組みについて説明した。最後に今後の取り組みの計画について述べる。現在当社ではプリポストプロセッサの商品として Advance/REVOCAP の開発と販売、およびオープンソースの可視化ソフトウェア ParaView のサポートサービス、六面体メッシュ生成ソフトウェア Cube-it の販売を行っている。Advance/REVOCAP は今後も開発を継続していくが、利用者がスーパーコンピューティングサービスを用いて計算する場合に便利な機能、特にメッシュ局所細分化機能、全自動メッシュ生成機能、粗視化機能、ソフトウェアレンダリング等を重点

的に開発していく予定である。

参考文献

- [1] 徳永健一, “要素分割に関する技術ノート,” アドバンスシミュレーション, 第 8, pp. 83-89, 2011.
- [2] 末光啓二, 徳永健一, “Advance/FrontSTR のメッシュ細分化機能「リファイナー」,” アドバンスシミュレーション, pp. 41-48, 2011.
- [3] 文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発, “大規模アセンブリ構造マルチ力学シミュレータの研究成果と実証事例報告,” 著: 第 4 回「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」シンポジウム, 2012.
- [4] 徳永健一, “微細構造モデリングツールで作成した複合材料モデルの熱伝導解析,” アドバンスシミュレーション, 第 19, pp. 180-185, 2014.
- [5] “文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」大規模アセンブリ構造対応構造解析ソルバーの研究開発,” [オンライン]. Available: <http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/>.
- [6] “The OpenGL Extension Wrangler Library,” [オンライン]. Available: <http://glew.sourceforge.net/>.
- [7] “The Mesa 3D Graphics Library; Off-screen Rendering,” [オンライン]. Available: <http://www.mesa3d.org/osmesa.html>.
- [8] “WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web,” [オンライン]. Available: <https://www.khronos.org/webgl/>.
- [9] “three.js - Javascript 3D library,” [オンライン]. Available: <http://threejs.org/>.

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイルがダウンロードできます。(ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。)