

音響解析の原理と入出力の関係

代表取締役社長 松原 聖

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise基礎セミナー
2015年7月30日（木）
アドバンスソフト株式会社

ご説明内容

- ソルバ本体の使い方
- ツール群の使い方
- まとめ

※音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoiseは、有限要素法ソルバ本体と、入出力機能を支援するツール群から構成されます。

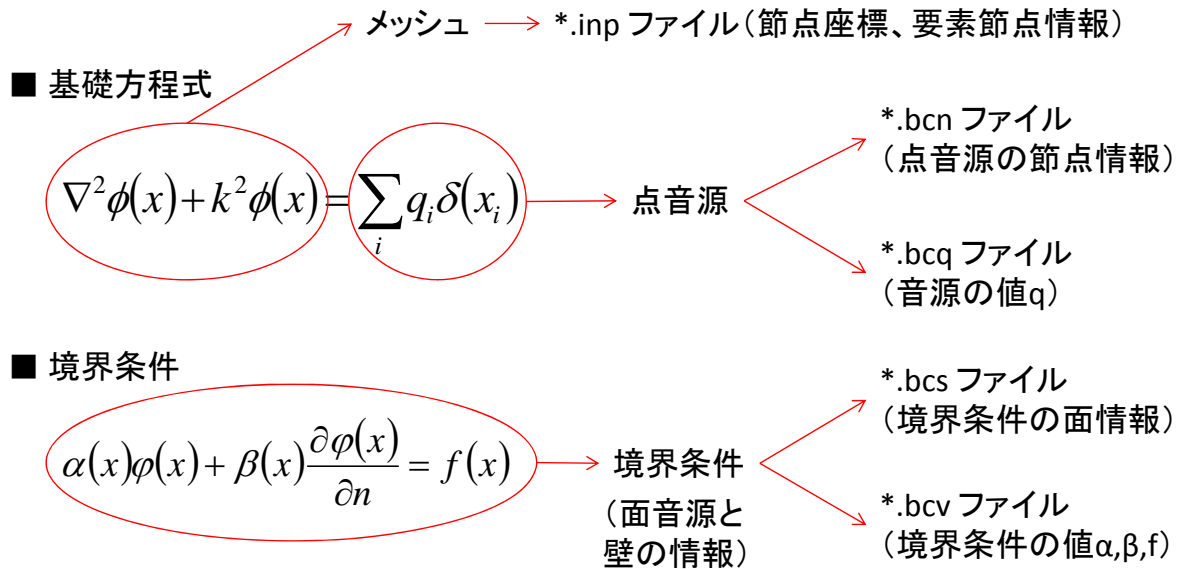
※プリポストについては、次の枠で説明します。

1. ソルバ本体の使い方

音響解析に必要な情報

- **メッシュ**
 - 節点
 - 要素
- **境界条件**
 - 場所の情報
 - 値
- **音源**
 - 場所の情報
 - 値
- **解析条件**
 - 開始・終了周波数
 - 周波数間隔
 - 音速・密度
 - 収束のための最大反復回数

理論と以下で説明する入力データの関係

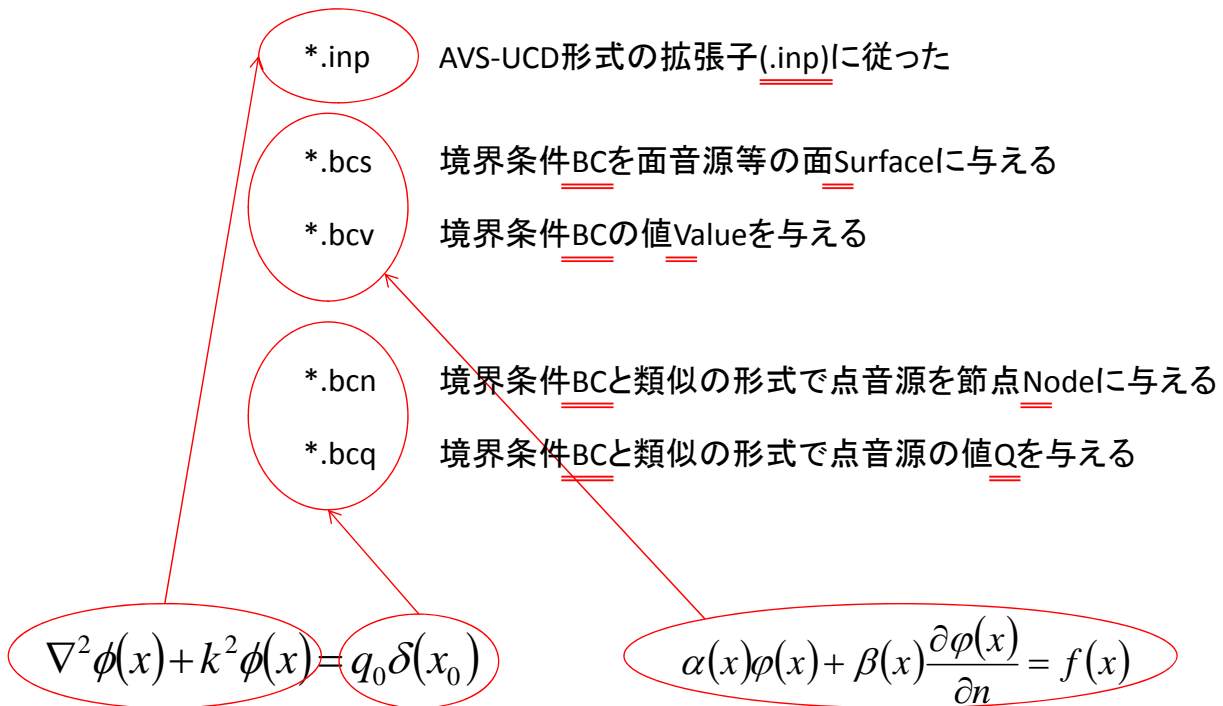


音響解析のために準備するファイル

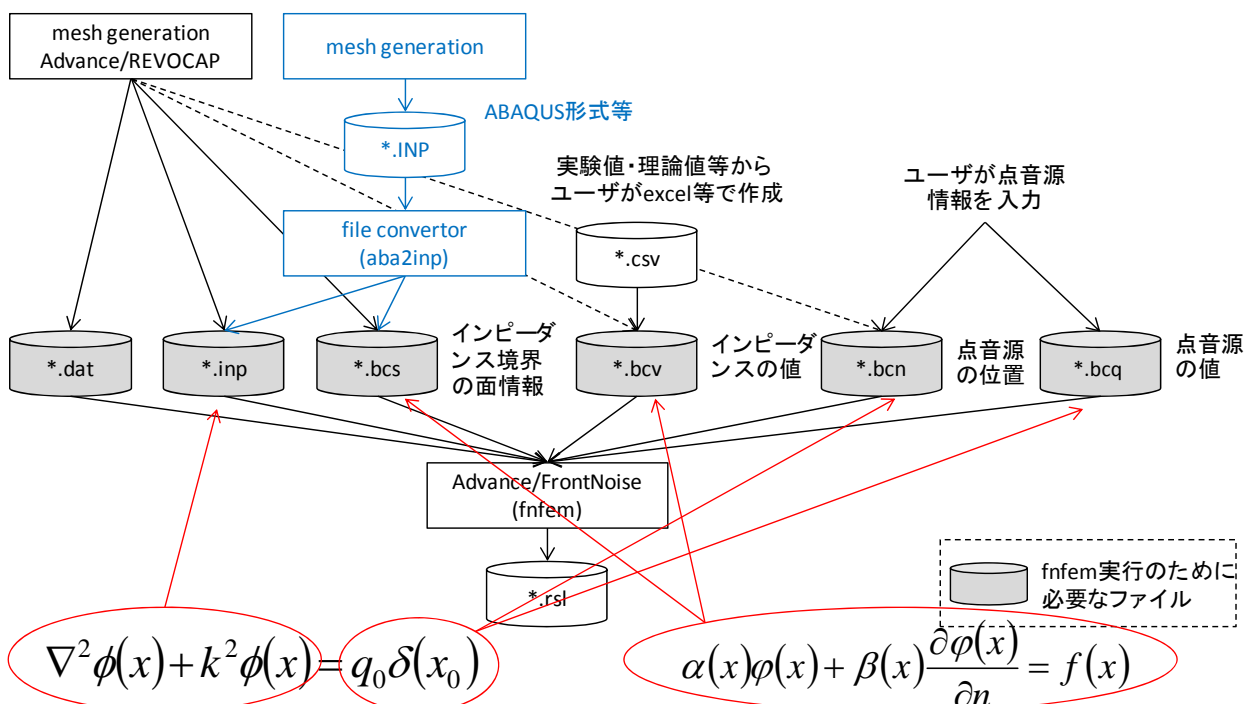
項目	ファイル名	代表的なファイル作成方法
メッシュ	*.inp	メッシュ作成ソフト(Advance/Revocap)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
境界条件 (面音源を含む)を面に与える場合	*.bcs	メッシュ作成ソフト(Advance/Revocap)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
	.bcv	実験値・理論値・文献値からexcel等で条件を作成して、csvでexportしたファイルを.bcvファイルとする。
点音源を節点に与える場合	*.bcn	メッシュ作成ソフト(Advance/Revocap)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。または、節点探索ツールnfindを利用する。
	.bcq	手入力等で音源ファイルを作成して.bcqファイルとする。



ファイルの拡張子名の由来



音響解析の流れと必要なデータ



解析手順

- 格子ファイル(*.inp)を作成する。
 - 四面体1次要素
- 2つ(位置*.bcsと値*.bcv)の境界条件ファイルを作成する。
 - 境界条件の節点・面の情報
 - 境界条件の値を指定する
- (必要に応じて、2つの点音源ファイル(節点*.bcnと値*.bcq)を作成する。)
- 制御データ(*.dat)を作成する。
 - 解析対象とする周波数の指定
 - 音速と密度の指定
 - 収束最大回数等の計算パラメータ

説明用の例題

- 径の異なる円筒を接続した形状
- 内部は22°Cの空気
- 端部(入口)に音源
- 出口は放射条件
- 周波数毎の出口音圧レベルを求める。

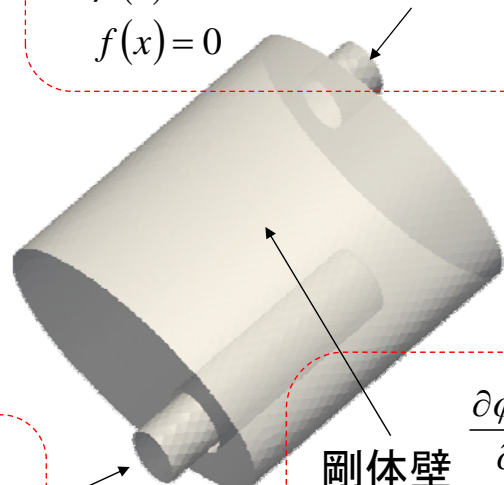
$$Z_r = 1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} + i \frac{H_1(2ka)}{ka}$$

$$\alpha(x) = i\omega\rho$$

$$\beta(x) = -Z$$

$$f(x) = 0$$

放射条件



$$\alpha(x) = i\omega\rho$$

$$\beta(x) = 0$$

$$f(x) = 1$$

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

音源

$$\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = 0$$

$$\alpha(x) = 0$$

$$\beta(x) = 1$$

$$f(x) = 0$$

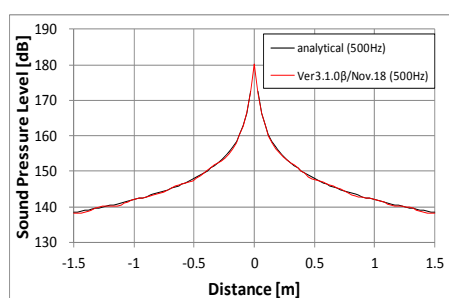
FEMではデフォルトが剛体壁

【参考】格子データの作成、格子幅の基準

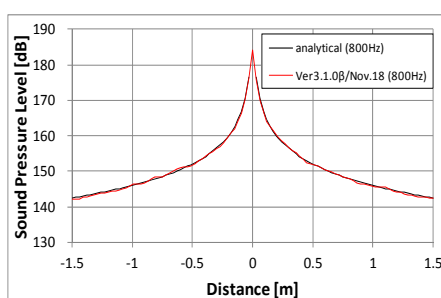
- Advance/REVOCAPでメッシュを作成する。
- 四面体1次要素で格子データを作成する。
- FrontNoise形式でexportし、Advance/FrontNoiseの入力データとする。
- 使い方はやや面倒になるが、REVOCAP以外のメッシュも利用することは可能である。その場合には、特定の形式で出力し、FrontNoise形式に変換する。

周波数 [Hz]	波長 [m]	推奨 Δx [m]
200	1.650	0.206
400	0.825	0.103
600	0.550	0.069
800	0.413	0.052
1000	0.330	0.041
1200	0.275	0.034
1400	0.236	0.029
1600	0.206	0.026
1800	0.183	0.023
2000	0.165	0.021

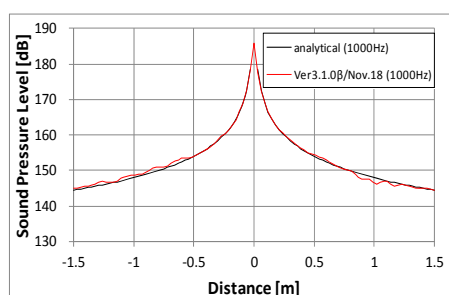
【参考】格子幅と精度（理論解と計算結果比較）



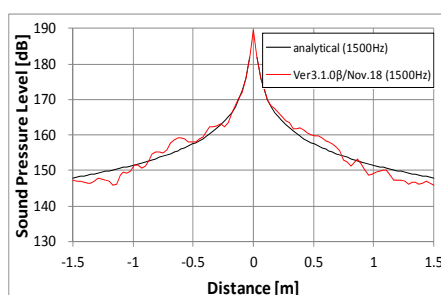
Δx が波長の1/12



Δx が波長の1/8



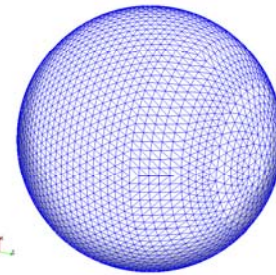
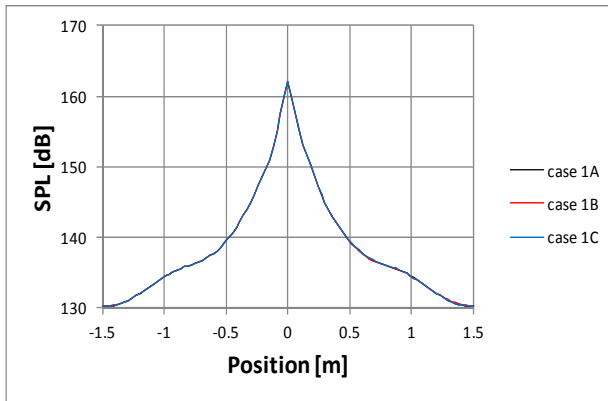
Δx が波長の1/6



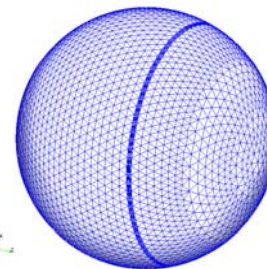
Δx が波長の1/4

【参考】メッシュの品質について

- メッシュの品質が多少落ちてても精度には影響しない
- メッシュの品質は収束性に影響し、品質が悪いと処理時間が長くなる。



均一メッシュ



一方向1/100に潰したメッシュを一部分に設定

格子データ*.inp と 境界条件*.bcs

節点数 要素数

```

15599 80841 0 0 0
1 1.095609E-02 6.532056E-04 9.002163E-02
2 2.305552E-03 -4.045220E-03 8.553849E-02
3 7.001373E-03 -8.089558E-03 9.723604E-02
.....
.....
15597 -8.769719E-02 -4.461012E-02 -4.257290E-02
15598 -3.692970E-02 3.077868E-02 -8.676382E-03
15599 -9.093806E-02 -1.554294E-02 6.720008E-02
1 1 tet 1 2 3 4
2 1 tet 1 5 6 7
3 1 tet 1 8 9 10
.....
.....
80839 1 tet 14256 15144 5926 13955
80840 1 tet 14256 3422 5926 8556
80841 1 tet 14256 3422 8556 3424
                    
```

格子データ(.inp) 要素節点情報(四面体の4節点)

節点座標

要素番号
面を構成する節点

境界条件
ブロック1

```

bc1
3787 1 2 3
4114 1 2 3
4117 1 2 3
.....
57892 1 2 3
59033 1 2 3
65976 1 3 4
bc2
119 1 2 3
192 1 2 3
10296 1 3 4
.....
64815 1 2 3
65437 1 2 3
65438 1 2 3
                    
```

境界条件
ブロック2

境界条件ファイル1(.bcs)

与えるべき境界条件

入口境界条件		出口境界条件
境界種類	面音源	円形ダクトからの放射条件
一般式	$\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n} = f(x)$	
与える条件	$\varphi(x) = 1$	$Z_r = \theta_r + i\chi_r = 1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} + i\frac{H_1(2ka)}{ka}$
係数 α	$\alpha(x) = 1$	$\alpha(x) = i\omega\rho$
係数 β	$\beta(x) = 0$	$\beta(x) = -Z$
係数 f	$f(x) = 1$	$f(x) = 0$

境界条件の値 *.bcv

周波数	α の実数部	α の虚数部	β の実数部	β の虚数部	f の実数部	f の虚数部
50.0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-03	0.000E+00
50.0	0.000E+00	-9.108E-01	8.252E-05	1.090E-02	0.000E+00	0.000E+00
75.0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-03	0.000E+00
75.0	0.000E+00	-1.366E+00	1.857E-04	1.636E-02	0.000E+00	0.000E+00
100.0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-03	0.000E+00
100.0	0.000E+00	-1.822E+00	3.301E-04	2.181E-02	0.000E+00	0.000E+00
125.0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-03	0.000E+00
125.0	0.000E+00	-2.277E+00	5.158E-04	2.726E-02	0.000E+00	0.000E+00

周波数	α の実数部	α の虚数部	β の実数部	β の虚数部	f の実数部	f の虚数部
50.0	1.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	1.000D-03	0.000D+00
50.0	0.000D+00	-9.108D-01	8.252D-05	1.090D-02	0.000D+00	0.000D+00
75.0	1.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	1.000D-03	0.000D+00
75.0	0.000D+00	-1.366D+00	1.857D-04	1.636D-02	0.000D+00	0.000D+00
100.0	1.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	1.000D-03	0.000D+00
100.0	0.000D+00	-1.822D+00	3.301D-04	2.181D-02	0.000D+00	0.000D+00
125.0	1.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00	1.000D-03	0.000D+00
125.0	0.000D+00	-2.277D+00	5.158D-04	2.726D-02	0.000D+00	0.000D+00

境界条件ファイル2(.bcv)

与えたい周波テーブルの数だけ繰り返す

入口境界条件

$$\alpha(x) = 1$$

$$\beta(x) = 0$$

$$f(x) = 1$$

出口境界条件

$$\alpha(x) = i\omega\rho$$

$$\beta(x) = -Z$$

$$f(x) = 0$$

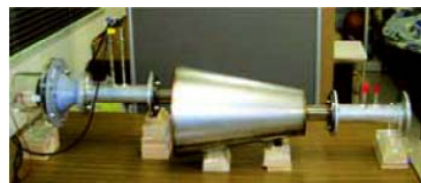
【参考】ダクトからの放射境界条件について

フランジあり円形ダクト

$$Z_r = \theta_r + i\chi_r = 1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} + i \frac{H_1(2ka)}{ka}$$

鈴木昭次、西村正治等；”機械音響工学,”コロナ社(2004)、4.2.3節

L.Rayleigh, “Theory of Sound,”Macmillan and Company(1940)



フランジなし円形ダクト

H.Levine, “On the Radiation of Sound from an Unflanged Circular Pipe ,”PHYSICAL REVIEW(1948)

※ これらの論文掲載の反射率 = Advance/FrontNoise で計算した反射率

制御データ(*.dat)

- 解析対象とする周波数、音速と密度、収束の最大反復回数等を指定する。
- 流体解析や構造解析と比較すると、音響解析における設定条件の数は、圧倒的に少ない。

Model Name	= case01	ケース名
Sound Velocity	= 3.449200D+02	音速[m/sec]
Density	= 1.196622D+00	密度[kg/m3]
Start Frequency	= 10	開始周波数[Hz]
Final Frequency	= 2000	終了周波数[Hz]
Frequency Step	= 10	周波数間隔[Hz]
Max iteration	= 10000	最大反復回数[-]

実行方法 (Linux環境)

```

% cd data
% cd case01
% ls
case01.bcs case01.bcv case01.dat case01.inp

[シングルプロセッサ実行]
% fnfem < case01.dat

[並列実行]
% mpirun -np 4 fnfem < case01.dat
  
```

※ 現在のリリースでは、Linux環境での実行のみが可能です。

標準出力ファイル

```

Advance/FrontNoise/FEM/MPI Ver4.3

April 30, 2014

< HOW TO USE >
% fnfem < modelname.dat
      (this file is named by user)

< INFORMATION >
- FEM grid file .....: muff01.inp
- boundary surface file .....: muff01.bcs
- boundary surface value file .....: muff01.bcv
- boundary node file .....: muff01.bcn
- boundary node value file .....: muff01.bcq

- header of result file ..: muff01
* analysis conditions *
- sound velocity[m/sec] ..: 3.000E+02
- density[kg/m3] .....: 1.000E+00
- freq[Hz] (start) .....: 1.000E+01
- freq[Hz] (terminate) ...: 1.000E+03
- freq[Hz] (interval) ....: 1.000E+01
- number of nodes .....: 15599
- number of elements .....: 80841
- number of processors ..: 1
- iterative method ....: GMRES2
- pre condition method ..: Schwarz
- # restart for gmres ...: 30
original maxtab 79 0
  
```

* start of frequency domain *

(1) frequency 10.00[Hz]

.....

```

* frequency[Hz]           = 10.00
* number of iter.         = 151
* rel.tol. (||Ax-b||/||Ax||) = 8.580E-09 ( 1.000E-08)
* abs.tol. (||Ax-b||)     = 2.570E-10 ( 1.000E+20)
  
```

(2) frequency 20.00[Hz]

***** ACCOUNTING TABLE OF THE CPU-TIME *****

PROCESS	TOTAL TIME
< 1> Total Time	: 7.25D+02 (100.0)
< 2> Input	: 2.44D-01 (3.4)
< 3> Time Loop (pre)	: 2.44D-01 (3.4)
< 4> Linear Solver (pre)	: 1.10D-03 (0.0)
< 5> Linear Solver	: 6.68D+00 (92.1)
< 6> Linear Solver (post)	: 2.47D-04 (0.0)
< 7> Time Loop (output)	: 8.07D-02 (1.1)
< 8> Post Process	: 1.05D-04 (0.0)

normally terminated

出力された解析結果

- 周波数毎に決められた命名規則の名称のファイルが出力されます。例えば、100周波数の解析を実施すれば、100ファイルが出力されます。
- それぞれの解析結果は、ツール群により可視化可能です。
- 解析結果群から、ツールにより解析結果を抽出可能です。例えば、出口付近節点の音圧レベルを全ファイルから抽出し、csvファイルに出力することが可能です。

```
% mpiexec -n 4 fnfem < case01.dat  
% ls  
case01-r000-00200.rsl case01-r001-00250.rsl  
case01-r002-00300.rsl case01-r003-00350.rsl  
case01-r004-00400.rsl case01-r005-00450.rsl  
.....
```

2. ツールの使い方

Advance/FrontNoiseの構成

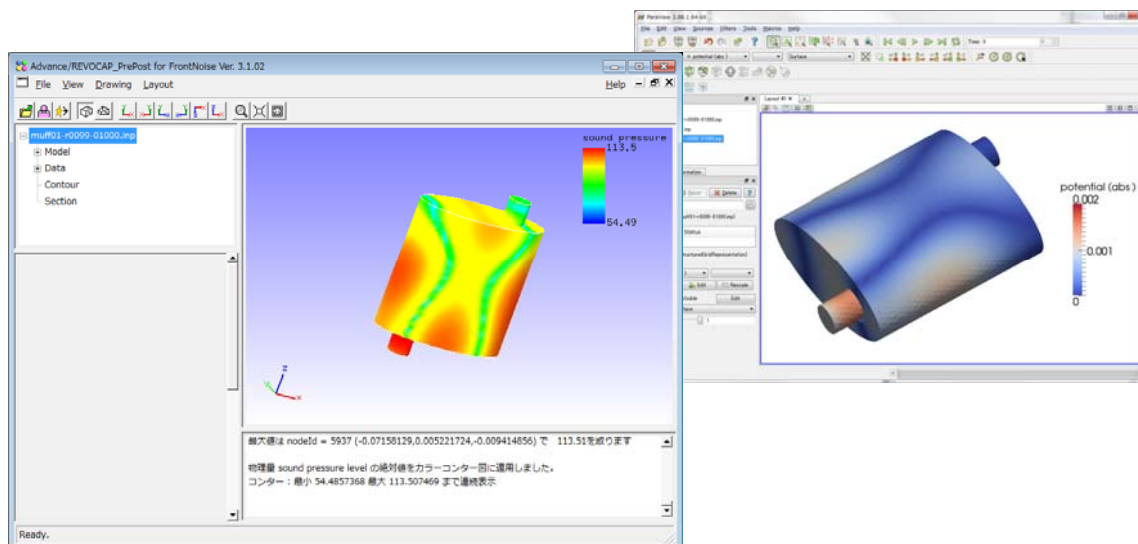
- ここまでで説明したソルバ(fnfem)と、本節で説明するツール群から構成されます。
- ソルバは、先に説明したファイルを読み込み、周波数毎に音響速度ポテンシャルを計算し、その結果を周波数毎にバイナリ形式でファイルに出力します。
- ツール群はつぎの2つから構成されます。
 - 入力ファイル作成のためのツール群
 - ポスト処理(可視化、結果の取り出し等)のためのツール群
- Advance/FrontNoiseのソルバとツール群を組み合わせ、各種の利用方法が可能です。ソルバは効率の高い計算に特化し、ツール群はお客様の使い勝手の向上のために整備する方針で開発を進めております。

利用可能なツール

分類	ツールの機能	ツール名
入力支援	ABAQUS形式のメッシュからAVS-UCD形式への変換	aba2inp
	境界条件フォーマット変換ツール	bcvconv
	メッシュ細分化ツール	refine
	節点検索ツール	nfind
	要素検索ツール	efind
出力支援	リスタートファイル作成ツール	rsl2res
	計算結果粗視化ツール	coarse
	計算結果ファイルをアスキーUCD形式へ変換するツール	rsl2inp
	結果抽出ツール	getnval
	バイナリ結果編集ツール	getnvalbin
	リスタート機能結果の比較ツール	difrs1

可視化ファイル作成(コマンド: rsl2inp)

- 計算結果ファイル(*.rsl)を可視化可能なAVS UCD形式に変換し、Advance/REVOCAPで可視化します。フリーソフトのParaViewでも可視化が可能なファイル形式です。



解析結果抽出ツール(コマンド: getnvalbin)

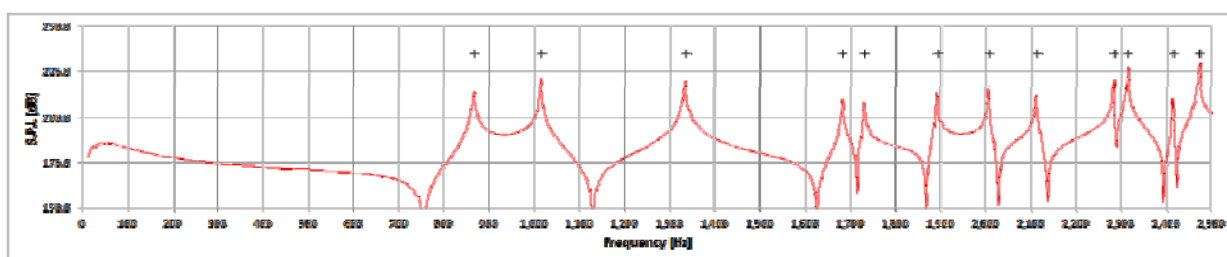
- 解析結果群から、ツールにより解析結果を抽出可能です。
- 例えば、出口付近節点の音圧レベルを全ファイルから抽出し、csvファイルに出力することが可能です。
- csvファイルはMS excel等で処理可能です。

```
% getnvalbin case01.lis 0.1 0.0 5.0 case01.inp
```

結果ファイル名一覧を記述したファイル

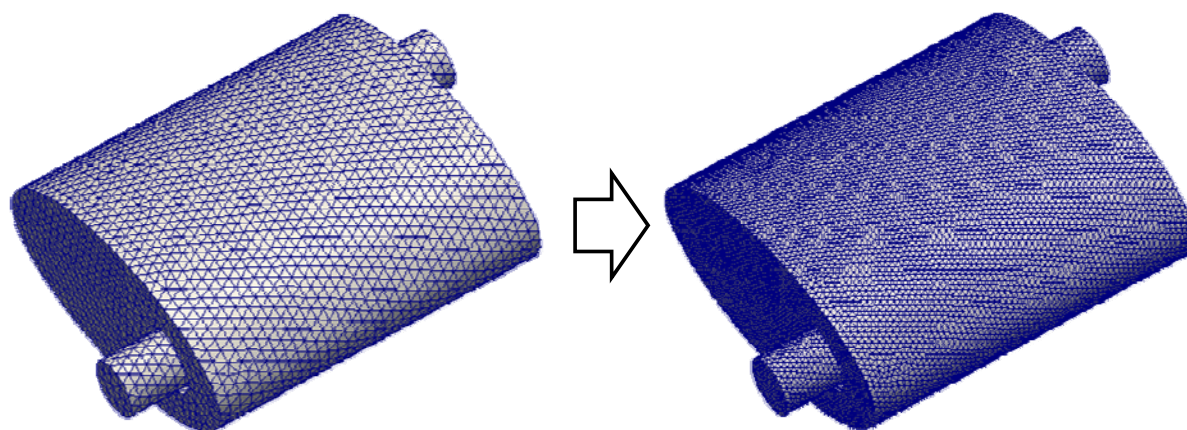
結果抽出場所

メッシュファイル



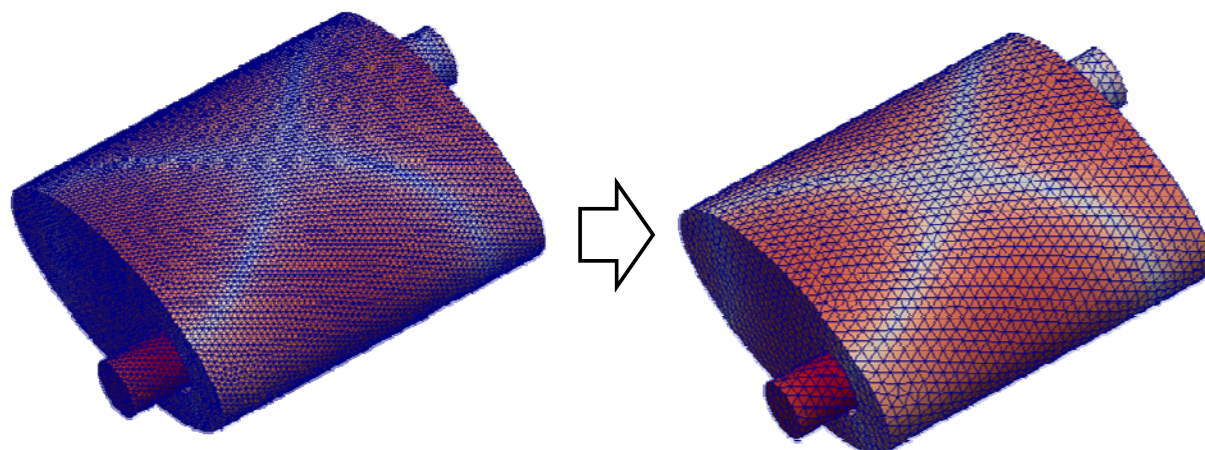
メッシュ細分化ツール(コマンド: refine)

- 境界条件を含めたメッシュ情報(*.inp、*.bcs)を細分化する。
- ひとつの四面体を8つの四面体にする。

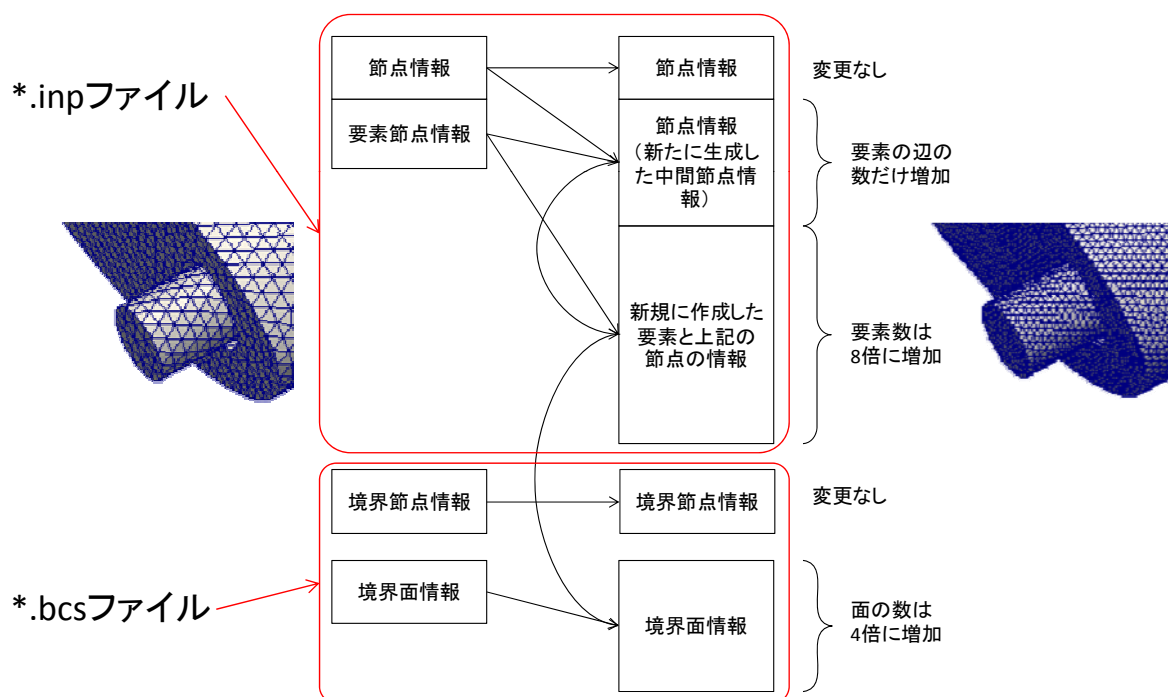


計算結果粗視化ツール(コマンド: coarse)

- メッシュ細分化のコマンドを実行した際の情報を利用して、計算結果の粗視化を行う。
- 大規模計算の計算結果確認等の際に有効。



【参考】細分化と粗視化の関係



Advance/FrontNoise使用方法のまとめ

- プリポストを利用する部分以外のAdvance/FrontNoise使用方法について説明しました。
 - 解析に必要なデータの作成方法
 - 解析機能の実行方法
- Advance/FrontNoise本体以外に、解析時に利用するいくつかの便利なツールの機能を説明しました。
 - 可視化ファイルを作成する機能
 - 結果ファイルから任意の点の解析結果を取り出す機能
 - メッシュ細分化機能、粗視化機能
- Advance/FrontNoiseの専用プリポストAdvance/REVOCAPについては、つぎの講演で説明します。