

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*

Large scaled grid generation by Advance/REVOCAP and new released Advance/REVOCAP for Advance/FrontNoise.

Ken-ichi Tokunaga* and Kiyoshi Matsubara *

Advance/REVOCAP の大規模メッシュ生成機能を評価した。STEP データから三角形パッチを作成して、四面体 1 次要素を 2 つの手法で生成した。ここでは、粗密制御はせず、単一材料のモデルを利用した。すべてのケースの三角形パッチは同一で、メッシュサイズのパラメータのみ変更して、メッシュ生成時間を計測した。ここでは、200 万要素程度のメッシュが 2 分で作成できていることから、この程度の解像度はもはや特別なものではなく、日常的になっていることが裏付けられた。また、パソコンレベルの計算機で並列処理を行わずに 1 億 9 千万要素の大規模メッシュが生成できることも確認した。現実的にはプリ処理の効率化の面ではメッシュの細分化技術と使い分けることも可能である。ここで、処理性能はほぼ線形で、スケーラビリティがあることも確認できた。

Key word: 大規模メッシュ、大規模解析、プリポスト、メッシュ細分化

1. はじめに

当社は、2002 年の会社設立当初から、マクロなシミュレーションでは流体解析、構造解析、および、原子分子のシミュレーション分野の第一原理計算大規模並列計算に力を入れてきた。また、当社の商品のベースである国のプロジェクトで開発されたソフトウェアについては、そのソフトウェアの設計時点から、大規模並列計算を念頭に置いたものであった。その中では、数億メッシュという大規模計算も実施されてきた。

その中では、ひとつの課題として常にメッシュ生成の問題があった。その課題に対しては、例えば、構造解析では、アセンブリ機能およびリファイナー機能を合わせて利用することにより大規模計算に対応してきた。アセンブリ機能とは部品毎にメッシュを作成して、それを組み合わせ大規模なメッシュを作成していく方法である。

また、リファイナーは、自動的にメッシュを細分化する機能である。これまでの計算では、このいずれかの機能を利用して大規模計算を行ってきた。しかし解析対象は、形状が複雑になるに従い、また要求される精度が上がってくるに従って、メッシュ生成事態の技術向上も求められている。当社は、Advance/REVOCAP の開発を通して、大規模メッシュ生成の技術を蓄積してきた。

これまで、Advance/FrontNoise はプロポスト機能がなく、市販のメッシュャからいくつかの形式でエクスポートしたファイルを利用して Advance/FrontNoise での音響解析を実施してきた。今回は、従来から Advance/FrontFlow/red[1] および Advance/FrontSTR[2] のプリポストとして利用してきた Advance/REVOCAP を Advance/FrontNoise[3]-[6] 用の機能を付加し、今回、Advance/REVOCAP では、Advance/FrontNoise のプリポストをリリースした。

Advance/FrontNoise では、利用する要素が四面体 1 次要素であることから、Advance/

*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

REVOCAP で利用している大規模テトラメッシュの性能が十分に発揮できるものであり、非常に整合性が高いソフトである。その中で、大規模メッシュの生成についても、これまでの技術をもとにしたベンチマークを行った。このメッシュ生成技術は、当然、構造解析および流体解析でも利用できる機能であり、既存の Advance/FrontSTR および Advance/FrontFlow/red を用いるために Advance/REVOCAP を利用しているユーザー様にも、同様のメリットをもたらすものである。大規模メッシュ生成が可能になったが、そこにはかなりの大きな処理時間を要するのが現状である。従って、それを補完する意味で、当社ソフトウェア群では、リファイナー機能の利用を推奨している。

本稿では、まず Advance/REVOCAP の大規模メッシュ生成機能の性能について述べる。その後で補足的に Advance/FrontNoise で利用可能であ

るリファイナーの性能についても述べる。その後に、今回リリースした、Advance/FrontNoise 用の Advance/REVOCAP の機能について述べる。

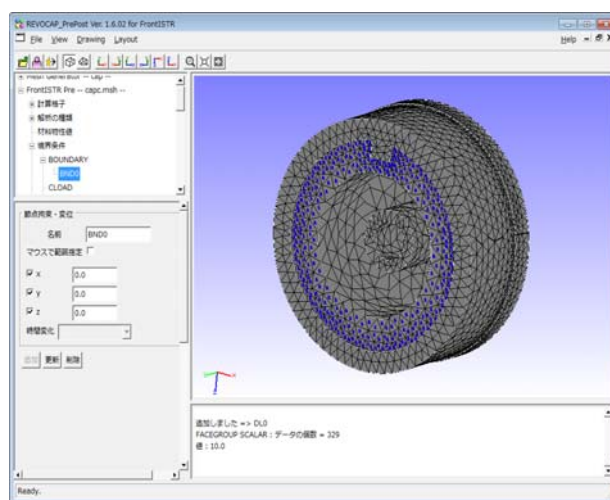


図 1 Advance/REVOCAP の画面

表 1 メッシュとリファイナーの比較

機能	利点	欠点
メッシュ	複雑形状に適合したメッシュ生成が可能である。	かなりの処理時間および計算機リソースを必要とする。
リファイナー	処理時間が短い。もとのメッシュがあれば、比較的手軽に利用可能である。形状適合機能を利用すれば、曲面形状の解像度が得られる。	複雑な形状には対応できない場合がある。また、境界条件に対応することが別途必要である。形状適合機能を利用する場合は前処理が必要。

表 2 Advance/REVOCAP の基本情報

項目	内容
対応ソルバー	流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red, 気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP, 構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR, 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise
形状モデル読み込み	IGES(5.3), STEP, STL
メッシュ生成	四面体自動メッシュ生成、押し出しメッシュ生成、2次要素対応、粗密制御対応
計算格子	FrontFlow GF 形式, HEC-MW 形式
読み込み	四面体、六面体、三角柱、四角錐、三角形（シェル）、四角形（シェル）
ポスト処理	カラーコンター、等値面、流れ場ベクトル、切断面表示、変形、アニメーション作成、時系列グラフ、画像ファイル出力、HEC-Visual による可視化サポートなど
プリ処理	境界条件設定機能、解析条件設定機能、材料物性値簡易データベース機能、ステップ解析設定機能、メッシュ品質チェック機能

2. 汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP の概要

有限要素法、有限体積法を用いた構造解析ソフトおよび流体解析ソフトのための汎用プリポストプロセッサである。直感的な操作でモデリング・メッシュ作成・境界条件の設定、結果の可視化といった解析の一連の流れをスムーズに行うことを実現した。特に Advance/FrontFlow/red と Advance/FrontSTR の専用の入力 GUI を備え、解析者の手間を削減する。その他、Advance/FrontFlow/MP に対応している。最新の機能として、Advance/FrontNoise に対応したため、本稿でもその機能について述べる。

また、最近の機能改良では、ご要望の多かった Windows 64bit 版への対応をした。これにより大規模なメッシュを PC 上で扱うことが可能になる。例えば、メインメモリが 8GB で 1000 万メッシュのモデルを処理することができる。

また、構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR Ver. 4.1 のシェル解析モデルの作成に対応した。ここでは、シェル格子ファイルを読み込んで、境界条件の設定を行い、シェルモデルの計算結果の可視化を行えるようになった。シェル解析は車のボディ、ファンの翼面のような薄物の解析に適しており、同様の形状をソリッド要素でモデリングする場合に比べて要素が少なく済み、収束が改善する。新機能である『材料異方性』のパラメータ設定等に対応した。さらに、流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red Ver. 5.0 に対応している。

本ソフトウェアは、文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトで開発された、連成解析用のプリポストプロセッサ REVOCAP_Visual、および文部科学省次世代 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」で開発された REVOCAP_PrePost をアドバンスソフトが、機能を拡張して商品化したものである。

3. Advance/REVOCAP の大規模メッシュ生成機能

3.1. メッシュ生成機能の概要

Advance/REVOCAP では、大規模なメッシュ生成パフォーマンスを重視している。メッシュには ADVENTURE_TetMesh と Simmetrix の2つのメッシュ生成エンジンを内包している。ここで、ADVENTURE_TetMesh により、大規模メッシュの生成が可能である。Simmetrix では、複雑形状に対して Robust なオートメッシュ生成が可能である。以下では、Simmetrix でのメッシュ生成を方法 A、および ADVENTURE_TetMesh でのメッシュ生成を方法 B と呼ぶことがある。また、本稿で示すメッシュ生成パフォーマンスの計測は、Windows7 64bit Core i7 3.6GHz 16GB 程度の環境において、200 万要素約 2 分で生成、2000 万要素を約 20 分で生成が可能である。さらに、64GB メモリ環境を利用すると、1 億要素のメッシュ生成も可能である。

3.2. メッシュ生成条件

本テストは、Advance/REVOCAP が対応している解析ソフトウェアに共通である。ここでは、音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise のデータを用いて、メッシュ生成を行った。

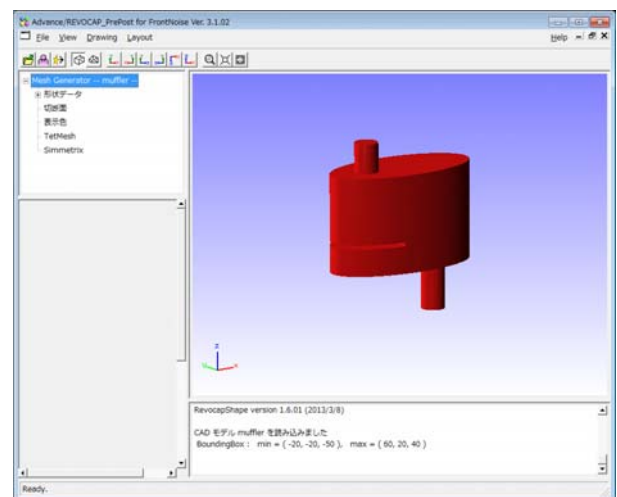


図 2 大規模メッシュ生成テスト形状

マフラーの音響性能を想定した形状（スケールは 0.3m 程度の形状）を利用して、メッシュ幅をいくつかの条件を与えて、大規模なメッシュを生成して、その処理時間を計測する試験である。テ

スト環境は下記の通りである。参考までに実際にメッシュ生成を行った画面を示す。

表 3 テスト環境

項目	環境 1	環境 2
OS	WindowsPC	WindowsPC
	64bit	64bit
CPU	Corei7 3.6GHz	Corei7 3.2GHz
メモリ	16GB	64GB

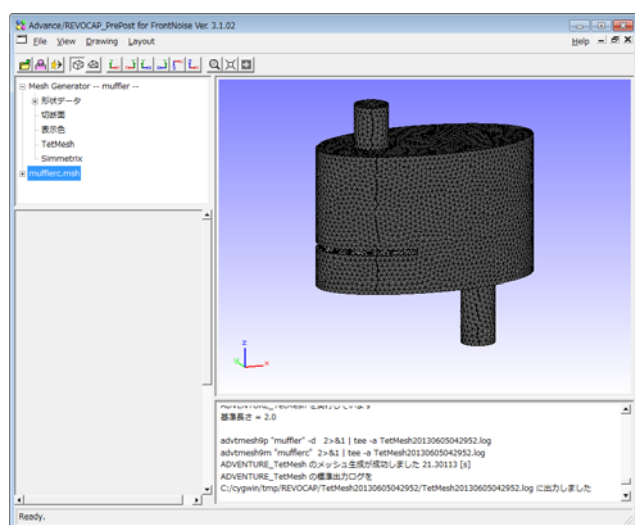


図 3 メッシュ生成画面

3.3. メッシュ生成の処理時間

Advance/REVOCAP の標準機能とした方法 A、および方法 B について、大規模メッシュの生成を実施した。方法 A については、メッシュパラメータを 0.05 から 0.004 に与えて、ほぼ 300 万節点、1500 万要素までのメッシュ生成を行った。また、大規模メッシュを得意とする方法 B では、3000 万節点、1 億 5000 万要素要素を生成して処理時間を計測した。この最大は、Advance/FrontNoise で解析できるほぼ上限となっている。

表 4 方法 A によるメッシュ生成時間

基準長	節点数	要素数	処理時間 [sec]
0.05	3,361	15,486	18.02
0.04	5,502	25,900	26.11
0.03	11,493	55,702	49.39
0.02	30,696	156,863	74.32
0.015	66,979	353,722	83.52

0.01	204,527	1,122,425	289.97
0.008	393,999	2,189,844	718.18
0.006	898,587	5,079,496	1038.1
0.005	1,477,854	8,454,815	883.46
0.004	2,819,590	16,288,783	1533.49

表 5 方法 B によるメッシュ生成時間

基準長	節点数	要素数	処理時間 [sec]
—	61,925	344,545	36.65
5.00	2,377	9,419	17.22
4.00	3,269	13,893	14.99
3.00	6,239	29,465	14.62
2.00	18,179	94,385	20.10
1.50	40,049	217,540	33.65
1.20	75,436	422,171	45.97
1.00	131,177	751,100	62.51
0.80	249,618	1,457,769	89.04
0.70	364,837	2,152,366	117.13
0.60	561,991	3,349,341	152.80
0.50	993,765	5,988,666	228.26
0.40	1,895,564	11,527,915	453.66
0.35	2,827,746	17,283,577	667.21
0.32	3,661,947	22,427,346	839.78
0.30	4,308,394	26,295,326	1,076.81
0.25	8,345,598	51,366,268	3,191.20
0.23	1,046,129	64,440,165	5,449.73
0.22	16,006,522	98,686,260	11,987.05
0.21	21,231,096	131,027,532	21,307.49
0.20	31,747,269	196,298,885	48,698.59

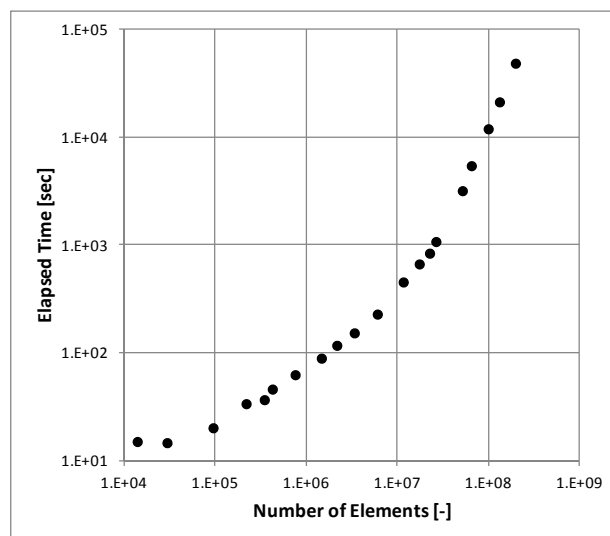


図 4 方法 A によるメッシュ生成時間

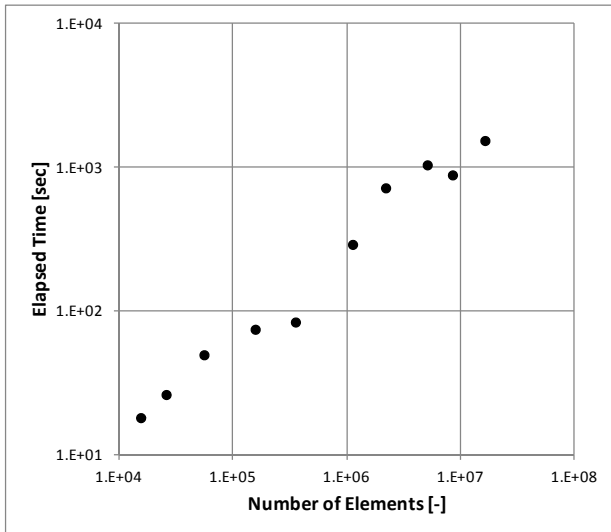


図 5 方法 B によるメッシュ生成時間

3.4. Advance/FrontNoise のリファインツール

有限要素法や境界要素法を利用した音響解析では、解析周波数に格子幅が制限される。従って、スケールの大きな対象を解析する場合には、その解析対象の複雑さに依存せず、スケールが大きければ、大規模な計算にならざるをえない。例えば、3kHz で、1 辺が 1m の立方体の解析を実施する場合には、音速 300m/sec とすると、ほぼ 1cm のメッシュが必要となり、最低限 100 万要素が必要となる。また、同様の計算から、6kHz では 800 万節点が必要であり、9kHz では、2700 万節点が必要となる。当社での大規模計算は、7000 節点で 4 億要素までの実績がある。従って、9kHz でほぼ限界の周波数となる。また、3 次元の解析では、周波数が 2 倍になるとメッシュ数は 8 倍となる。

従って、われわれは、大規模解析が可能なシミュレーションソフトウェアとするとともに、それを利用するためのツールも合わせて整備している。例えば、1kHz で解析が可能なメッシュと境界条件が存在する場合を考える。もう少し上の周波数まで解析を行いたい場合には、これまではメッシュを作成しなおす必要があった。しかし、大規模なメッシュを作成する場合、特に 1000 万要素を超える場合には、市販のメッシュでは操作の面で処理速度が遅くなることや、処理速度が遅くなることでユーザーには非常に負荷がかかる。ま

た、当社のメッシュの REVOCAP は大規模向けに開発されているソフトウェアであり、8GB のメモリの PC で 3000 万要素程度までのメッシュ作成は、1 時間程度で処理が可能である。

1kHz の解析のメッシュを利用して 2kHz の解析を行うためには、解析領域のメッシュ全体を半分にするればいい。例えば、Advance/FrontNoise では四面体を利用している。1kHz 用の四面体の各辺を均一に 2 分割して、その中点を利用した 8 つの四面体に分割することができる。また、境界条件については、面の境界条件についても 4 分割することができる。それを新しい節点に対応させることで、リファインしたメッシュおよび境界条件を作成することができる。

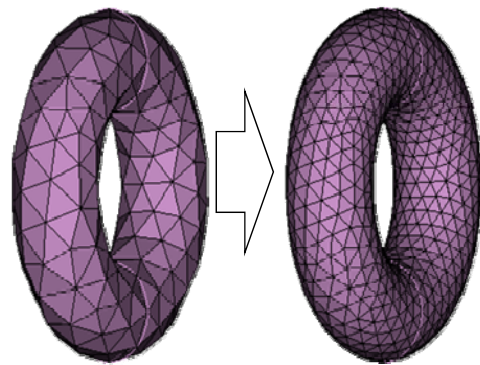


図 6 メッシュのリファイン機能

また、リファインにおいて、その配置を既存の節点の後ろにくるように配置することで、節点に関する境界条件は変更しなくていいことが分かる。従って、Advance/FrontNoise の境界条件も自動的に作成できる。

Advance/FrontNoise のリファインについては、次の程度の処理時間となるため、比較的容易に利用できると考えている。具体的には、次のような時間で処理可能である。

表 6 使用計算機の仕様

項目	内容
CPU	Intel Xeon X5660 2.80GHz
ノード構成	10 ノード×12 コア
メモリ	96GB／ノード
スワップ	96GB／ノード
キャッシュ	12MB／ノード

表 7 リファイナーの処理時間

階層	節点数	要素数	処理時間 [sec]
1	1,172	4,832	—
2	7,824	38,656	0.6
3	56,899	309,248	5.1
4	433,429	2,473,984	33.6
5	3,382,377	19,791,872	245.2
6	26,722,769	158,334,976	2,109.6
7	212,445,089	1,266,679,808	16,884.6

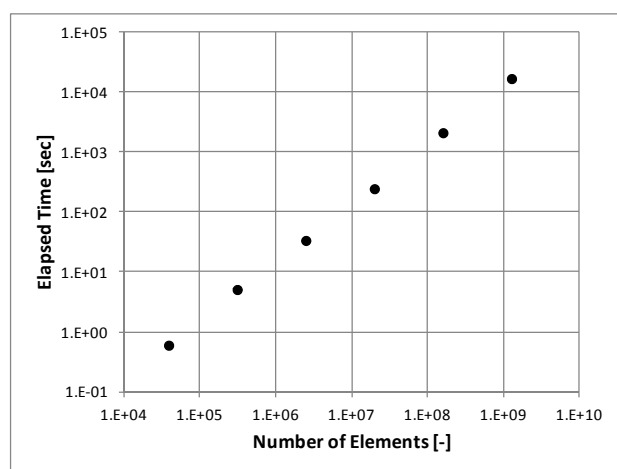


図 7 リファイナーの処理時間

また、以下には補足的に、Advance/FrontNoiseの粗視化ツールの内容について紹介しておく。粗視化ツールは、ユーザーにとって、特に大規模な解析結果の概要を可視化する場合に利用可能である。本ツールを利用することで、ポスト処理で全体像をつかみたい場合に有効である。ここで提供している粗視化ツールは細分化ツールの逆方法の処理であり、1回の粗視化メッシュ数は1/8となる。

本ツールを利用してリファインした結果を戻すことができるというメリットもある。必要に応じて、そのメッシュ等を利用して再計算も可能となる。ただし、リファインした結果をもとに戻すと、存在している波が消えることがあることにも注意する。ただし、指定した観測点の音圧レベル等については、この手法で十分に評価可能であると考えられる。

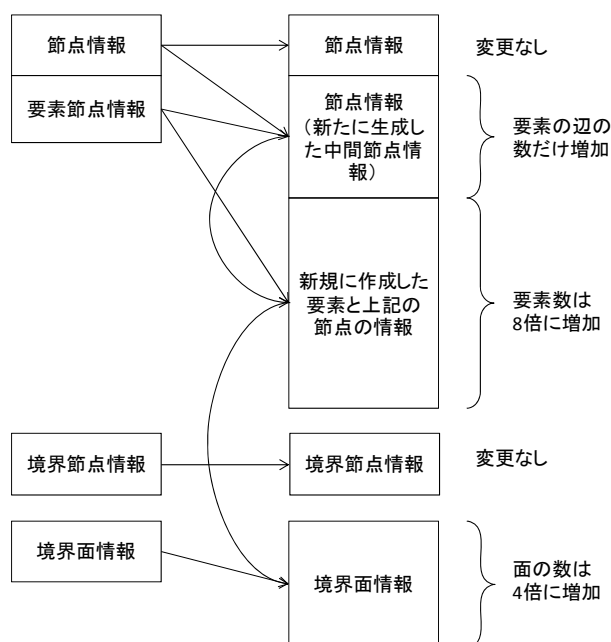


図 8 細分化（リファイン）と粗視化の仕組み

3.5. Advance/FrontNoise のリファインツール

上記のツールとは別に、Advance/FrontSTRには、Advance/REVOCAPと連携したより強力なリファイナーが容易されており、そこでは、ソルバーの入力データにパラメータを指定するだけで、大規模な計算が可能になる仕組みである。その仕組みを利用すると、大規模なメッシュのファイル転送等の手間が大幅に削減でき、より大規模解析を手軽に行うことができるようなツールが整備されている。これについては、参考文献の[7],[8]を参照されたい。ここには、大規模計算のためのツールとして、リファイナーと合わせ、アセンブリ機能に関する紹介をしている。

4. Advance/REVOCAP for FrontNoise

4.1. 機能概要

今回リリースした Advance/REVOCAP の機能では、すべての機能が Advance/FrontNoise のファイル形式に対応しており、既存のユーザの方については、ご利用いただいていたコンバータが不要である。まず、四面体自動メッシュ生成機能がある。また、境界条件編集機能、および、解析モデル出力機能、結果ファイルの可視化機能を有する。図 9 にそのシステム構成を示す。

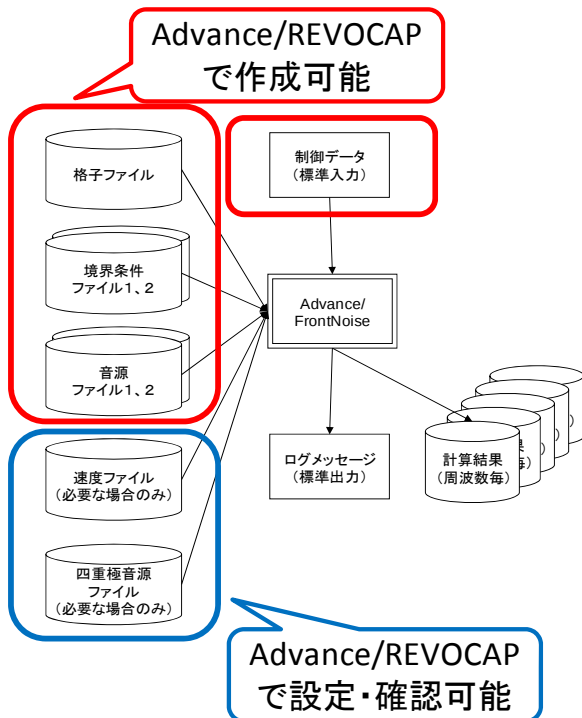


図 9 Advance/REVOCAP システム構成

4.2. Advance/REVOCAP の利用例

4.2.1. 形状ファイルからメッシュ生成

メッシュ生成機能では、iges,step,stl 等の CAD ファイルを形状ファイルとして与え、基準長を入力することで、四面体 1 次要素のメッシュを自動生成する。メッシュ生成の画面およびその処理時間については、前節に示したので、参照いただきたい。

4.2.2. 境界条件の作成

本操作は、当社の他のソフトウェアと接続された Advance/REVOCAP の利用方法と同じである。まず、境界条件を設定したい境界面を選択する。その面に対して、与える境界条件の値を選択することで境界条件が設定可能である。また、境界条件の選択においては、Advance/REVOCAP では面を取り出す操作が可能であるため、境界条件を設定する操作が非常に容易となっている。

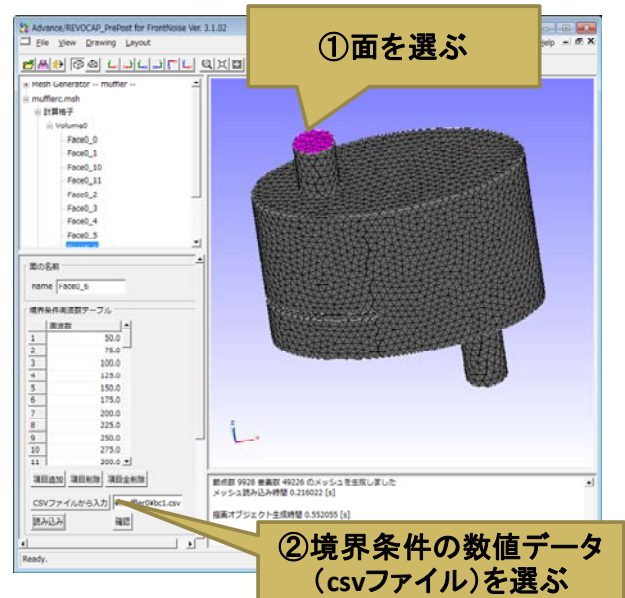


図 10 境界条件設定画面

4.2.3. パラメータの設定

つぎに、Advance/FrontNoise の計算パラメータを設定する。本ソルバーについては、少数のパラメータを設定するだけで、解析可能となっている。使い方に習熟したユーザー用のオプションな条件については、Advance/FrontNoise では、環境変数で設定するように設計されているため、プリポストでは設定する必要はない。下記の 3 つの画面の条件を設定する。



図 11 パラメータの設定

4.2.4. 入力ファイル作成

最後に、作成した条件をファイルに保存して、

Advance/FrontNoise 用のファイル一式を出力する。ここでは、ファイル名を指定し、ファイル保存の操作をするのみである。

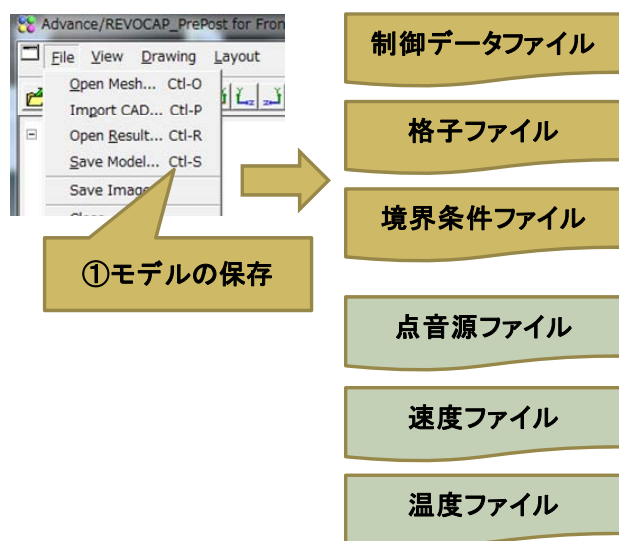


図 12 入力ファイル作成

4.2.5. 結果ファイルの可視化

解析結果が得られたら、Advance/REVOCAP で可視化する。計算機サーバーの解析結果を手元の PC にコピーし、そのファイルを読み込む。ここでは、コンター表示、断面表示、等値面表示、などの可視化機能を利用することができる。

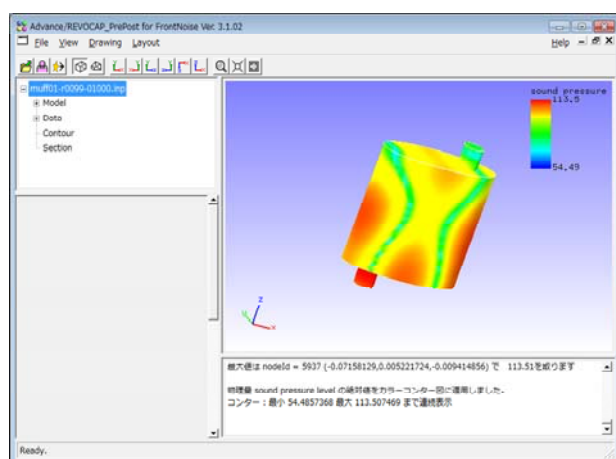


図 13 可視化画面

5. まとめ

本稿では、Advance/REVOCAP のメッシュ生成機能、および、Advance/REVOCAP の音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise 用の機能に

ついて述べた。

特に、前者については、1 億を超えるメッシュ生成が、パソコンで数時間で可能であることを示した。この大規模メッシュ生成機能とリファイナーを合わせることで、億単位のメッシュを容易に生成できる環境が整った。われわれは、従来は 100 万要素を生成し 2 回のリファインで数千万メッシュを作成することを想定していた。しかし、本稿に示した大規模メッシュ生成機能を利用することで、より形状適合性の高い 1000 万を作成して 2 回のリファインで数億メッシュを作ることが日常的に可能になったと考えている。

今後、さらに大規模計算のためのメッシュ生成に取り組んでいく予定である。

参考文献

- [1] 杉中 隆史ら, “Advance/FrontFlow/red Ver.4.1 の概要と特徴”, アドバンスシミュレーション Vol.2, 2010.9
- [2] 松原 聖, 袁 熙, 末光 啓二, 大家 史, 徳永 健一, “構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR”, アドバンスシミュレーション Vol.10, 2011.12
- [3] 松原 聖, 桑原 匠史, “音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の現状”, アドバンスシミュレーション Vol.15, 2013.5
- [4] 松原 聖, “音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の解析手法”, アドバンスシミュレーション Vol.15, 2013.5
- [5] 松原 聖, 桑原 匠史, 戸田 則雄, 大西 陽一, 大家 史, “音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise を利用した連成解析”, アドバンスシミュレーション Vol.15, 2013.5
- [6] 松原 聖, 桑原 匠史, “音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の解析事例”, アドバンスシミュレーション Vol.15, 2013.5
- [7] 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」”, Vol.8, 2011.7
- [8] 末光 啓二, 徳永 健一, “Advance/FrontSTR の部品アセンブリ解析機能”, Vol.8, 2011.7