

汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAPおよび 関連するソフトウェアの新機能

徳永 健一*

On the New Features on Advance/REVOCAP and Related Software

Ken-ichi TOKUNAGA*

Advance/REVOCAP は文部科学省の「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトで基盤が開発されたプリポストプロセッサを当社が機能を拡張して商品化した汎用プリポストプロセッサである。その後当社では当社の解析ソフトウェアのバージョンアップに合わせて Advance/REVOCAP に機能を追加し、継続して開発を行ってきた。また、プリポストプロセッサの機能をもとに、双方向連成解析エンジンや、多孔質体や粉体のモデルを作成する微細構造モデリングツールなど関連するソフトウェアも展開している。

本稿では汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP についての新機能の紹介、および関連するソフトウェアの機能について詳細に紹介する。

Key word: プリポストプロセッサ、可視化、メッシュ作成、連成解析、多孔質体、粉体充填

1. はじめに

Advance/REVOCAP はアドバンスソフト社の解析ソフトウェアに対する汎用のプリポストプロセッサである。以下のソフトウェアに対応している。

- Advance/FrontFlow/red (流体解析)
 - Advance/FrontSTR (構造解析)
 - Advance/FrontFlow/MP (気液二相流解析)
 - Advance/FrontNoise (音響解析)
 - Advance/FrontFlow/FOCUS (高速流解析)
- Advance/REVOCAP のプリポストプロセッサの機能をもとに、別のソフトウェアや他の解析ソフトウェアに組み込まれるライブラリを開発した。
- Advance/REVOCAP_Refiner (格子細分化ツール)
 - Advance/REVOCAP_Legato (双方向連成解析エンジン)
 - Advance/REVOCAP_PorousModeler (微細構造モデリングツール)

Advance/REVOCAP_Refiner と Advance/REVOCAP_Legato はライブラリとして他の解析ソフトウェア

*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

アに組み込まれて使う。Advance/REVOCAP_PorousModeler は単体で動作するソフトウェアである。

本稿では Advance/REVOCAP とその関連するソフトウェアについての最新情報を紹介する。最初にプリポストプロセッサの新機能についての紹介と、例題をもとにした簡単な使い方の説明をする。続けて Advance/REVOCAP_Refiner について簡単に紹介する。詳細は既存の本誌の記事 [1]を参照していただきたい。双方向連成解析エンジン Advance/REVOCAP_Legato については詳細に解説する。微細構造モデリングツール Advance/REVOCAP_PorousModeler は、本誌の既存の記事 [2]で説明があるので、本稿では主に新機能について紹介する。

2. 汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP の新機能

汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP は当社の解析ソフトウェアのバージョンアップに伴って、機能を追加してきた。2016年にリリースした Ver. 4.1では、以下の機能が追加されている。

- Advance/FrontFlow/red Ver. 5.3 対応
- Advance/FrontSTR Ver. 5.2 対応
- Advance/FrontNoise Ver. 5.1 対応

これらの新バージョンへの設定項目のほかに、3Dプリンタ向けのデータフォーマットとして STL とともに使われることが多くなってきた OFF (Object File Format) 形式の読み込みに対応した。

3. Advance/REVOCAP を使った周波数応答解析の手順

ここでは Advance/REVOCAP の使い方の紹介も兼ねて、Advance/FrontSTR による周波数応答解析を行う手順を説明する。ここでは円板の側面を拘束して、円板上の 1 点を加振したときの応答を求める。

表 1 周波数応答解析

解析の種類	周波数応答解析
要素タイプ	四面体 2 次要素 (Advance/REVOCAP で作成)
材料物性	アルミニウム
境界条件	円板の側面の拘束 円板の 1 点を加振
形状ファイル	disk.stp
フォーマット	STEP 形式

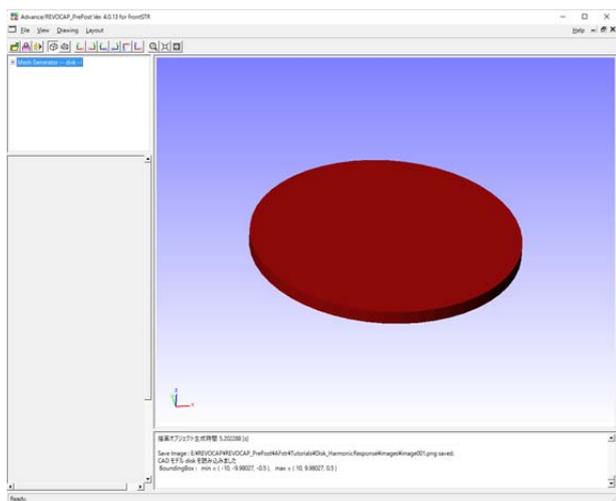


図 1 メッシュの作成

3.1. メッシュの作成

Advance/REVOCAP には四面体の自動メッシュ

作成エンジンである ADVENTURE_TetMesh と Simmetrix が組み込まれている。ここでは ADVENTURE_TetMesh を使ってメッシュを作成する。形状データの大きさからメッシュの基準長さを適切に定めて、2 次要素を作成するためのチェックボタンをオンにして生成ボタンを押すと、自動的に四面体メッシュが作成される。ここでは円板の厚さ方向の長さが 2 なので、厚さ方向に 2 要素程度のメッシュにするため基準長さを 1 とする。

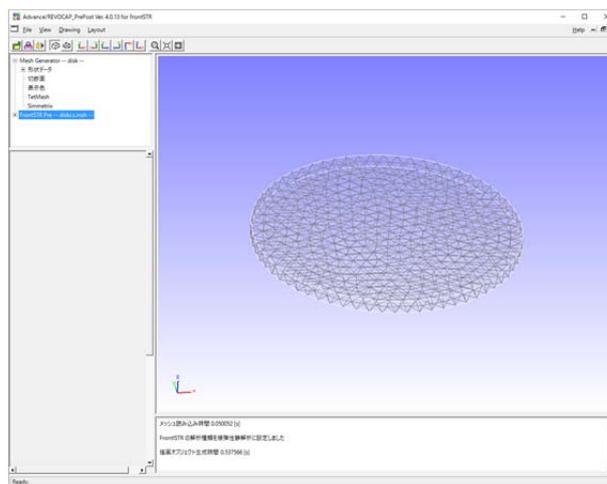


図 2 メッシュの作成

3.2. 形状データの読み込み

形状データは既存の CAD ソフトウェアなどで作成する必要がある。形状データは IGES、STEP といった汎用の CAD フォーマットのほか、3次元形状を表現する STL フォーマット、OFF フォーマットなどで書かれたデータを読み込み可能である。ここでは STEP 形式で書かれたデータを読み込む。なお、ここで用いた円板の形状データはチュートリアル用のデータとして Advance/REVOCAP に同梱されている。

3.3. 解析の種類の設定

Advance/FrontSTR では静解析、固有値解析、動解析、熱解析などを行うことができる。解析の種類の設定ではこれらの解析および複数の解析を組み合わせる実行する周波数応答解析、時刻歴応答解析の中から選択する。周波数応答解析を選択すると初めに固有値解析、次に応答解析の 2 ステ

ップの解析の設定が有効になり、この解析で有効な境界条件だけが設定可能になる。



図 3 解析の種類の設定

3.4. 境界条件の設定

Advance/REVOCAP の画面では、左上の操作メニュー（ツリービュー）で境界条件のところをクリックして、下位の項目を展開する。「境界条件」の項目の下に設定できる境界条件の種類の一覧が現れる。拘束条件は Advance/FrontSTR では BOUNDARY 条件として与えられるので、ツリービューの BOUNDARY を選択する。集中荷重条件は Advance/FrontSTR では CLOAD 条件として与えられるので、ツリービューの CLOAD を選択する。



図 4 境界条件の設定

はじめに、円板の側面の拘束条件を与える。ツリービューで BOUNDARY を選択した状態にしたまま、Advance/REVOCAP の 3DView 画面で側面をマウスで選択し、その状態で BOUNDARY の追加ボタンを押すと、円板の側面に拘束条件が追加される。

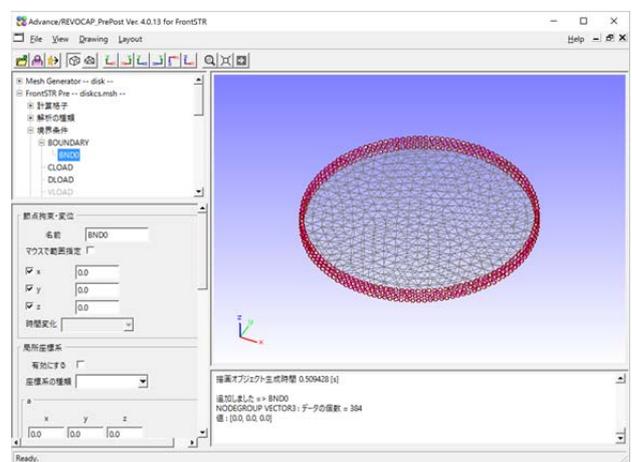


図 5 境界条件の設定

加振条件として、集中荷重を円板の上の 1 点に与えるには、ツリービューで CLOAD を選択した状態のまま、Advance/REVOCAP の 3DView において、マウスで円板の上面をドラッグしたのち、範囲選択機能を使って、1 点だけを選択する。



図 6 境界条件の設定

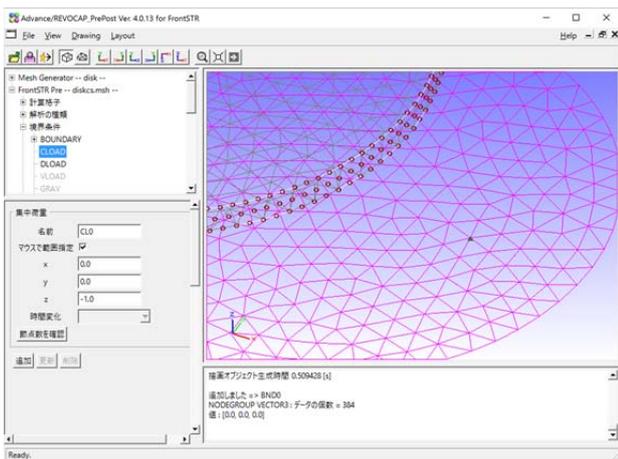


図 7 境界条件の設定

選択したら **CLOAD** の追加ボタンを押すと、集中荷重条件を追加される。

3.5. ステップ解析の設定

固有値解析の設定では、計算する固有値の個数（ここでは 10 個とする）、固有値解析で有効とする境界条件（ここでは側面の拘束条件）を与える。

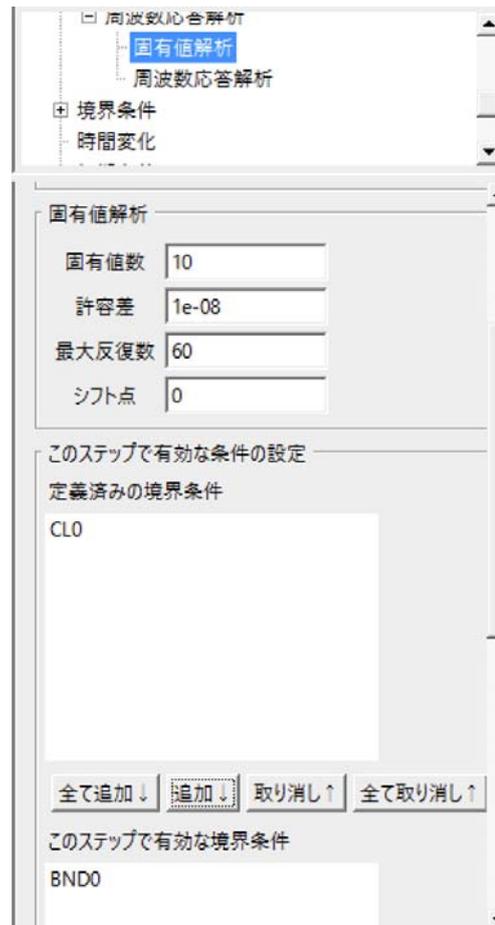


図 8 ステップ解析の設定

応答解析の設定では、計算する周波数の範囲とサンプル数を指定し、固有値解析と同様に有効とする境界条件（ここではすべての条件）を与える。

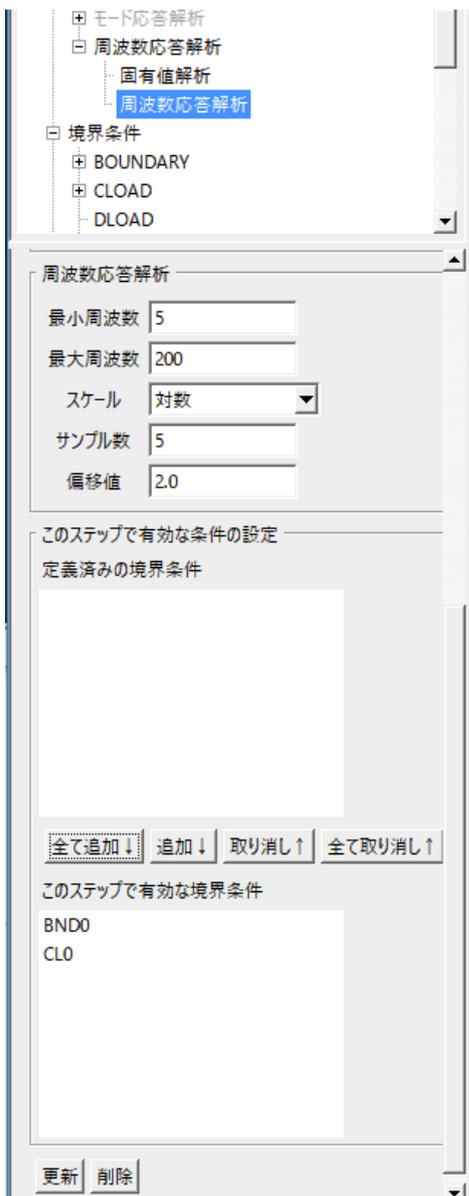


図 9 ステップ解析の設定

3.6. 材料物性値の設定

Advance/REVOCAP では材料物性値は物性パラメータのデータベースでの操作と、物性値データをメッシュに割り当てる操作の2段階で行う。ここではデータベースにあらかじめ登録されているアルミニウムの材料データを用いるため、データベースでの作業は不要である。

ツリービューの「計算格子」の下に、ソリッドが材料ごとに現れている。ここでは `diskcs_0` という1つの領域だけが現れている。この領域にアルミニウムを割り当てるには、材料の選択で「Aluminum」を選択し、材料モデルに「ELASTIC」を選択すればよい。

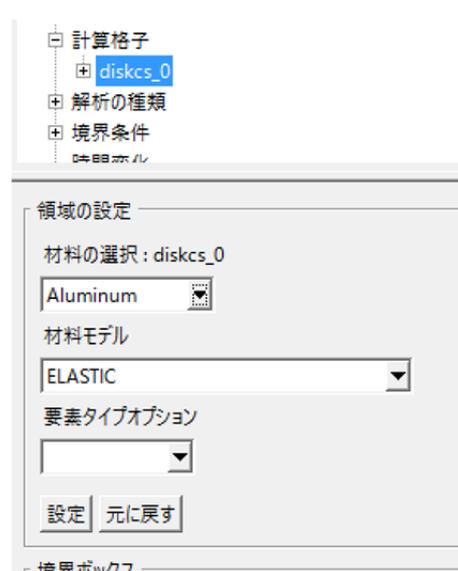


図 10 材料物性値の設定

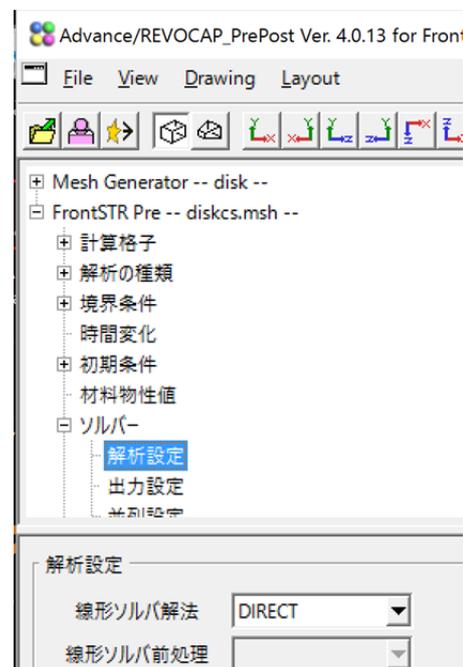


図 11 解析条件の設定

3.7. 解析条件の設定

線形ソルバーや出力するデータについても Advance/REVOCAP で設定を行うことができる。ここでは線形ソルバーは直接法を利用することにする。ツリービューの「ソルバー」を選択して、線形ソルバー解法の項目で「DIRECT」を選択する。直接法を選択した場合は前処理や収束回数数の設定は不要である。

3.8. 解析の実行

Advance/FrontSTR は Windows および Linux で実

行させることができる。Advance/REVOCAP で作成したモデルを、計算を実行する環境にコピーして Advance/FrontSTR を実行する。

3.9. 計算結果の可視化

Advance/FrontSTR の計算結果ファイルは Advance/REVOCAP を用いて可視化することができる。

周波数応答解析を行った場合、最初に固有値解析の結果が出力され、その後に応答解析の結果が出力される。

固有値解析の変形モードの可視化例を以下に示す。

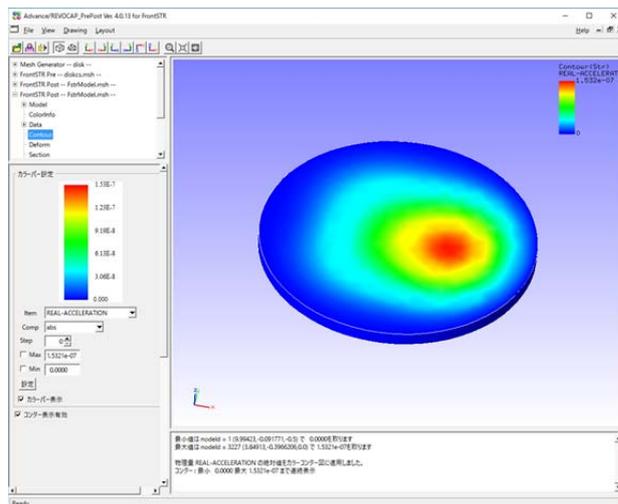


図 13 加速度の可視化例

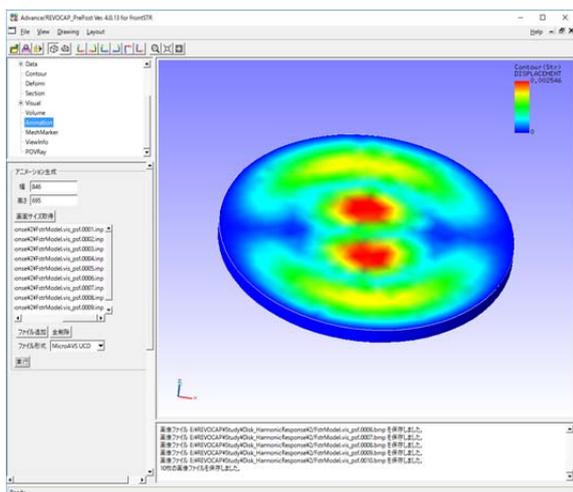
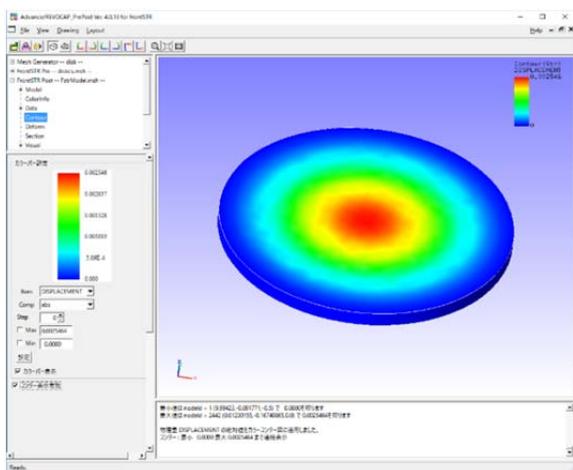


図 12 計算結果の可視化

応答解析の結果について、加速度の可視化例を以下に示す。

4. メッシュ細分化ツール Advance/REVOCAP_Refiner の紹介

メッシュ細分化ツール Advance/REVOCAP_Refiner は有限要素法、有限体積法などの非構造格子を細分化するツールで、ライブラリとして解析ソフトウェアに組み込まれて使われる。

解析ソフトウェアで組み込まれて解析モデルを細分化するので、メッシュ生成の過程で細分化するのに比べて、以下のようなメリットがある。

- ✓ 計算時に大きいメモリ空間の計算機環境で自動的に細分化することができる。
- ✓ 細分化で境界条件も更新されるため、改めて境界条件を作成しなおす必要がない。
- ✓ MPI 並列に対応している解析ソフトウェアでは、領域分割の後に細分化を行うため、細分化自体も並列に処理することができる。また、細分化後の大規模なメッシュの領域分割は不要である。
- ✓ 複数段階の細分化も可能である。

四面体、六面体などのソリッド要素は、それぞれの辺を 2 分割して要素分割するため、元の要素が 8 個の要素になる。従って、1 回の細分により要素数は 8 倍になる。複数回行う場合 2 回なら 64 倍、3 回なら 512 倍になる。この機能によって細分化されたモデルの例を以下に示す。

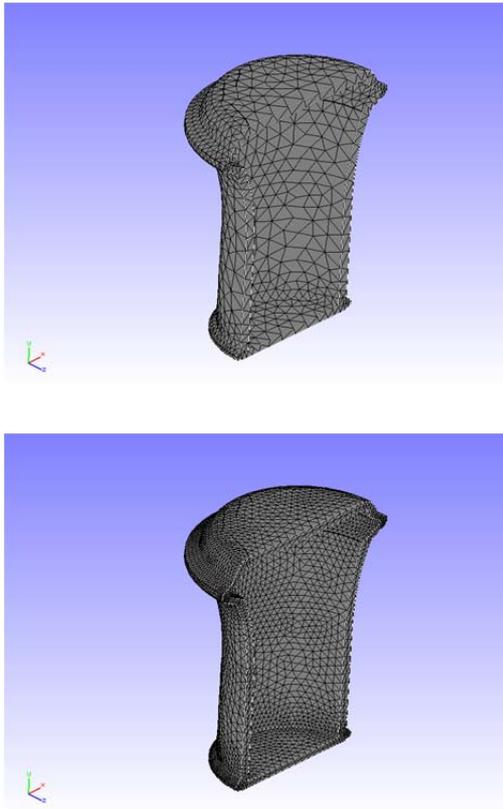


図 14 メッシュ細分化ツール Advance/
REVOCAP_Refiner

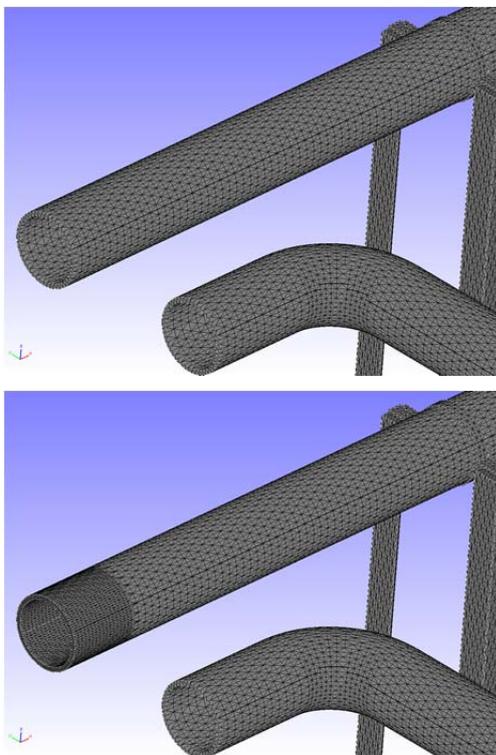


図 15 メッシュ細分化ツール Advance/
REVOCAP_Refiner

解析ソフトウェアに組み込まれて利用された例については、例えば [1]等を参照していただきたい。

ライブラリとしてだけでなく、単体のツールとしても利用することができる。その場合は全体を一律に細分化する機能だけでなく、局所的な領域だけを細分化することもできる。この場合、細かくする領域を座標で選択する方法のほかに、解析の結果の物理量を使って、細かくする領域を指定する方法がある。

座標で局所的な細分の領域を選択する場合の例を図 15 に示す。

計算結果に従って、局所細分の領域を定める例を以下に示す。

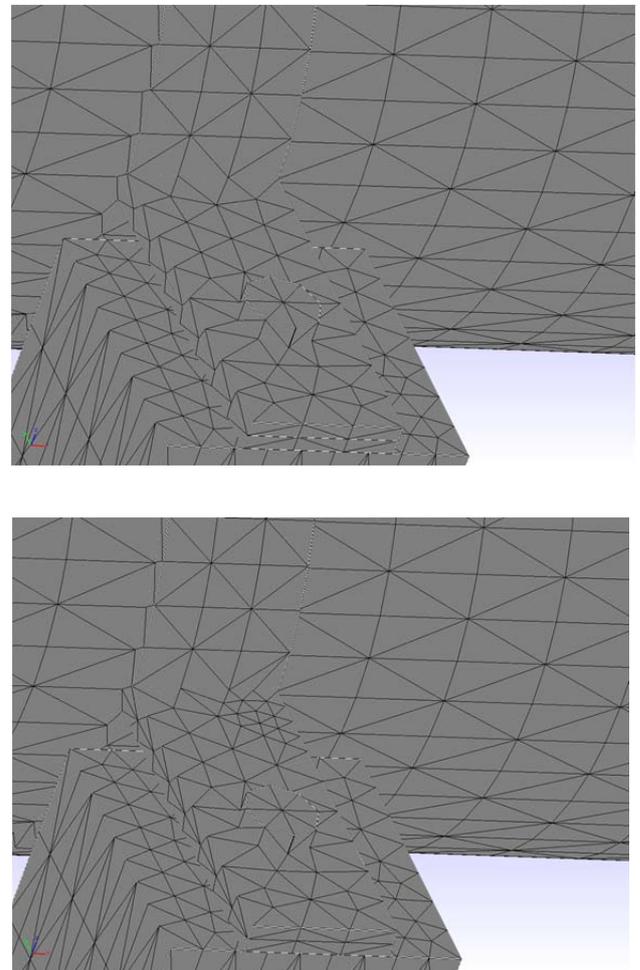


図 16 メッシュ細分化ツール Advance/
REVOCAP_Refiner

例えば、簡易的なモデルで応力が集中する場所を見積もり、その場所の近傍だけメッシュを細かくして詳細解析を行う、などが容易に行うことができる。

5. 双方向連成解析エンジン Advance/REVOCAP _Legato の紹介

Advance/REVOCAP_Legato の対象とする連成解析は、複数の解析ソフトウェアがそれぞれの間で情報をやり取りしながら行う双方向弱連成である。Advance/FrontFlow/FOCUS のような構造格子系の流体解析ソフトウェアと Advance/FrontSTR のような非構造格子系の構造解析ソフトウェアの間の情報をやり取りする仕組みを提供する。解析事例は [3] で紹介されている。

流体を計算する構造格子の中に、構造物を計算する非構造格子は壁の情報として与えられている。連成解析を行う場合には、流体解析で計算したそれぞれの格子のセルに与えられた圧力値などの物理量を構造物の境界条件に変換する。構造物の過渡解析によって得られた変位、速度、加速度などの情報を流体解析の壁の条件に変換する。

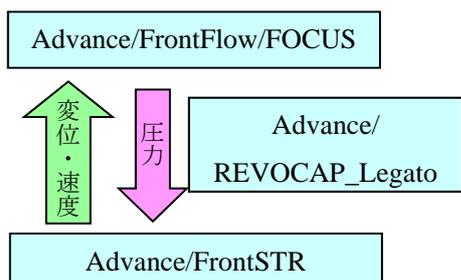


図 17 双方向連成解析エンジン Advance/REVOCAP_Legato

一般的に流体解析と構造解析では扱う現象のスケールが異なるため、メッシュの解像度や計算の時間刻みが異なることが多いと考えられる。従来の連成解析では、メッシュの解像度が同等であること、解析の時間刻みが等しいこと、などの制約が多くみられたが、Advance/REVOCAP_Legato では、これらの制約から自由になっている。

メッシュの解像度の差について、細かいほうから粗いほうへ情報を渡す場合は、細かい格子の情報を平均化する。逆に粗いほうから細かいほうへ情報を渡す場合は空間方向に補間して情報を受け渡す。

解析の時間幅が異なる場合は、解析時刻が一致するまで片方の計算を待たせておく、解析の時間刻みとは別に連成のための情報をやり取りする時間刻みを設定するなど、細かく制御ができる。解析の時間刻みと情報をやり取りする時間刻みが一致しないときは、時間微分の項を考慮して修正する手法（予測子）が実装されている。

6. 微細構造モデリングツール Advance/ REVOCAP_PorousModeler の新機能

微細構造モデリングツールは Advance/REVOCAP のメッシュ処理カーネル部を拡張して、多孔質体、繊維強化複合材、粉体充填材などといった微細な構造を持つ材料について、その構造そのものを幾何学的に表現するメッシュを作成するツールである。例えば多孔質体で従来では透過率を与えて流体解析していたものが、このツールを使うと実施に細かい穴をモデリングして流体の基礎方程式に従って解析によって透過率を求めることができる。また、微細な構造の影響が無視できない高周波の振動解析では、より現実に近いモデルで解析を行うことができる。以前の報告 [2] では微細構造モデリングツールを用いた熱伝導解析の例を紹介した。

以下に球体のコアがマトリクスに含まれている場合のメッシュの例を示す。

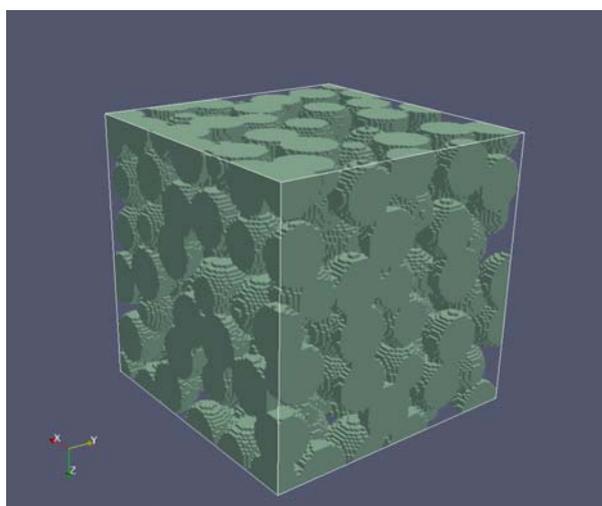


図 18 微細構造モデリングツール Advance/REVOCAP_PorousModeler

コアとマトリクスの界面情報だけを取り出すと、以下ようになる。その他、幾何的な情報から細孔分布などの形状パラメータを算出することができる。

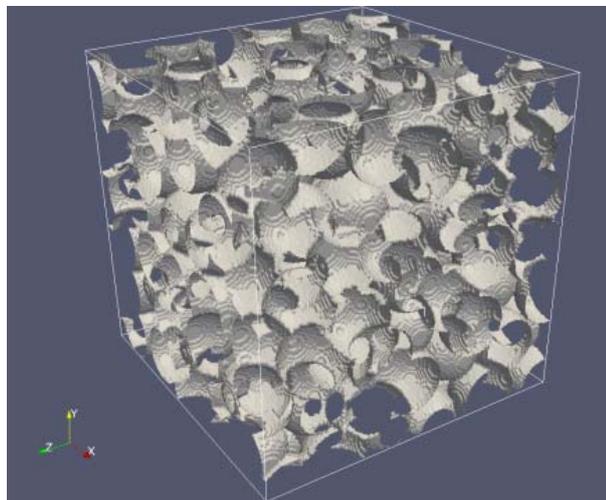


図 19 微細構造モデリングツール Advance/ REVOCAP_PorousModeler

単純な解析結果の例として複合材料の応力解析結果を以下に示す。

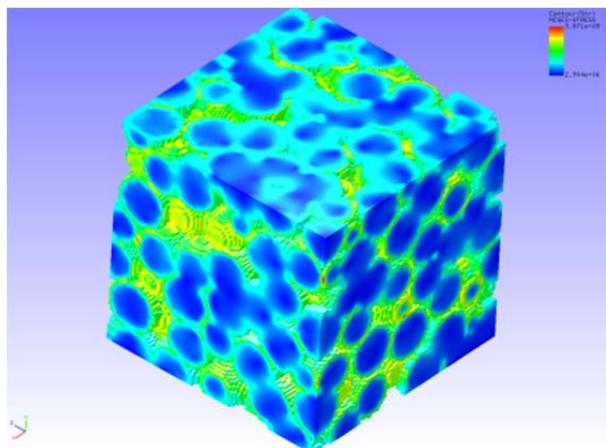


図 20 微細構造モデリングツール Advance/ REVOCAP_PorousModeler

Advance/REVOCAP_PorousModeler では、多孔質体の配置を決める方法として以下の機能が実装されている。

- ① 幾何学的に規則的なパターンに従う（結晶構造など）

- ② 統計量（平均値など）を与えて、ランダムで配置を決める

これらの方法に加えて、最新バージョン 1.5 では、以下の方法での配置を決定することができるようになった。

- ③ 3次元 CT 画像などのスライス画像からモデルを作成する
- ④ 個別要素法で物理法則に従って充填するような配置を計算する

③では、人体のモデルや実物の試験体を測定した結果などから解析用のモデルを作成することができる。医療用画像からモデルを作成して変形解析した例を以下に示す。

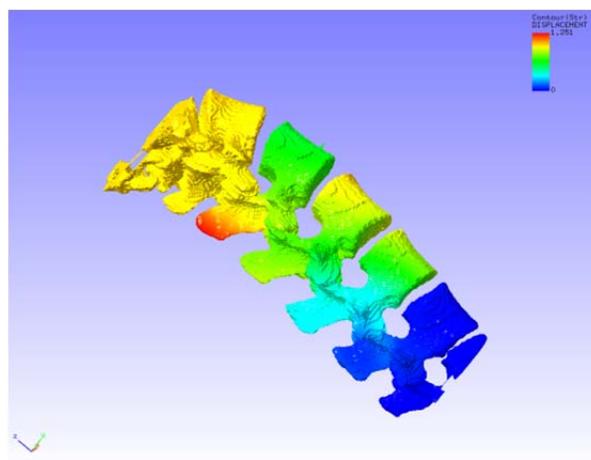


図 21 微細構造モデリングツール Advance/ REVOCAP_PorousModeler

- ④では、粒径が異なる粒子を充填したときに、粒径の大きな粒子が上部に現れる（ブラジルナッツ現象）などの物理現象を反映したモデルを作成することができる。ランダムな粒子配置と、個別要素法を適用した場合の粒子配置を図 22 に示す。

また、容器の内部など複雑に定義された形状に粉体を充填することができるようになった。図 23 に結果を示す。

多孔質体の FEM 解析向けのメッシュとしては、粒子の配置を計算する際に用いている背景の直交格子をもとに作成されたボクセル形状を出力する方法と、粒子の形状に適合したメッシュを出力する方法に対応している。球体の粉体を充填し

た構造を形状に適合したメッシュで出力した場合、メッシュの形状は図 24 のようになる。

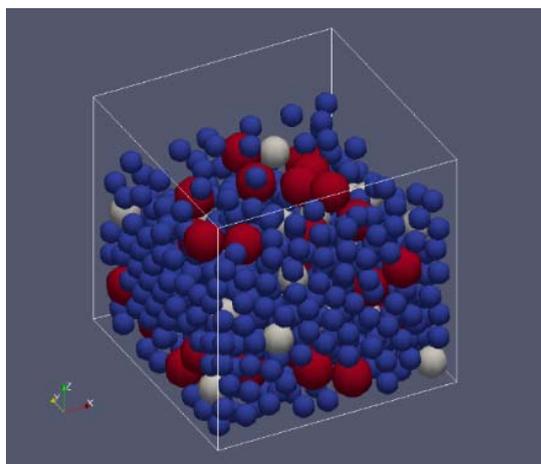


図 22 微細構造モデリングツール Advance/REVOCAP_PorousModeler

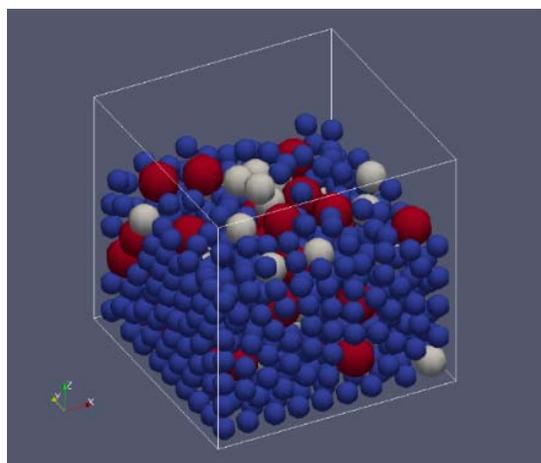


図 23 微細構造モデリングツール Advance/REVOCAP_PorousModeler

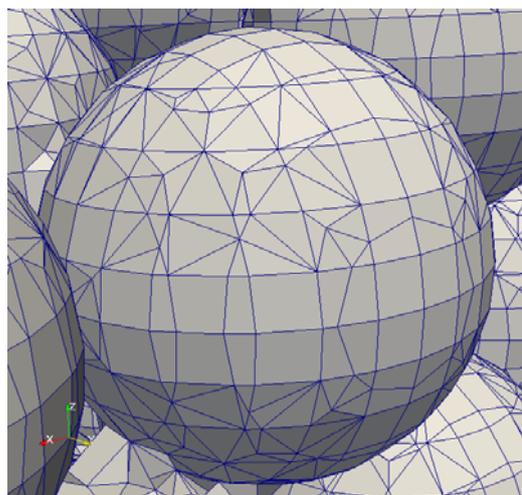
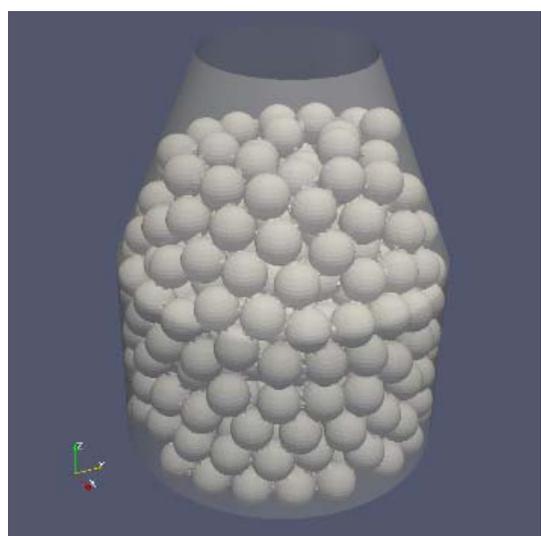


図 24 微細構造モデリングツール Advance/REVOCAP_PorousModeler

7. 今後の予定

Advance/REVOCAP は次のバージョン Ver. 5 で GUI の使い勝手から見直した大幅なバージョンアップを予定している。設計から見直し、64 ビット環境のマルチプラットフォームで動作する汎用のプリポストプロセッサとしての機能は継続し、それぞれの解析ソフトウェアとの連携を高め、クラウドでの利用も考慮したものとなる。

表 2 Advance/REVOCAP

ソフトウェア	Advance/REVOCAP
次期バージョン	Ver.5
主な改善点	GUI 全体の見直し クラウド連携
リリース予定	2017 年 10 月

表 3 Advance/REVOCAP_PorousModeler

ソフトウェア	Advance/REVOCAP _PorousModeler
次期バージョン	Ver.2
主な改善点	シェルまたはビームでの多 孔質体モデルの作成機能
リリース予定	2017 年 10 月

Advance/REVOCAP_PorousModeler では、次のバージョンでは多孔質体をソリッドでモデリングするだけでなく、シェルまたはビーム（トラス）でモデリングする機能が追加される。これによって発泡性樹脂などをより適切にモデリングすることが可能になり、解析モデルとしても計算コストが抑えられたものとなる。

参考文献

- [1] Advance/FrontSTR によるリファイナーを利用した大規模解析, 末光啓二ほか, 2012年, アドバンスシミュレーション Vol. 13.
- [2] 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, 徳永健一, 2014年, アドバンスシミュレーション Vol. 19.
- [3] 高速流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/FOCUS による可燃性ガス爆発解析. 富塚孝之, 中森一郎. 16, 出版地不明: アドバンスソフト, 2013年, アドバンスシミュレーション.
- [4] DICOM Library. (オンライン) <http://www.dicomlibrary.com/>.
- [5] 汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP の大規模メッシュ生成機能の性能と音響解析機能のリリース. 徳永健一, 松原聖. 2013年, アドバンスシミュレーション Vol.16.

※ 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。）