



# 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise 最新動向セミナー 2014年6月3日 (火曜日 13:30~)

## プログラム

13:30~13:35 (5分)	主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社のご紹介	営業本部長 内藤 秀晴
13:35~14:05 (30分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の概要	技術第2部 第9課 課長 大家 史
14:05~14:35 (30分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の新機能	代表取締役社長 松原 聖
14:35~15:05 (30分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の使用方法	技術第2部 第9課 課長 大家 史
15:05~15:20 (15分)	(休憩)	
15:20~15:55 (35分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の解析事例	代表取締役社長 松原 聖
15:55~16:15 (20分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise に対応した 汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP	技術第2部 副部長 徳永 健一
16:15~16:30 (15分)	価格および関連サービス紹介、質疑応答	営業部 営業第3課 小澤 淑子

memo

AdvanceSoft



消音器の解析



# アドバンスソフト株式会社のご紹介

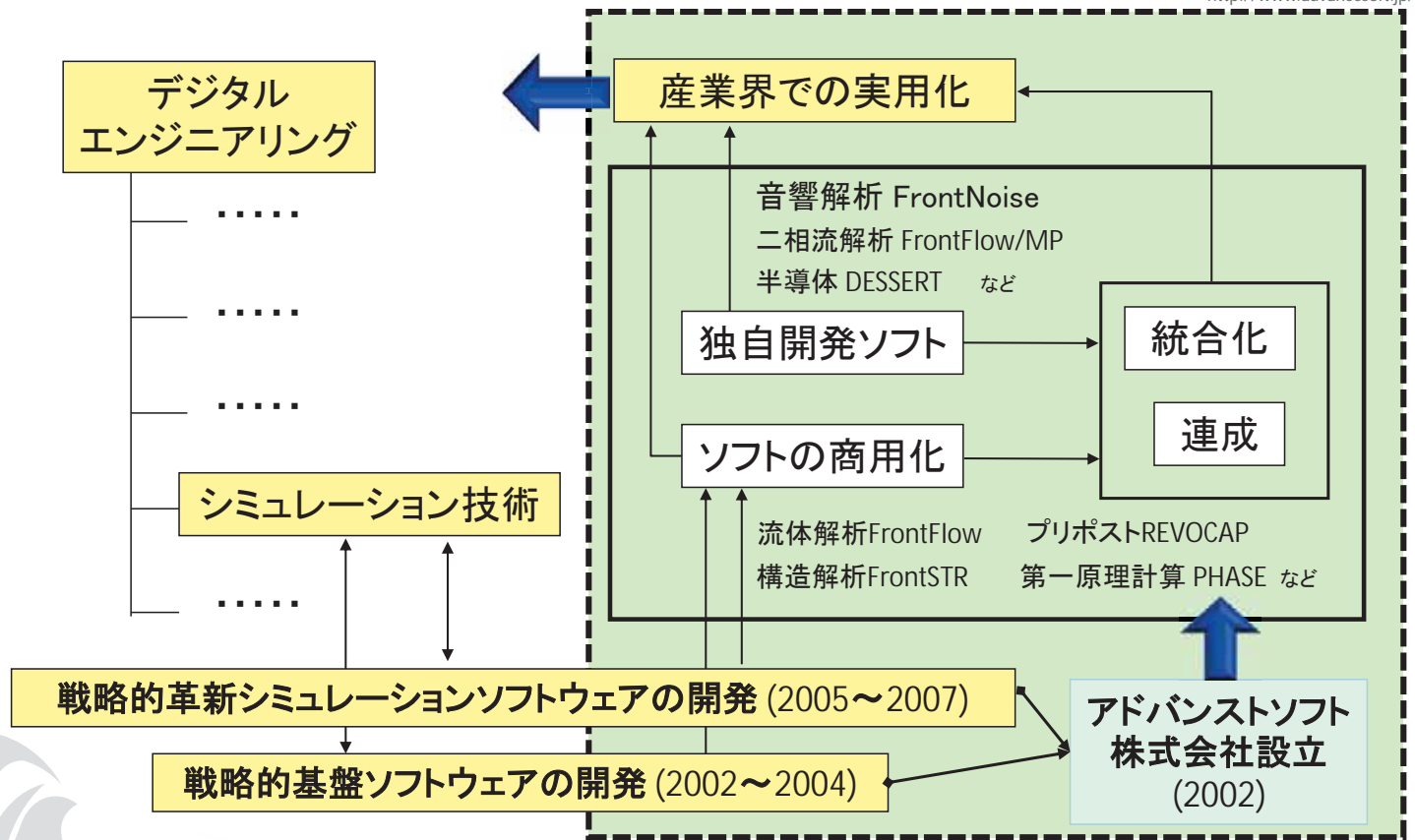
営業本部 内藤秀晴

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise 最新動向セミナー  
2014年6月3日（火）  
アドバンスソフト株式会社

## 会社概要

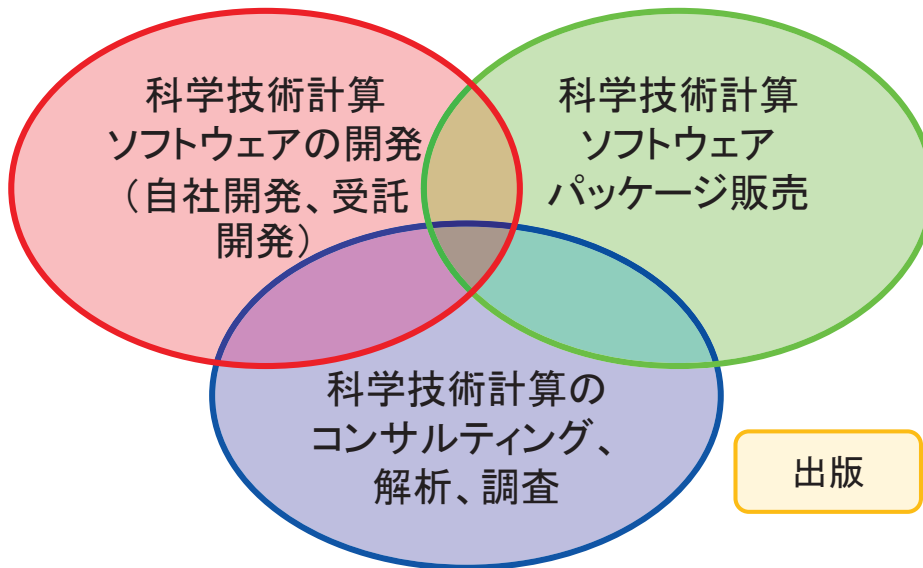
<b>名称</b> アドバンスソフト株式会社 (英文社名 AdvanceSoft Corporation)  <b>本社</b> 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台4-3 新お茶の水ビル17階 TEL: 03-6826-3970 FAX:03-5283-6580  <b>設立</b> 2002年(平成14年)4月24日  <b>資本金</b> 3,724万円  <b>社員数</b> 74名(2014年5月12日現在)	<b>事業部</b>	<b>部</b>	<b>業務概要</b>
	第一事業部	事業部付	防災シミュレーション・連成システム開発など
		技術第1部	ナノ材料の第一原理計算、量子化学計算やメソ領域、半導体・T-CAD等に係る解析・開発など
		技術第2部	<ul style="list-style-type: none"> <li>プリポスト、可視化システム、連成システム開発など</li> <li>J-PARCIに係わるプロジェクトの実施など</li> <li>構造解析エンジニアリングなど</li> <li>次世代TCADシステムの開発など</li> </ul>
第二事業部	事業部付	二相流解析および原子力安全解析など	
	技術第3部	<ul style="list-style-type: none"> <li>混相流に係わる次世代流体システム開発など</li> <li>乱流、燃焼、化学反応等に係わる次世代流体システム開発など</li> </ul>	
	技術第4部	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス、液体パイプライン、農業用パイプライン、液体ロケットエンジン等の管路系流体解析・開発</li> <li>火災・爆発に係わる防災リスク解析・開発など</li> </ul>	
	技術第5部	原子力・エネルギー利用に係る安全性解析など	
—	総合企画部	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンサルティングサービスの提供など</li> <li>解析サービスの提供など</li> </ul>	
営業本部	営業部	お客様窓口	

計算科学技術に関する  
専門家集団

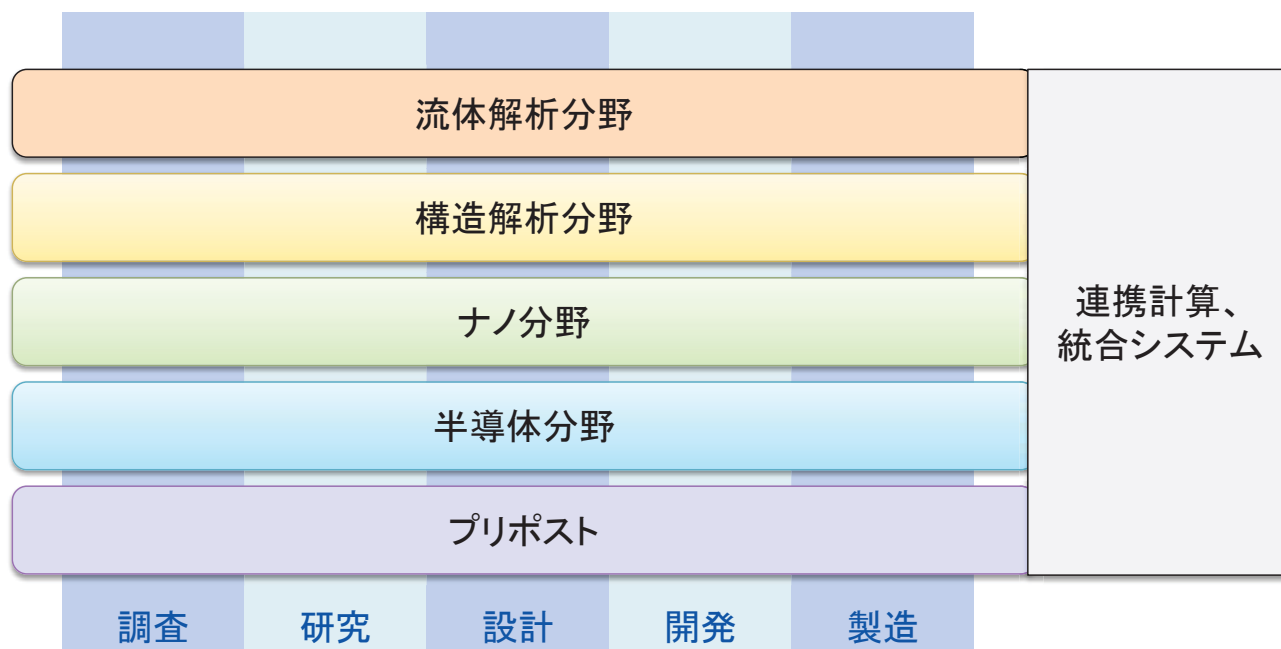


## 事業概要

### アドバンスソフトがご提供するサービス



科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、  
科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、  
科学技術計算によるソリューションをご提供します。

## アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

ソフトウェア名称	解析内容
Advance/FrontFlow/red	流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/MP	気液二相流解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/FOCUS	高速流・爆発解析ソフトウェア
Advance/FrontNet	管路系1次元流体解析ソフトウェア群
Advance/FrontSTR	構造解析ソフトウェア
Advance/FrontNoise	<b>音響解析ソフトウェア</b>
Advance/PHASE	第一原理計算ソフトウェア
Advance/DESSERT	半導体デバイスシミュレータ
Advance/REVOCAP	構造解析・流体解析プリポストプロセッサ

※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は弊社HP ([www.advancesoft.jp](http://www.advancesoft.jp/)) をご参照ください。

# facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>



# 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの概要

技術第2部 大家 史

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise 最新動向セミナー  
2014年6月3日（火）  
アドバンスソフト株式会社

## ご説明内容

- Advance/FrontNoiseの機能
- 開発の経緯
- 基礎方程式
- 境界条件
- 音源
- 数値解法
- まとめ

## 1. Advance/FrontNoiseの機能

## Advance/FrontNoiseで可能な音響解析

- 音の伝播する領域、解析対象とする周波数を定め、周波数領域での解析を行います。
- その領域に有限要素のメッシュを作成します。境界条件として、解析領域内の音源の周波数と強さを与えます。また、壁等には適切な境界条件を与えます。
- 指定された周波数に対して、解析領域内すべての点における音響速度ポテンシャル(音圧、粒子速度)を求めることができます。
- 解析の後処理として、空間の音圧レベルや対象機器の透過損失等を求めることができます。
- これらの処理を必要とする周波数の数だけ解析を行います。
- 一般的に音源が不明な場合(音源を与えることができない場合)には音響解析はできません。

## Advance/FrontNoiseで「できないこと」

- 【①出力は音響ポテンシャルのみ】

Advance/FrontNoiseで求めることができるのは、基本的に解析領域内での音響ポテンシャルです。
- 【②インピーダンスのDBがない】

境界条件として設定すべきインピーダンスのデータベースを持っていません。
- 【③ポスト処理ができない】

ユーザー様で実施される多様な後処理のニーズに対応していません。

## お客様のニーズにより開発を進めています

- 【出力機能】
  - ✓ 解析結果については、FrontNoiseで出力可能な音圧レベル (dB)で計算の第1評価を行われることがほとんどです。
  - ✓ Advance/REVOCAP for FrontNoise とともに、フリーの可視化ソフトParaViewを標準的に利用可能です。
- 【インピーダンス】
  - ✓ 周波数毎にインピーダンスを与える枠組みを持っています。
  - ✓ 例えば、実験結果からの合わせ込みや、完全反射と完全吸収の解析結果をもとに、文献等のインピーダンスを設定して利用していただいております。
- 【ポスト処理】
  - ✓ 透過損失等のいくつかの処理については、結果処理のツールとしてご提供しています。
  - ✓ 必要に応じて、また、ユーザー様のご要望に応じてカスタマイズおよびバージョンアップを行い、順次ツールを充実させております。

## Advance/FrontNoiseの特長

- 大規模高速計算のさらなる強化
  - テトラ4億要素(7500万節点、15000万自由度)の解析実績
  - 392GBメモリ48CPUの計算機環境で処理時間は12時間
  - 並列手法は、領域分割・周波数分割から最適な機能を利用可能
- 合理的な価格
  - プリポストとソルバ並列計算無制限版を合わせて、合理的な年間ライセンスでご提供
  - 必要に応じて、ソルバのみもご提供
- その他の特長
  - 温度場、流れ場を考慮した音響解析が可能
  - 周波数依存性のある境界条件、無反射境界を利用可能
  - 形状適合性の高いテトラ要素を採用

## ソフトウェアの機能

項目	内容
基礎方程式	(1) 基礎方程式は、音響ポテンシャルに関する波の方程式を周波数空間に変換した方程式 (2) 空間的に分布する場の流れおよび空間的に分布する音響伝播媒体を考慮可能
解析領域	内部領域、および、外部領域(外部領域での外部境界は $\rho c$ 境界で与える)
物性値等	速度 場の速度を指定可能(デフォルト;速度0)
	温度 場の温度(音の伝播媒体)を要素毎に指定することが可能(デフォルトは均一媒体)
境界条件	面での音源 面(壁境界)に対して、周波数毎に音圧または粒子速度を設定可能
	点音源 節点に対して、単極子、双極子、または、四重極子のパラメータを設定可能
	音響インピーダンス 面(壁境界)に対して、周波数毎に音響インピーダンスを設定可能
	外部境界 面(外部境界)に対して、 $\rho c$ 境界を設定可能(音響インピーダンスを与える機能の一部)
数値解法	離散化手法 有限要素法
	利用可能な要素 四面体一次要素
	並列計算 自動領域分割によりMPIで並列化
	行列解法 GMRES系列の反復法
	大規模計算実績 4億要素・8000万節点(四面体一次要素)
解析結果	周波数毎の音響ポテンシャル、音圧、音圧レベルを、バイナリ形式でファイル出力
プリポスト	Advance/REVOCAP for FrontNoise

# 専用プリポスト Advance/REVOCAP for FrontNoise

- Advance/FrontNoiseと一体化したプリポストを2013年7月にリリース。
- 音響解析ではほぼ均一なメッシュを作成することが多い。Advance/REVOCAPの自動メッシュの機能は、音響解析には非常に適合性が高い。
- 形状適合性の高い四面体ソルバ用のプリポストである。
- 境界条件設定作業が効率的になった。

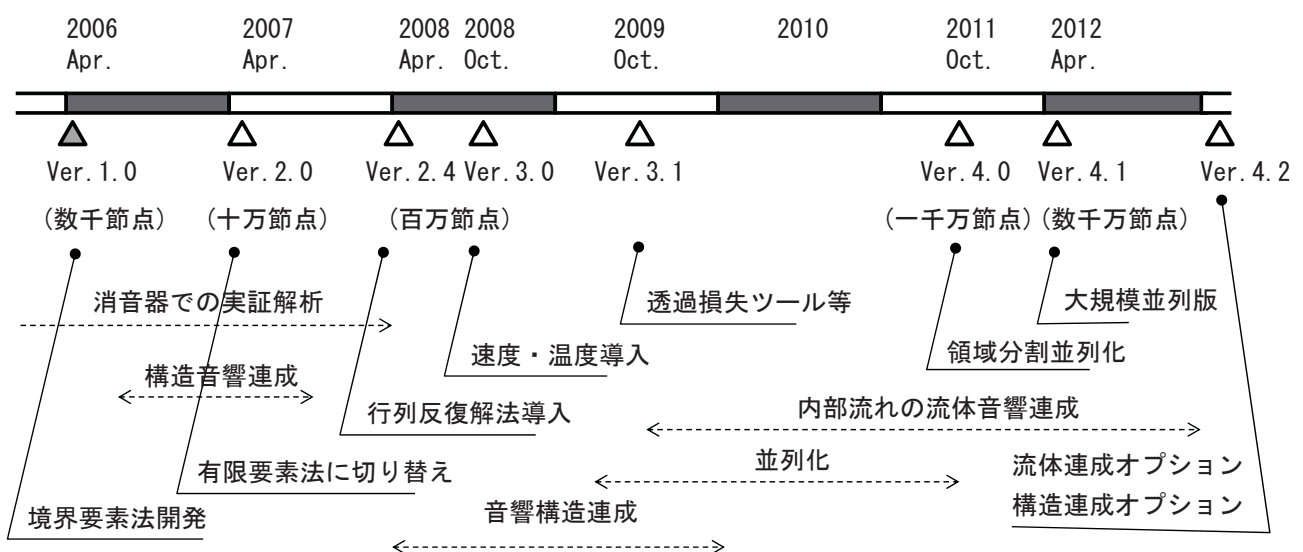
のちほど詳細な説明があります

## 技術雑誌: アドバンスシミュレーション

- [1] 桑原匠史, "Advance/FrontNoiseを用いた音響解析" Vol.2(2010.9)
- [2] 松原聖・桑原匠史, "Advance/FrontNoiseによる大規模解析" Vol.9(2011.10)
- [3] 松原聖, "Advance/FrontNoiseによる大規模解析—続報—" Vol.13(2012.10)
- [4] 松原聖・戸田則雄, "Advance/FrontNoiseによる構造音響および流体音響連成解析" Vol.14(2013.1)
- [5] 松原聖・桑原匠史, "音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの現状," Vol.15(2013.5)
- [6] 松原聖, "音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの解析手法," Vol.15(2013.5)
- [7] 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," Vol.15(2013.5)
- [8] 松原聖・桑原匠史, "音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの解析事例," Vol.15(2013.5)

## 2. 開発の経緯

## Advance/FrontNoiseの開発経緯



### ■ 技術雑誌: アドバンスシミュレーション

- [1] 桑原匠史, "Advance/FrontNoiseを用いた音響解析" Vol.2(2010.9)
- [2] 松原聖・桑原匠史, "Advance/FrontNoiseによる大規模解析" Vol.9(2011.10)
- [3] 松原聖, "Advance/FrontNoiseによる大規模解析—続報—" Vol.13(2012.10)
- [4] 松原聖・戸田則雄, "Advance/FrontNoiseによる構造音響および流体音響連成解析" Vol.14(2013.1)

# Advance/FrontNoise初期版の開発

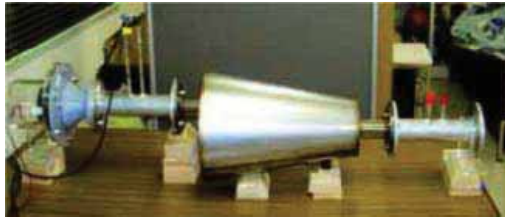
鳥取大学 工学部 機械工学科  
西村正治教授

## 消音器の解析

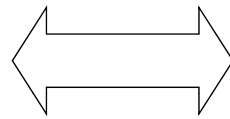
### ■ 物理モデル

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

### ■ 実験



http://www.mech.tottori-u.ac.jp/mcs/research/project/muffler.pdf



## アドバンスソフト

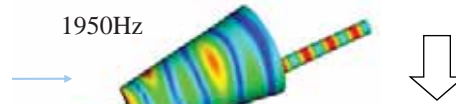
### ■ シミュレーションモデル

$$\frac{D_0}{Dt} \left( \frac{\rho_0}{a_0^2} \frac{D_0 \phi}{Dt} \right) - \nabla \cdot (\rho_0 \nabla \phi) = 0$$

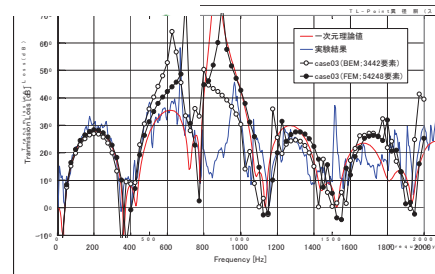
$$\frac{D_0}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_0 \cdot \nabla$$

### ■ モデル組み込み

### ■ シミュレーション実施



## シミュレーションの比較



## 実機への適用

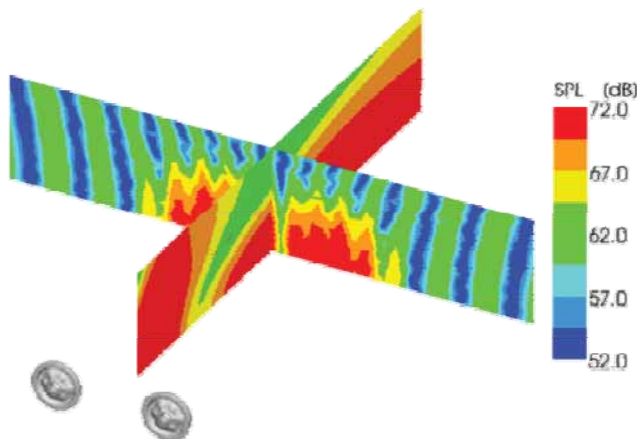
## 検討・評価

# Advance/FrontNoise Ver. 1.0 BEM版

## 車輪騒音の解析

### ■ シミュレーション実施

赤間誠他, “鉄道用低応力・低騒音軽量車輪の開発,” 日本機学会論文誌A, Vol.73, No.730, (2007.07)



### ■ 実験

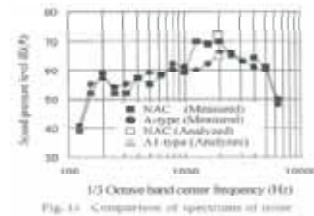
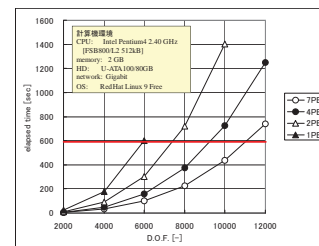
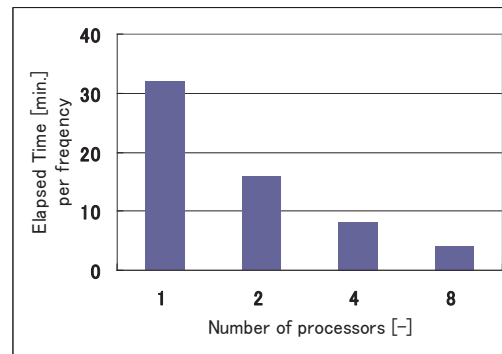
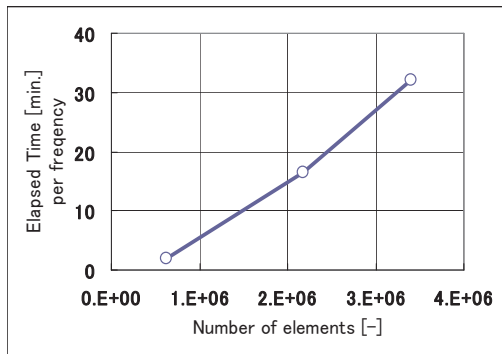
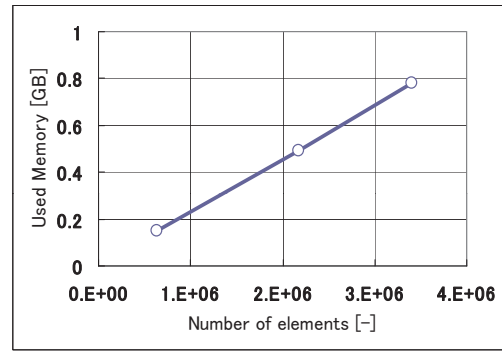


Fig. 14 Comparison of spectrums of noise



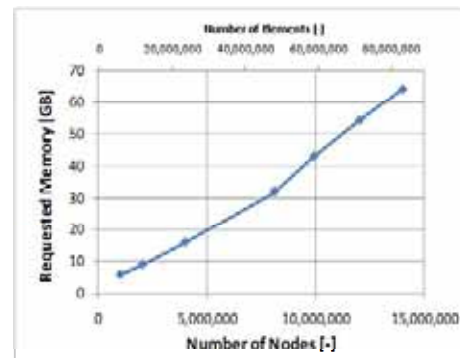
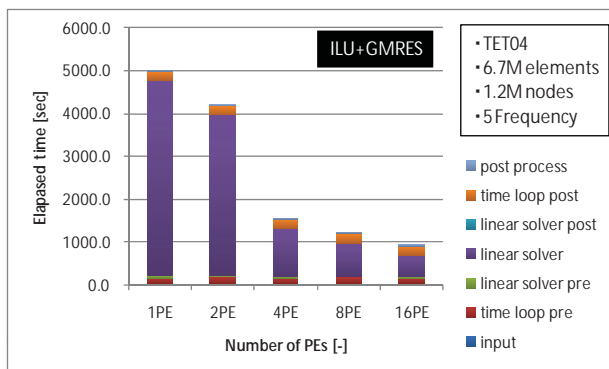
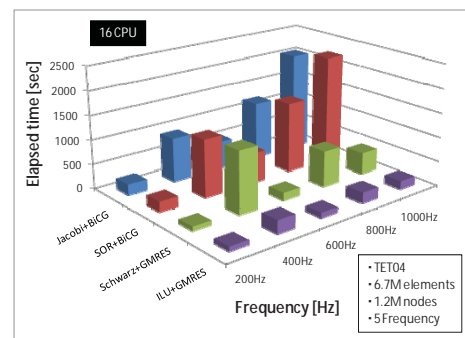
# Advance/FrontNoise Ver. 2.0 FEM版

- 四面体一次300万要素
- 1CPUで30分程度
- 周波数領域での並列化
  - メモリ大
  - 並列化効率高い



# Advance/FrontNoise Ver. 3.1 FEM版領域分割並列版

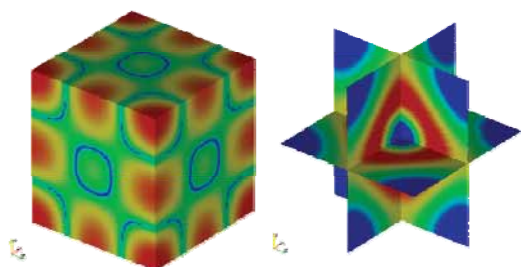
- 四面体一次
- 8000万要素、1500万節点
- 領域分割での並列化
  - メモリ節約し大規模解析可能
  - 並列化効率



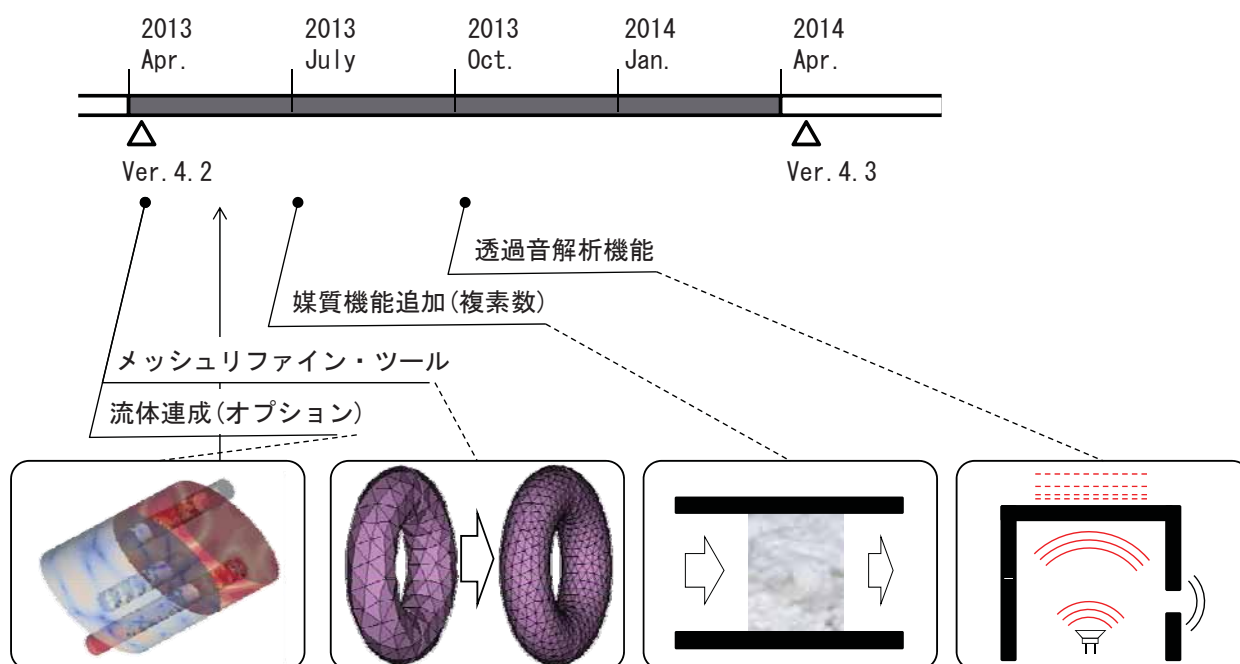
# Advance/FrontNoise Ver. 4.0 FEM 大規模解析対応並列版

- 四面体一次
- 4億要素、7000万節点
- 領域分割での並列化
- 48CPU,400GB
- 12時間/周波数

要素数	節点数	自由度
92,629,494	15,625,000	31,250,000
116,790,654	19,683,000	39,366,000
137,437,824	23,149,125	46,298,250
160,385,394	27,000,000	54,000,000
185,754,864	31,255,875	62,511,750
255,051,294	42,875,000	85,750,000
301,460,454	50,653,000	101,306,000
381,127,194	64,000,000	128,000,000
425,747,664	71,473,375	142,946,750



## 2013年度のバージョンアップ内容



- 2013年5月発行アドバンスシミュレーションVol.15は音響解析特集です。  
・Advance/FrontNoiseの現状とロードマップ、解析事例、連成解析等

### 3. 基礎方程式



### 基礎方程式(実領域)

実領域(実空間)での基礎方程式

$$\nabla^2 \Psi(x,t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 V(x,t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 P(x,t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial t^2}$$

音響速度ポテンシャル  $\Psi(x,t)$

粒子速度  $V(x,t) = \text{grad}(\Psi(x,t))$

音圧  $P(x,t) = -\rho \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t}$

音圧レベル  $SPL = 10 \cdot \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2$       $P_0 = 2 \times 10^{-5} [Pa]$



## 基礎方程式(周波数領域へ変換)

$$\nabla^2 \Psi(x, t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi(x, t)}{\partial t^2}$$

定常的な波を仮定する。右式を代入する。  
 $\Psi(x, t) = \sum_{\nu=1, \infty} \varphi_{\nu}(x) e^{-i\omega t} \quad \omega = 2\pi\nu$

$$\begin{aligned} \sum_{\nu=1, \infty} \nabla^2 \varphi_{\nu}(x) e^{-i\omega t} &= \frac{1}{c^2} \sum_{\nu=1, \infty} \varphi_{\nu}(x) \frac{\partial^2}{\partial t^2} e^{-i\omega t} \\ &= - \sum_{\nu=1, \infty} \frac{\omega^2}{c^2} \varphi_{\nu}(x) e^{-i\omega t} \end{aligned}$$

↓ 各周波数を比較して

$$\nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) = 0 \quad k = \frac{2\pi\nu}{c} \quad \text{※ } \varphi \text{ の添え字の } \nu \text{ を省略した}$$

## Advance/FrontNoiseでの基礎方程式

### 周波数領域での基礎方程式

$$\begin{aligned} \nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) &= 0 \quad \text{in } \Omega \\ k &= \frac{2\pi\nu}{c} \end{aligned}$$

### 周波数領域での境界条件

$$\alpha(x) \varphi(x) + \beta(x) \frac{\partial \varphi(x)}{\partial n} = f(x) \quad \text{on } \partial\Omega$$

## 基礎方程式(速度あり)

$$\frac{D_0}{Dt} \left( \frac{\rho_0}{c_0^2} \frac{D_0 \Psi}{Dt} \right) - \nabla \cdot (\rho_0 \nabla \Psi) = 0$$

Convected Wave Equation

$$\frac{D_0}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_0 \cdot \nabla$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{\nu=1, \infty} \phi(x) e^{-i\alpha t}$$

$$\begin{aligned} & (1 - M_x^2) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + (1 - M_y^2) \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + (1 - M_z^2) \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} & M_x &= \frac{u}{c} \\ & - \left( 2M_x M_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + 2M_y M_z \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial z} + 2M_z M_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial z \partial x} \right) & M_y &= \frac{v}{c} \\ & - 2ik \left( M_x \frac{\partial \phi}{\partial x} + M_y \frac{\partial \phi}{\partial y} + M_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + k^2 \phi = 0 & M_z &= \frac{w}{c} \end{aligned}$$

## 粒子速度と音圧(速度あり)

$$P(x, t) = -\rho \frac{D_0 \Psi(x, t)}{Dt}$$

$$\frac{D_0}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_0 \cdot \nabla$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{\nu=1, \infty} \phi(x) e^{-i\alpha t}$$

$$\begin{aligned} P(x, t) &= \sum_{\nu=1, \infty} p(x) e^{-i\alpha t} = \rho \frac{D_0}{Dt} \left( \sum_{\nu=1, \infty} \phi(x) e^{-i\alpha t} \right) \\ &= \rho \sum_{\nu=1, \infty} (-i\omega \phi + v_0 \cdot \nabla \phi) e^{-i\alpha t} \end{aligned}$$

$$p(x) = -\rho (-i\omega \phi(x) + v_0 \cdot \nabla \phi(x))$$

$$V(x, t) = \text{grad}(\Psi(x, t))$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{\nu=1, \infty} \phi(x) e^{-i\alpha t}$$

$$v(x) = \text{grad}(\phi(x))$$

## 基礎方程式(まとめ)

### 周波数領域での基礎方程式

$$\nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) = 0 \quad \text{in } \Omega$$

$$k = \frac{2\pi\nu}{c}$$

※ 速度ありの場合はつぎの修正項を加えることになる。

$$\begin{aligned} & (1-M_x^2) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + (1-M_y^2) \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + (1-M_z^2) \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \\ & - \left( 2M_x M_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + 2M_y M_z \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial z} + 2M_z M_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial z \partial x} \right) \\ & - 2ik \left( M_x \frac{\partial \phi}{\partial x} + M_y \frac{\partial \phi}{\partial y} + M_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + k^2 \phi = 0 \end{aligned}$$

## 4. 境界条件

## 境界条件

周波数領域での境界条件(数学的には混合境界条件を与える)

$$\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n} = f(x) \quad \text{on } \partial\Omega$$

下記の境界条件はどのように与えるか？

- ✓ 時系列圧力による境界条件(主に流体音響連成)
- ✓ 壁の時系列速度による境界条件(主に構造音響連成)
- ✓ 壁の時系列変位または加速度による境界条件(同上)
- ✓ 壁のインピーダンス条件
- ✓ 完全反射の境界条件
- ✓ 完全吸収(無反射)の境界条件



## 境界条件の取り扱い

境界条件	$\alpha(x)$	$\beta(x)$	$f(x)$	備考
時系列圧力	$i\omega\rho$	0	$-p_i(x)$	流体音響連成
時系列速度	0	1	$v_i(x)$	構造音響連成
時系列 変位・加速度	0	1	$-i\omega u_i(x)$ 、 $-\frac{1}{i\omega}a_i(x)$	構造音響連成
インピーダンス	$i\omega\rho$	$-Z$	0	壁面の境界
完全反射	0	1	0	デフォルト
完全吸収	$i\omega\rho$	$\rho c$	0	$\rho c$ 境界



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

## 音圧の境界条件

周波数毎に圧力を与える。または、時系列圧力をFourier変換して、その係数を与える。

$$P_0(x,t) = \sum_{\nu=1,\infty} p_i(x) e^{-i\alpha t}$$

音圧の定義より。

$$P_0(x,t) = -\rho \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\sum_{\nu=1,\infty} i\omega \rho \phi(x) e^{-i\alpha t}$$

両辺を比較する。

$$i\omega \rho \phi(x) = -p_i(x)$$

混合境界条件に形式的に書き換えるとなつぎの通り。

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

$$\alpha(x) = i\omega \rho \quad \beta(x) = 0 \quad f(x) = -p_i(x)$$

## 粒子速度の境界条件

周波数毎に境界法線方向の速度を与える。または、境界法線方向の時系列速度をFourier変換して、その係数を与える。

$$V_0(x,t) = \sum_{\nu=1,\infty} v_i(x) e^{-i\alpha t}$$

音圧の定義より。

$$V(x,t) = \text{grad}(\Psi(x,t)) = \sum_{\nu=1,\infty} \text{grad}(\phi(x)) e^{-i\alpha t}$$

境界の法線方向で両辺を比較する。

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

混合境界条件に形式的に書き換えるとなつぎの通り。

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

$$\alpha(x) = 0 \quad \beta(x) = 1 \quad f(x) = v_i(x)$$

## 変位または加速度の境界条件

周波数毎に境界法線方向の変位または加速度を与える。または、境界法線方向の時系列変位 $U_0$ または加速度 $A_0$ をFourier変換して、その係数を与える。

$$U_0(x,t) = \sum_{v=1,\infty} u_i(x) e^{-i\omega t}$$

$$V_0(x,t) = \frac{\partial U_0(x,t)}{\partial t} = \sum_{v=1,\infty} (-i\omega u_i(x)) e^{-i\omega t}$$

$$v_i(x) = -i\omega u_i(x) \longrightarrow \text{速度の境界条件に入れる。}$$

加速度も同様に下記の通り。

$$A_0(x,t) = \sum_{v=1,\infty} a_i(x) e^{-i\omega t} \quad v_i(x) = -\frac{1}{i\omega} a_i(x)$$

## インピーダンスで与える境界条件

インピーダンスは、つぎの定義である。

$$Z = \frac{p}{v} = \frac{i\omega\rho\phi(x)}{\frac{\partial\phi(x)}{\partial n}}$$

両辺を比較する。

$$Z \frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = i\omega\rho\phi(x)$$

混合境界条件に形式的に書き換えるとつぎの通り。

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

$$\alpha(x) = i\omega\rho \quad \beta(x) = -Z \quad f(x) = 0$$

## 完全反射の境界条件

インピーダンスが $\infty$ のケースである。

$$Z = \infty$$

インピーダンス境界の条件を $-Z$ で割ると下記の通り。

$$\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n} = f(x) \quad \text{on } \partial\Omega$$

$$\alpha(x) = 0 \quad \beta(x) = 1 \quad f(x) = 0$$

すなわち、下記の条件となる。これは、有限要素法で何も設定しない境界に対する境界条件となる。そのような背景から、本プログラムでは、この条件がデフォルトとなる(何も指定しなければ、剛体の境界条件となる)。

$$\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n} = 0 \quad \text{on } \partial\Omega$$

## 完全吸収(無反射)の境界条件

$\rho c$ 境界(1次元で完全吸収となる条件)を与える。  
3次元では完全吸収条件の近似とすることができる。

$$Z = \rho c$$

※  $\rho c$ 境界の根拠は下記の通り

$$\nabla^2\varphi(x) + k^2\varphi(x) = 0 \quad \text{基礎方程式}$$

$$\varphi(x) = \cos(kx) + i\sin(kx) \quad \text{1次元の解析解}$$

$$Z = \frac{i\omega\rho\varphi(x)}{\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n}} = \frac{i\omega\rho(\cos(kx) + i\sin(kx))}{(-k\sin(kx) + ik\cos(kx))} = \frac{i\omega\rho(\cos(kx) + i\sin(kx))}{ik(i\sin(kx) + \cos(kx))} = \frac{i\omega\rho}{i\left(\frac{\omega}{c}\right)} = \rho c$$

1次元の解析解は任意の点でこの式を満たす。

## 5. 音源



## 音源の取扱い

音源	単独の音源	分布する音源
点音源	基礎方程式の右辺のソース項として与える。	同左
	音源条件として*.bcnファイル、*.bcqファイルとして与える。	同左
二重極音源	1点を指定することで、二重極音源の計算条件を設定する。	壁の境界条件として、取り扱う。圧力または粒子速度の境界条件として入力する。
	入力ファイルを変換するツールpsgenを提供する。	境界条件として*.bcsファイル、*.bcvファイルを与える。
四重極音源	1点を指定することで、四重極音源を計算条件を設定する。	空間に分布する音源として取り扱う。Lighthillテンソルの2階微分の音源を点音源として設定する。
	入力ファイルを変換するツールpsgenを提供する。	流速からLighthillテンソルの2階微分に変換し、*.bcnファイルと*.bcqファイルを作成するツールを提供。



# 点音源の取扱い

$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = 0$$



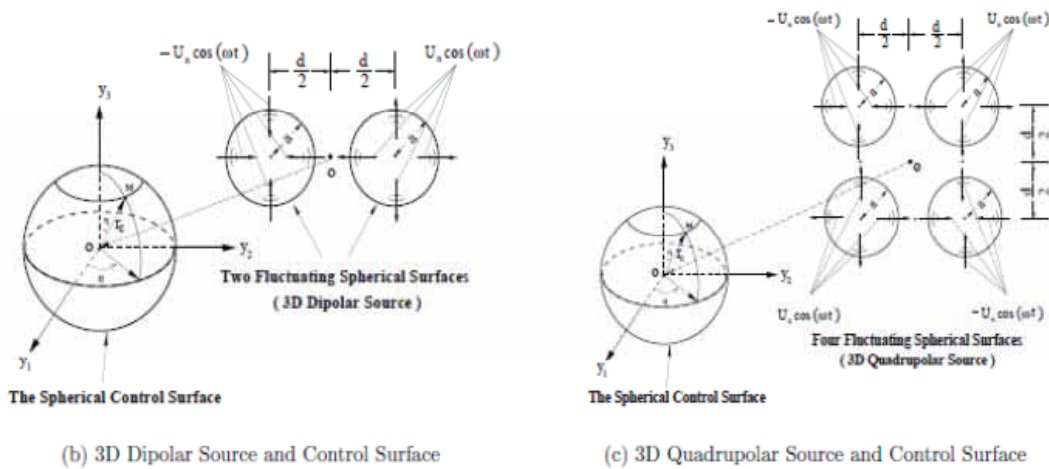
$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x - x_0)$$

$q_0$  は体積速度であり、単位は  $m^3 / \text{sec}$

$$\int_{\Omega_{|x-x_0|<\varepsilon}} \{ \nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) \} dv = q_0$$



# (単独の) 二重極音源と四重極音源



K.Tang; "Numerical Simulation of Flow-Induced Noise by Means of the Hybrid Method with LES and Aeroacoustics Analogy," D論, Fachbereich Maschinentechnik der Universität Siegen(2004)より抜粋

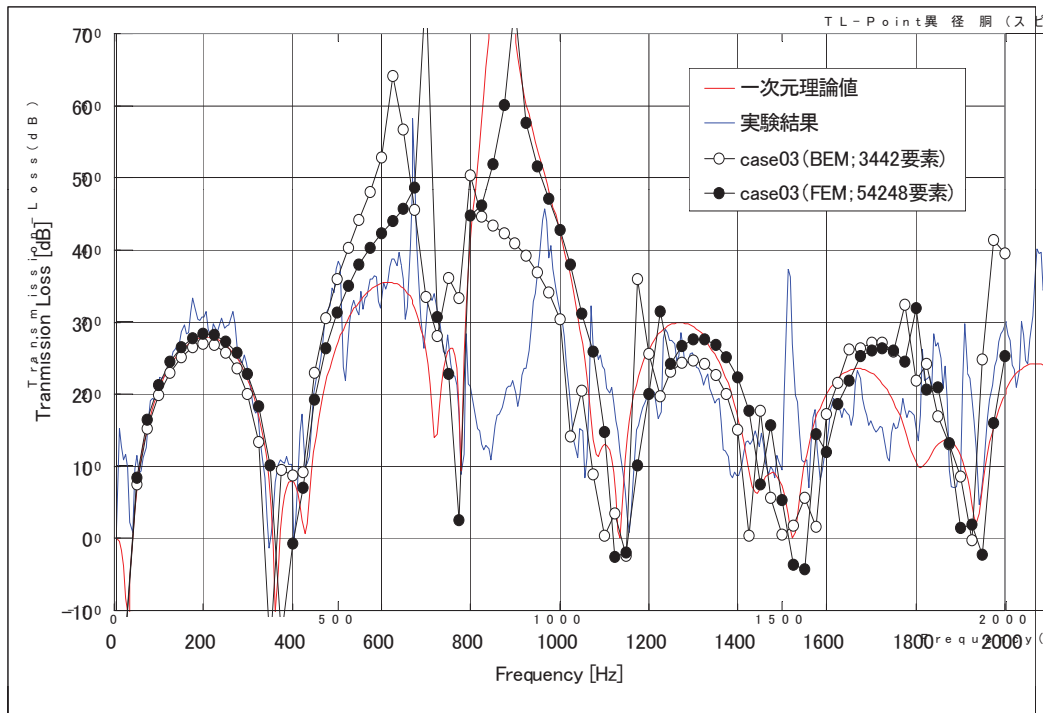


## 6. 数値解法

### 有限要素法を採用した経緯

- Advance/FrontNoise Ver1.0は、境界要素法BEMによる定式化を利用して開発された。また、当初から大規模を目指して並列処理のプログラムとして開発した。
- ところが、BEMの処理時間では、境界節点1万点でほぼ限界となり、また、処理時間は節点数の3乗に比例するため、将来的な発展を見込むことができなくなった。
- 有限要素法FEMの定式化で開発を行い、精度と処理時間の比較等を行った。その結果、精度は同等で、処理時間が圧倒的に早い有限要素法をVer2.0から採用することとした。

# 有限要素法と境界要素法の比較



# 有限要素法と境界要素法

比較項目	有限要素法	境界要素法
処理速度	○	△
使用記憶容量	○	△
放射問題対応	△	◎
非均一媒体	○	×
定式化	容易	難解
境界条件モデル化	容易	難解



## 有限要素法の定式化

- 四面体要素のみを利用する。
  - 形状適合性が高い。
  - 容易にメッシュを作成することが可能である。
  - 問題規模は(要素数ではなく)節点数に依存するため、四面体が不利になることはない(四面体を利用したからといって、問題規模が大きくなることはない)
- 四面体1次要素を利用する。
  - ポテンシャルを解くのみなので、四面体2次要素を利用するメリットがない。
- 定式化にはGalerkin法を利用する。
- 境界条件は混合境界条件のみ。

## 数値解法

- 方程式の解法
  - 有限要素法を適用して離散化する。
  - 離散化した基礎方程式は、複素係数の大規模連立一次方程式となる。複素数の変数の数は、節点数と等しい。
  - その連立方程式には、大規模解析にも実績のある疎行列用反復解法を適用する。
  - ひとつの周波数に対して、1回の線型方程式を解く。
- 並列化の方式
  - 疎行列用反復解法の処理を中心に並列化した。
  - 大規模問題に適用できるデータ構造とした。
  - 並列化で利用する領域分割は、ユーザが意識する必要はない。

## 7. まとめ



## Advance/FrontNoise概要のまとめ

- Advance/FrontNoiseの機能について説明しました。
- Advance/FrontNoiseの開発経緯とその実績を示しました。
- Advance/FrontNoiseは、音響解析の基礎方程式を解くために、有限要素法により定式化しています。その理論について
  - 音響の基礎方程式を示しました。
  - 境界条件を示しました。
  - 音源項を示しました。
- Advance/FrontNoiseで採用している数値解法の概略を示し、その特徴について説明しました。





# 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの新機能

代表取締役社長 松原 聖

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise 最新動向セミナー  
2014年6月3日（火）  
アドバンスソフト株式会社

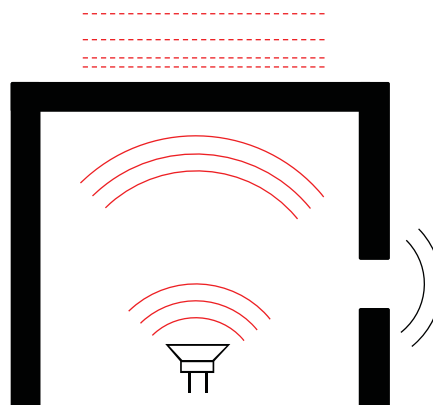
## 2014年4月30日にVer. 4.3 リリース

- Ver.4.3の新機能
  - 固有値を利用した構造音響連成機能
  - 多孔質媒体の解析機能
  - ソルバーの一部改良としてマルチグリッド前処理機能
  - リスタート時の不具合等のバグフィックス
  - チュートリアル作成等のマニュアルの整備
- 外部計算機リソースでの利用環境整備
  - 富士通TCクラウドFUJITSU Technical Computing Solution TCクラウド:PaaS型アプリケーション(音響解析)
  - 公益財団法人計算科学振興財団様における高度計算科学研究支援センター FOCUSスパコンシステム:音響解析分野動作検証済みアプリケーション
- 時間領域ソルバAdvance/FrontNoise/TD Ver1.0
  - シングルプロセッサ用のリリース

すべての新機能はユーザー様とともに開発してまいりました。開発をご指導およびご協力いただきましたすべてのユーザー様に、この場を借りて感謝申し上げます。

## 外部計算機での利用環境

- 富士通株式会社様
  - 富士通TCクラウドFUJITSU Technical Computing Solution TCクラウド
  - PaaS型アプリケーション(音響解析)
  - <http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jhpc/tcloud/tcloud-proposal-201310.pdf>
- 公益財団法人計算科学振興財団様
  - 高度計算科学研究支援センター FOCUSスパコンシステム
  - 音響解析分野動作検証済みアプリケーション
  - <http://www.j-focus.or.jp/focus/>

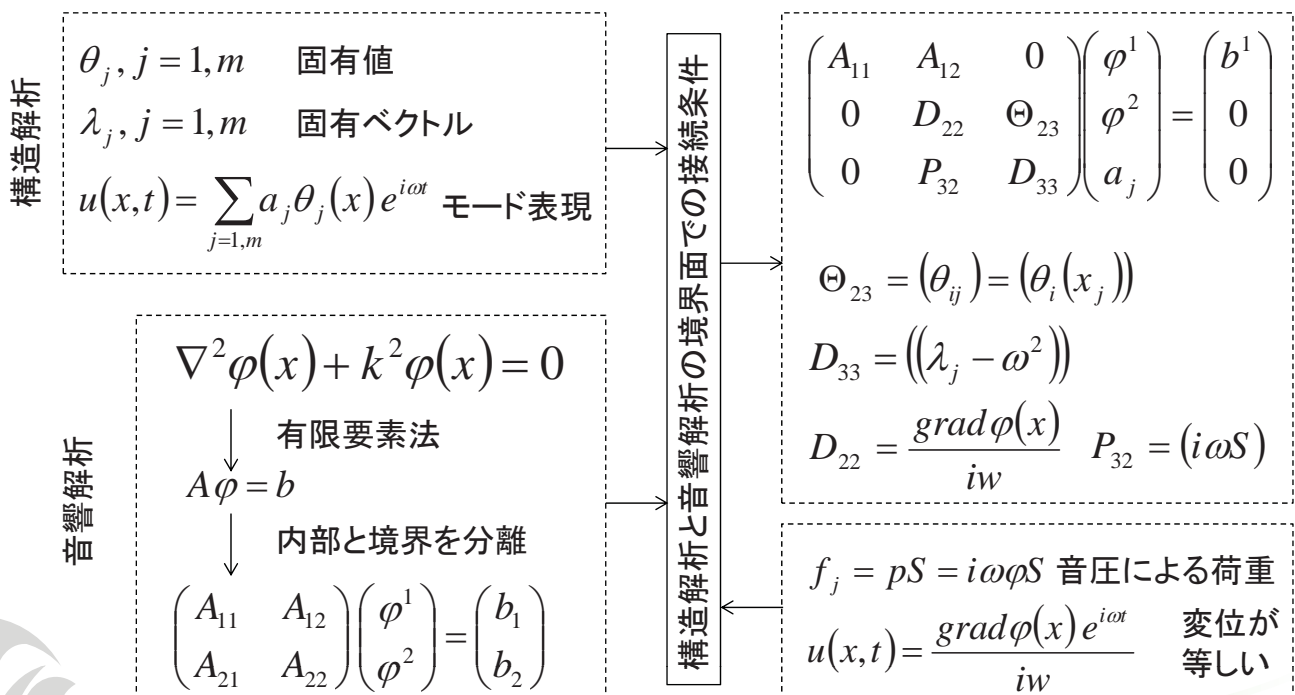


## 【新機能紹介】 固有値を利用した構造音響連成機能

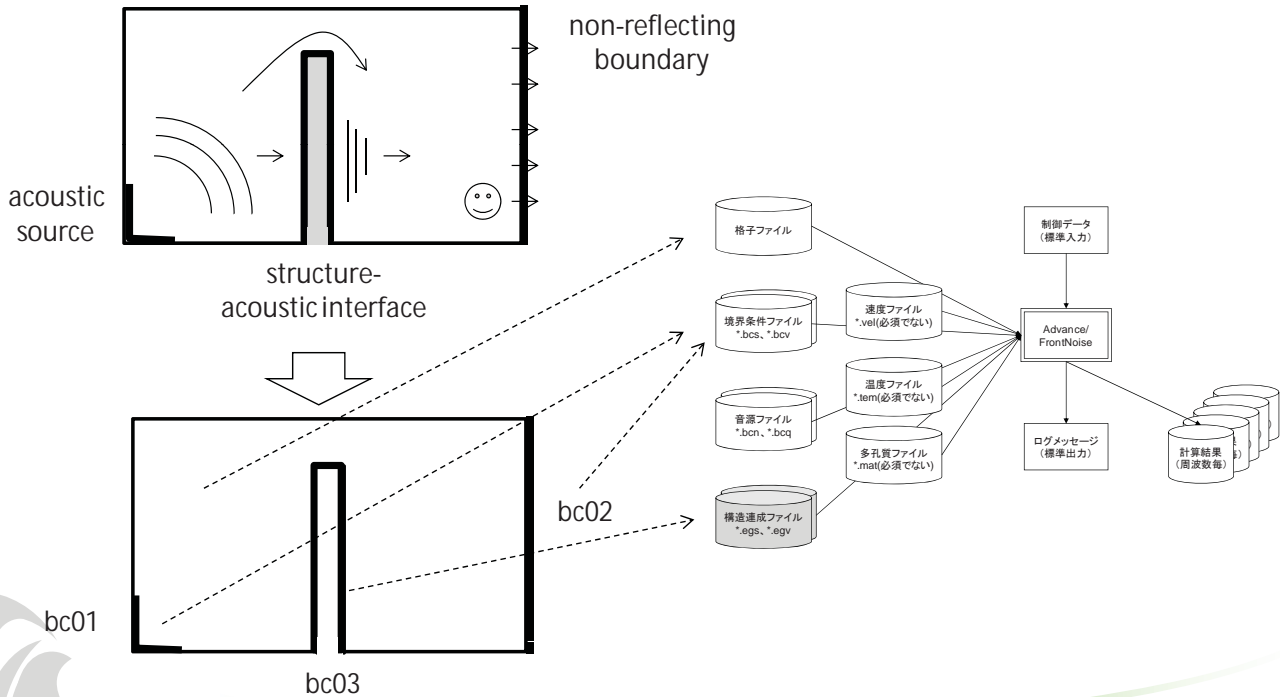
# 固有値を利用した構造音響連成機能

- 実際の音の伝播は複雑であるため、表面や構造物中の構造物の取り扱い等について、音響伝播経路のいろいろなモデル化を考えていかなければならない。
- 従来のAdvance/FrontNoiseでは、音の伝播する媒体中のみの音の伝播を解析する機能のみを有していた。
- そのひとつとして、構造物を通して伝播する音を解析する機能を「固有値を利用した構造音響連成機能」として実現した。
  - 本方式の長所: 固有値を通して構造解析に関するすべての情報を取得できるため、利用する構造解析ソフトウェアに備えた機能を音響解析でそのまま利用可能である。音響解析に構造解析の機能が不要である。
  - 本方式の短所: 構造解析ツールの習得をしなければならない。音響解析ツールで閉じていないと使いにくい。
- 構造物の透過音解析の機能を組み込んだことにより、より複雑な解析を実施するための基本的なツールは準備できた。

# 固有値を利用した構造音響連成機能で採用した数値解法

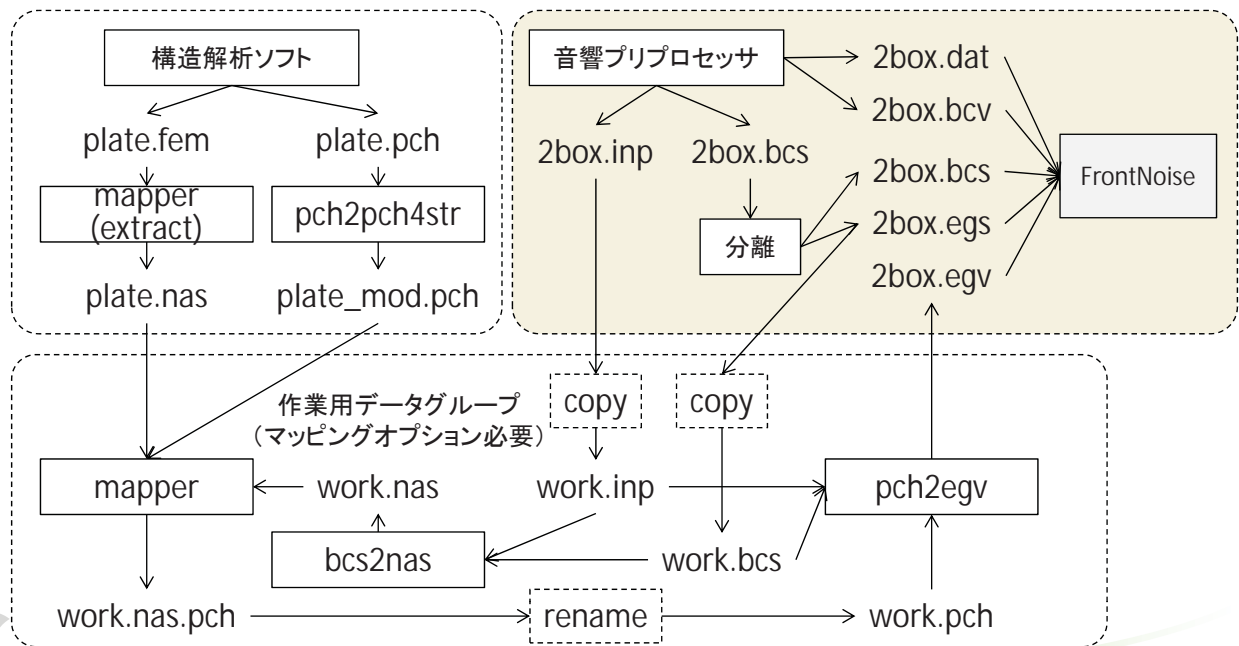


# 固有値を利用した構造音響連成機能の利用方法



# Advance/FrontNoiseの固有値を利用した構造音響連成機能の処理手順

構造解析用データグループ (マッピングオプション必要)      音響解析用データグループ (標準機能)


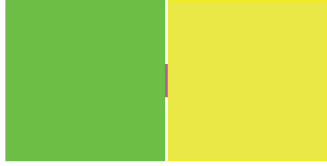
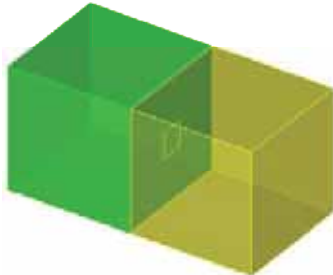
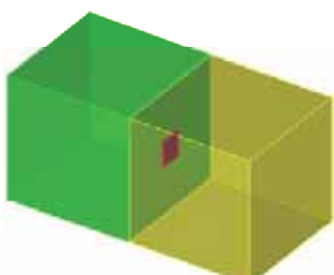


# 構造音響連成機能の例題

- 左の箱と右の箱は壁で遮断されており、音の伝播媒体は左と右でつながっていない。
- 両方の箱の間の小さな窓に振動を伝播する板が設置されており、この板を通して、音が伝播する。
- その音の周波数が小さな窓の固有値に近ければよく音を透過するが、固有値とはなれた音の周波数では音は透過しないことが予想できる。
- 小さな窓の固有値は、200Hz、400Hz、および、600Hzの3つの固有振動数をもつ構造物としてのデータを与えた。
- 参考計算として小さな窓で左右がつながったケースを解析し、本ケースの計算結果と比較した。

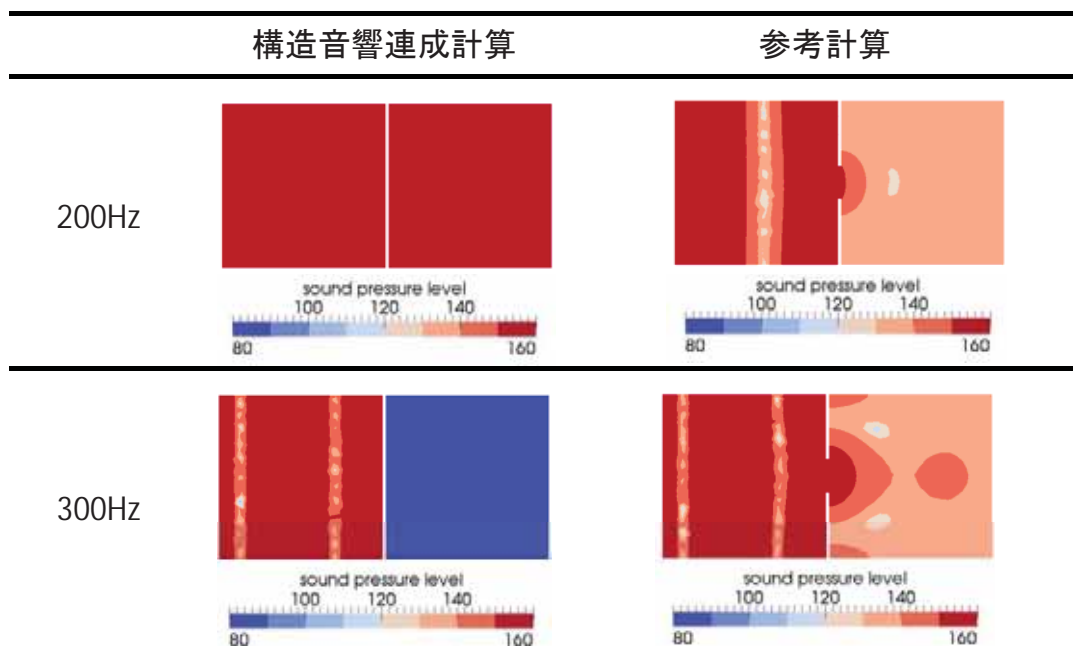


## 解析例題と参考計算(解析形状)

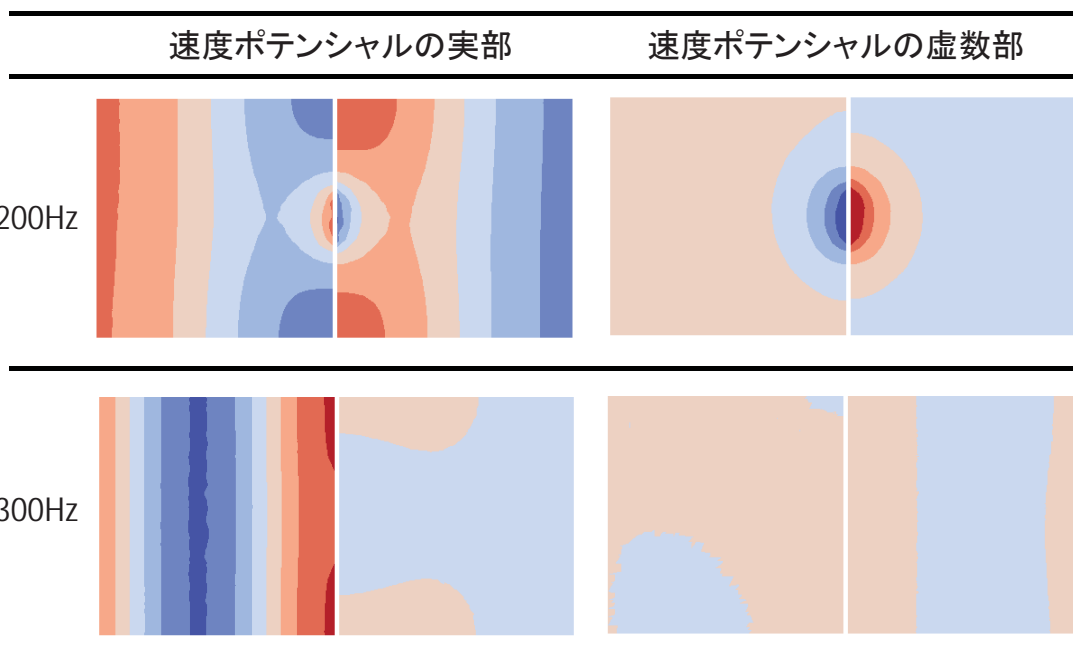
	構造音響連成計算	参考計算
正面図		
鳥瞰図		



# 解析例題と参考計算の結果比較 (解析結果;音圧レベル)

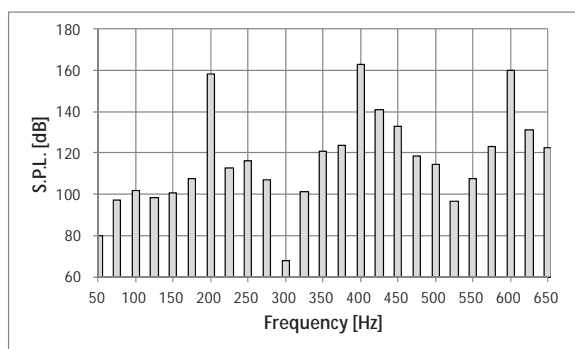


# 本機能の解析例題の結果 (解析結果;速度ポテンシャル)

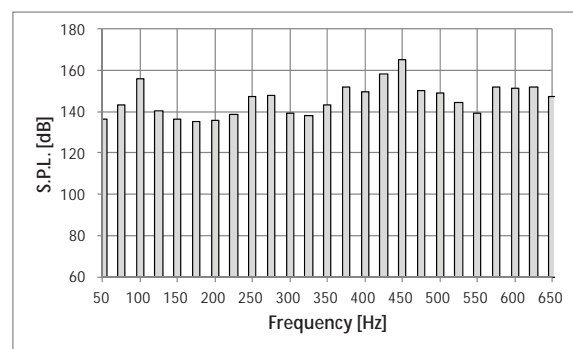


# 本機能の解析例題と参考計算の比較 (解析結果; 観測点の音圧レベル)

- 構造音響連成計算を行った場合には、構造物の固有値の周波数付近で透過する音響レベルが高くなっていることがわかる。参考計算はほとんど一定のレベルとなっている。



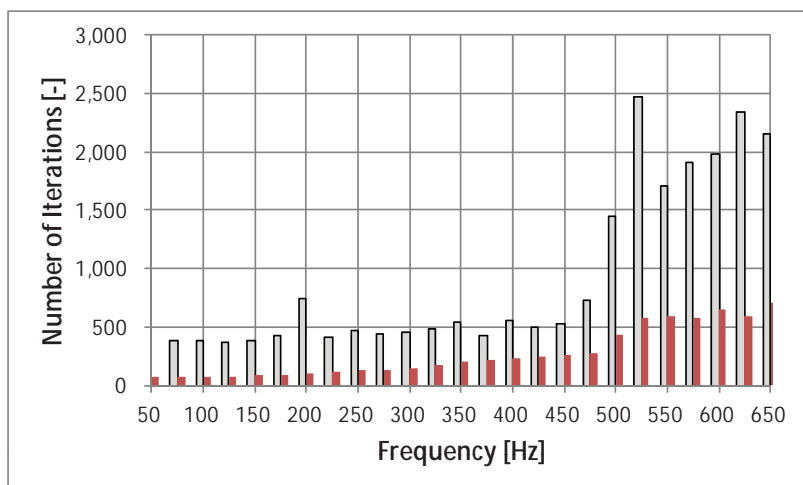
構造音響連成計算



参考計算

# 本機能の解析例題と参考計算の比較 (解析結果; 観測点の音圧レベル)

- 本計算と参考計算での収束回数の比較を示す。収束回数とはほとんど処理時間と考えていい。
- 本計算の場合に収束時間を要し、今後の課題である。





<http://www.artofmanliness.com>

## 【新機能紹介】 多孔質媒体の解析機能

## 多孔質媒体の解析機能

- 多孔質媒体の解析では、Mikiモデル等により音響伝播を複素数の音速および実効密度を与えて、音響解析を行う方法が利用されています。
- 多孔質媒体の解析を主目的として、音速および密度を解析領域のブロック(材質)毎に指定する機能を追加しました。
- ブロック(材質)毎に、複素数で音速および実効密度を定義します。
- 本機能に関するデータベース等の準備はございません。→ただし、ユーザ様のご要望・ご意見を反映させ、いくつかのツール等を開発し、お客様のニーズを実現する方向で進めております。

# 関連する基礎式

- 関連する基礎式は下記に示した3つの式のみである。
- 音速と密度を複素音速と実効密度に変更する。
- 物理的な要請は、音圧・密度が不連続に変化しても、音圧は連続となることである。
- 有限要素法では、速度ポテンシャルを基本変数とすると連続な速度ポテンシャルが解となる。その結果、音圧が不連続となる。これは物理的な要請を満たしていない。したがって、数値的には、若干の工夫が必要である。

$$\nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) = 0 \quad k = \frac{2\pi f}{c^*}$$

$$p(x) = i\omega \rho^* \varphi(x)$$

# Mikiモデル (利用を想定しているモデル)

- Mikiモデルは、さまざまな実験結果から、流れ抵抗 $\sigma$ をパラメータとして、特性インピーダンスと伝播定数の2つの量を周波数 $f$ の関数として表したものである。

$$z = \frac{Z_c}{\rho c} = R(f) + iX(f) \quad \gamma = \alpha(f) + i\beta(f)$$

$$R(f) = 1 + 0.070 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-0.632} \quad \alpha(f) = \frac{\omega}{c} \left\{ 0.160 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-0.618} \right\}$$

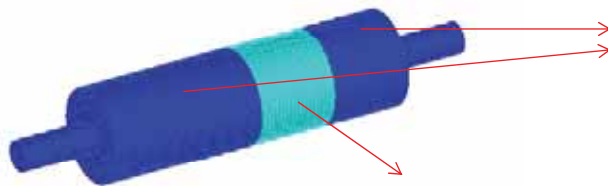
$$X(f) = -0.107 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-0.632} \quad \beta(f) = \frac{\omega}{c} \left\{ 1 + 0.109 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-0.618} \right\}$$

- Advance/FrontNoiseによる音響解析では、特性インピーダンス $z$ と伝播定数 $\gamma$ を、複素音速と実効密度に変換して利用します。

$$\rho^* = \frac{\rho c}{c^*} (R + iX) \quad \text{および、} \quad \gamma = ik^* \quad \text{から} \quad c^* = \frac{ic}{\alpha + i\beta}$$

# Advance/FrontNoiseにおける 多孔質媒体の使用方法

- 多孔質媒体解析の環境変数をONにします。
- 実効密度、複素音速は材質毎に与えます。
- 材質番号はメッシュファイルで与えます。
- 材質番号に対応する実効密度、複素音速を、材料ファイル\*.matで指定します。



$$\rho = 1.21 \quad \text{空気}$$

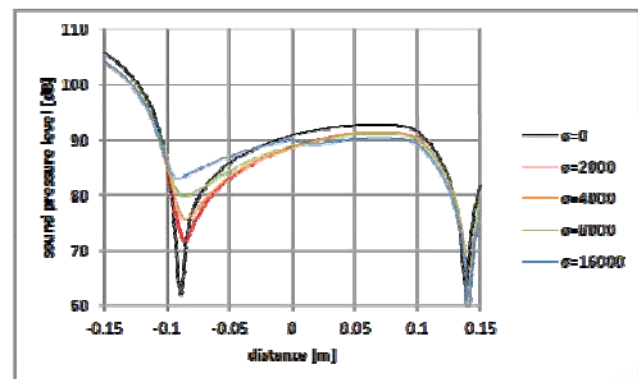
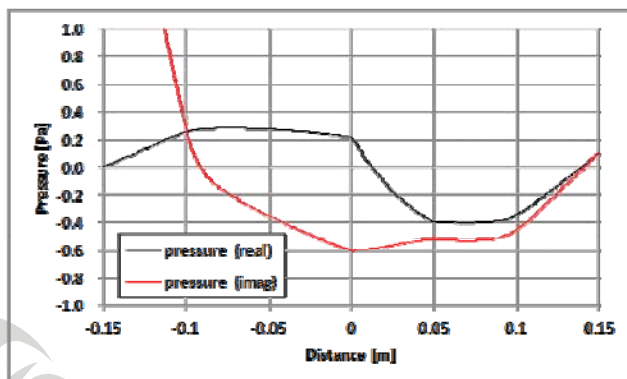
$$c = 343$$

$$\rho^* = 1.6591 - 0.92344i \quad \left( \sigma = 2000 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \right)$$

$$c^* = 250.41 + 75.092i \quad \left( f = 500 \text{ Hz} \right)$$

# 多孔質媒体の計算例

- 流れ抵抗 $\sigma=2000$ のケースの軸上の音圧(実部・虚部)
- 流れ抵抗を変化させた場合の軸上の音圧レベル



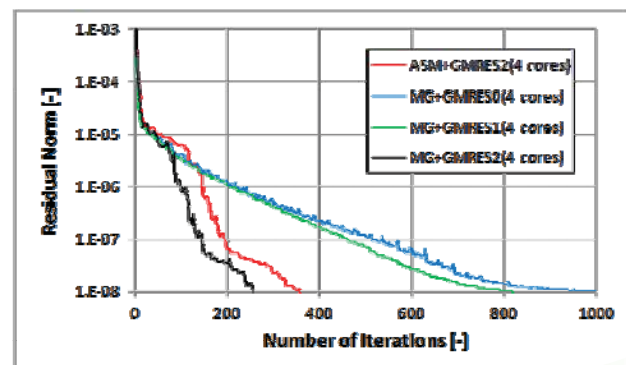
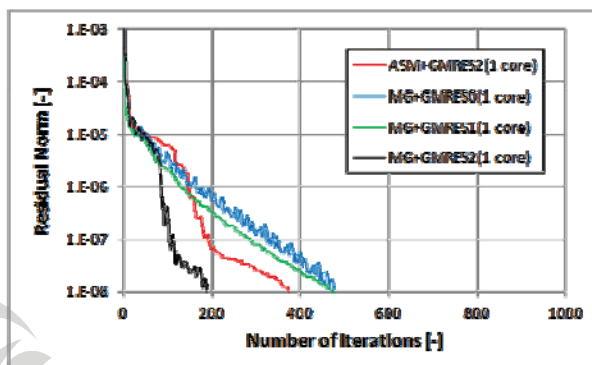


<http://www.j-focus.or.jp/focus/>

## 【新機能紹介】 マルチグリッド前処理の適用

## マルチグリッド前処理の効果

前処理	反復法	並列数	反復数 [回]	処理時間 [sec]
ASM	GMRES2	1	376	293
MG	GMRES0	1	477	621
MG	GMRES1	1	479	538
MG	GMRES2	1	191	227
ASM	GMRES2	4	358	98
MG	GMRES0	4	999	338
MG	GMRES1	4	820	294
MG	GMRES2	4	257	105



# 利用可能な連立方程式ソルバ

- GMRES法は以下の手法が利用可能
- その他、前処理6方法、反復アルゴリズム8種類からのりようが可能であり、マニュアルではその推奨値を記述。

マニュアルでの呼称	一般名	正式名称	文献
GMRES0	GMRES	the Generalized Minimal Residual method with restart	[1]
GMRES1	FGMRES	the Flexible Generalized Minimal Residual method	[2]
GMRES2	LGMRES	the Loose Generalized Minimal Residual method (the new restarted augmented GMRES )	[3]

[1] Y.Saad and M.H.Schultz, "GMRES: A generalized minimal residual algorithm for solving nonsymmetric linear systems", SIAM J. Sci. Stat. Comput., 7:856-869, 1986

[2] Y.Saad, "A flexible inner-outer preconditioned GMRES algorithm", SIAM Journal on Scientific Computing archive. Volume 14 Issue 2, Pages 461-469, March 1993,

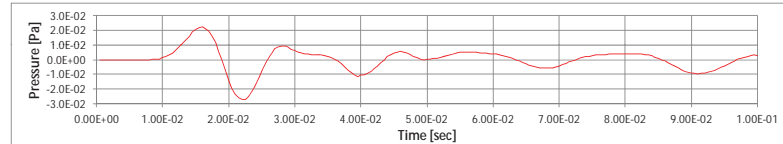
[3] A.H. Baker, E.R.Jessup, T.Manteuffel, "A Technique for Accelerating the Convergence of Restarted GMRES", SIAM JOURNAL ON MATRIX ANALYSIS AND APPLICATIONS, March 2004



## まとめ

- 大規模複素連立方程式のソルバにマルチグリッド前処理を実装した。従来の機能とともに本機能を利用できる。
- その効果を確認した。
- 収束性については今後も取り組みを継続する。





## 【新機能紹介】 時間領域解析機能

## 時間領域解析機能のリリース

- 時間領域ソルバAdvance/FrontNoise/TD Ver1.0(シングルプロセッサ用)をリリースをしました。分散メモリ方式による並列版を7月1日にリリース予定です。
- 差分法で利用されてきたFDTDのアルゴリズムを有限要素法で利用可能なように拡張した手法を利用しています。
- 現在、1億要素までの検証を終了しています。
- ほとんどすべてのデータはAdvance/FrontNoiseの周波数ソルバと共通のデータ形式となっております。

現在契約中または2014年度内新規契約の方は、Advance/FrontNoise/TD Ver1.0をAdvance/FrontNoiseの付属機能としてご利用いただくことができます。ただし、2015年度からはAdvance/FrontNoise/TDを周波数解析機能Advance/FrontNoiseと切り離して、別商品として販売(有料)予定です。

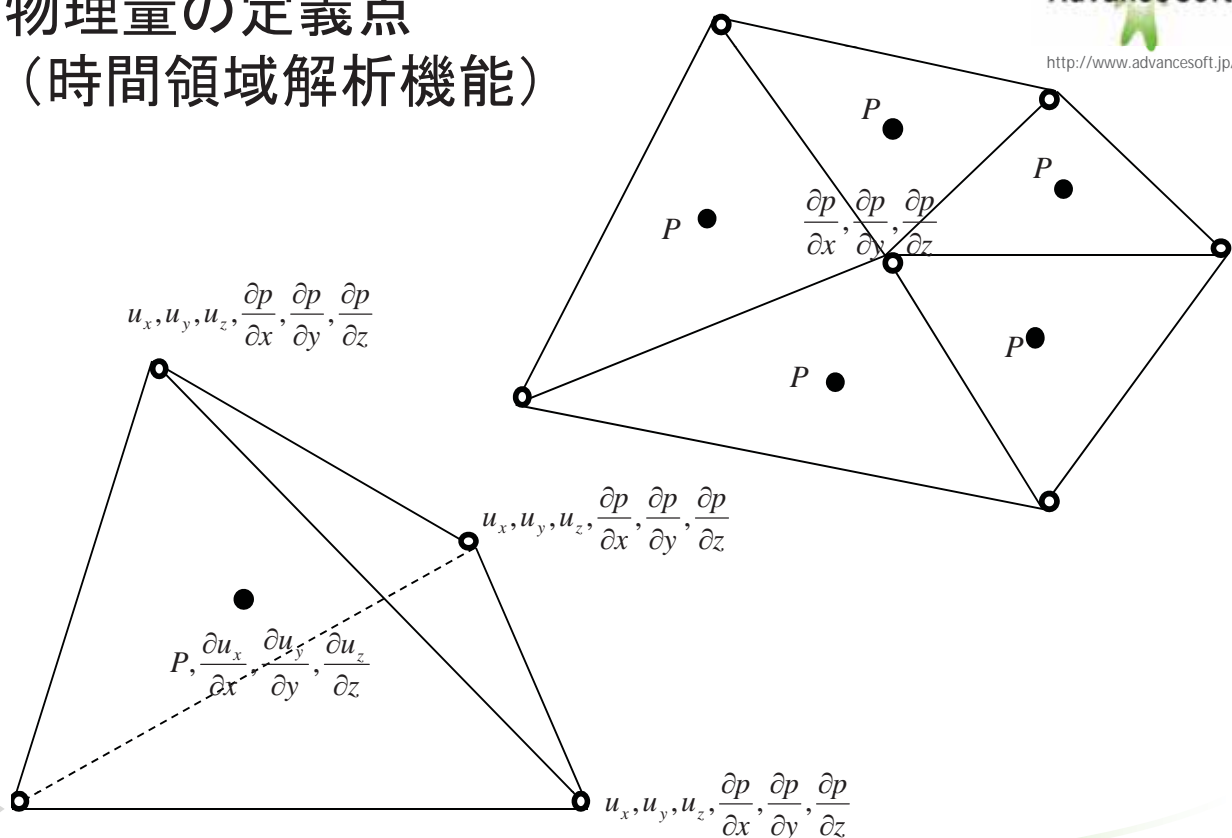
# 基礎方程式(時間領域解析機能)

- 波の方程式を解く。
- 境界条件については、基本的な機能のみを持っている。
- 音源は時系列データで与える。
- 四面体一次要素による有限要素法で定式化した。
- 時間方向の離散化はFDTD法を拡張して利用した。

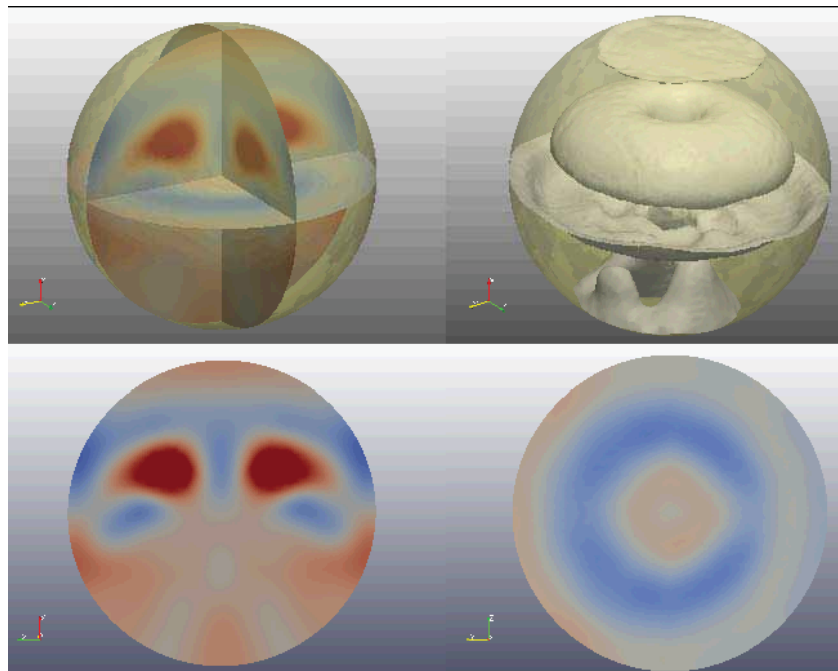
$$\frac{dP}{dt} + \kappa \cdot \text{div}(u) = 0 \quad \kappa = \rho c^2$$

$$\rho \frac{du}{dt} + \text{grad}(P) = 0$$

## 物理量の定義点 (時間領域解析機能)

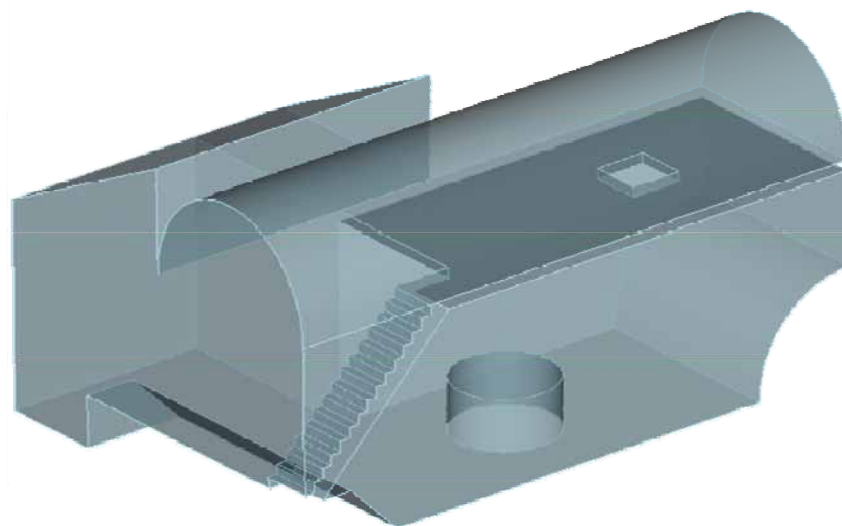


# 基本機能の確認(時間領域解析機能) 完全反射球内の時系列音響伝播

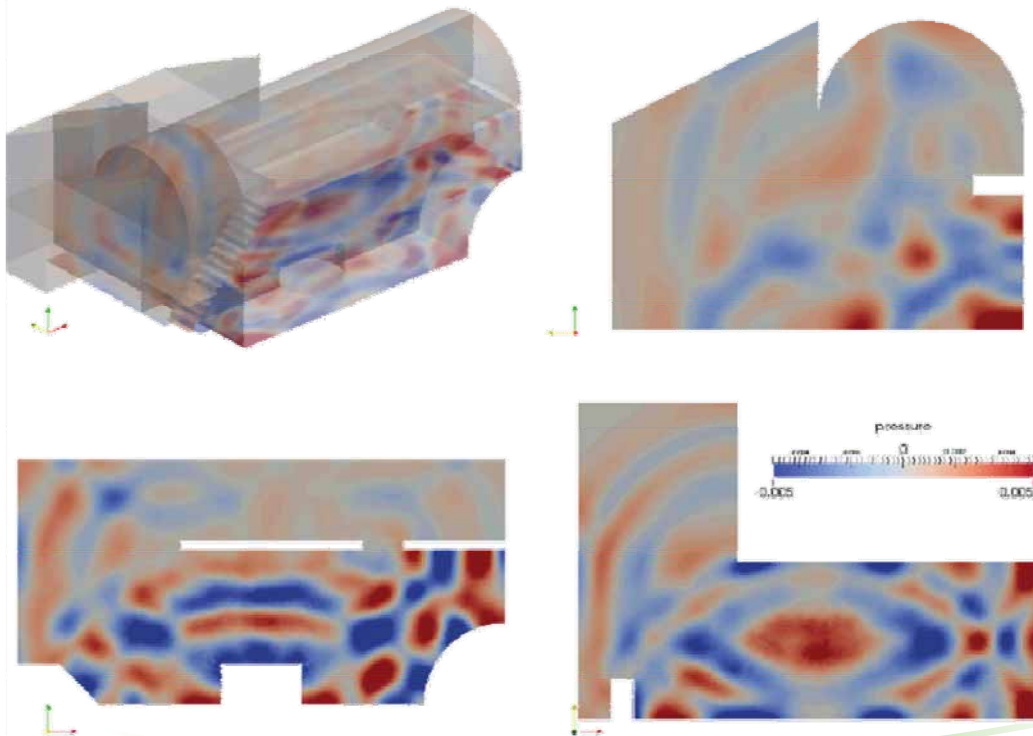


# 複雑形状における時間領域解析

- 従来、FDTDで取り扱いにくかった球面、曲面、傾斜面のあるような複雑形状の建屋内での音響伝播を解析した。

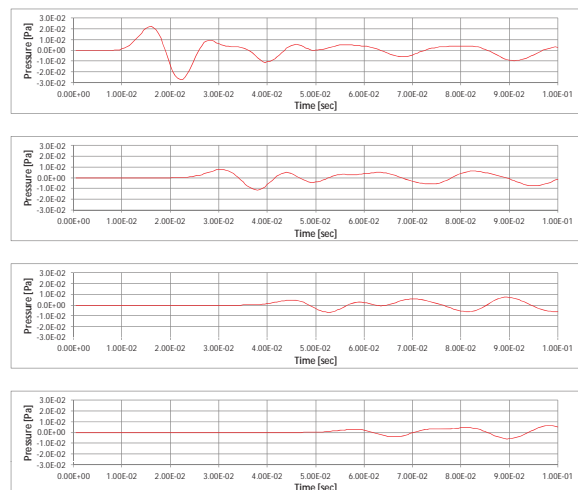
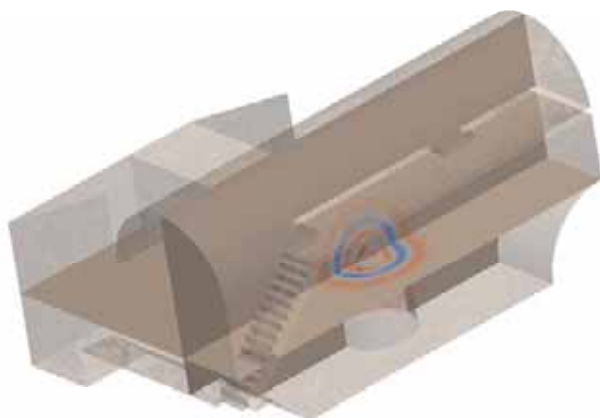


# 動画による結果表示 (時間領域解析機能)



# スナップショットと時系列グラフ (時間領域解析機能)

- リスタートファイルからスナップショットを作成する。
- 必要に応じて、リスタート計算を行ってスナップショットを出力する。
- 解析前にあらかじめ指定した点の時系列データを出力する。



## 解析規模と処理時間・メモリ等 (時間領域解析機能)

項目	小規模	中規模	大規模
節点数	20万	200万	2000万
要素数	100万	1000万	1億
データサイズ	0.1GB	1GB	10GB
必要なメモリサイズ	0.3GB	3GB	27GB
前処理時間	1分	10分	2時間
100ステップの解析	10秒	2分	20分
1000ステップの解析	2分	20分	2時間
1万ステップの解析	20分	2時間	1日
10万ステップの解析	2時間	1日	10日
結果ファイルサイズ	0.2GB/step	2GB/step	20GB/step

## 2014年度 Advance/FrontNoise開発予定 (周波数解析機能)

- PML等による無反射境界機能の追加
- 線形ソルバの高速化
  - － 特に並列環境における高速化のための改良およびチューニングを行います。
  - － 固有値を用いた構造音響連成の収束性についても検討します。
- 流れ場の音響解析
  - － 流体との連成機能の整備
  - － 高速流れを伴う場での音響計算



# 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの使用方法

技術第2部 大家 史

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise 最新動向セミナー  
2014年6月3日（火）  
アドバンスソフト株式会社



## ご説明内容

- Advance/FrontNoiseの使い方
- ツールの使い方
- まとめ



## 1. Advance/FrontNoiseの実行手順



## 音響解析に必要な情報

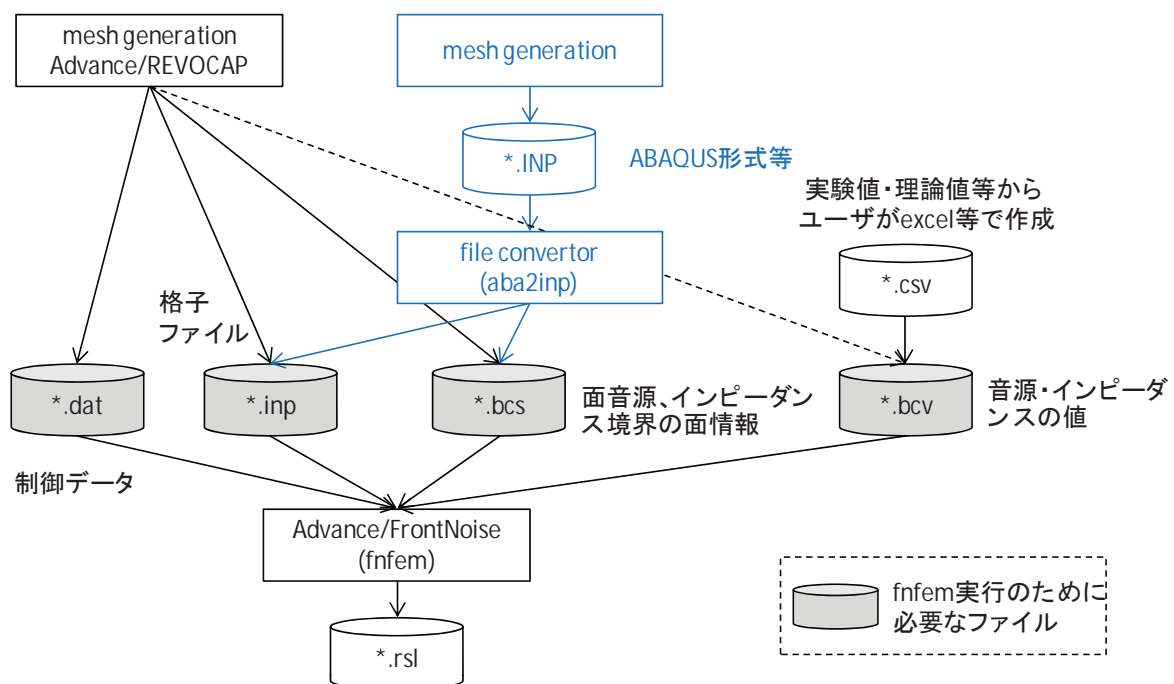
- メッシュ
  - 節点
  - 要素
- 境界条件
  - 場所の情報
  - 値
- 音源
  - 場所の情報
  - 値
- 解析条件
  - 開始・終了周波数
  - 周波数間隔
  - 音速・密度
  - 収束のための最大反復回数



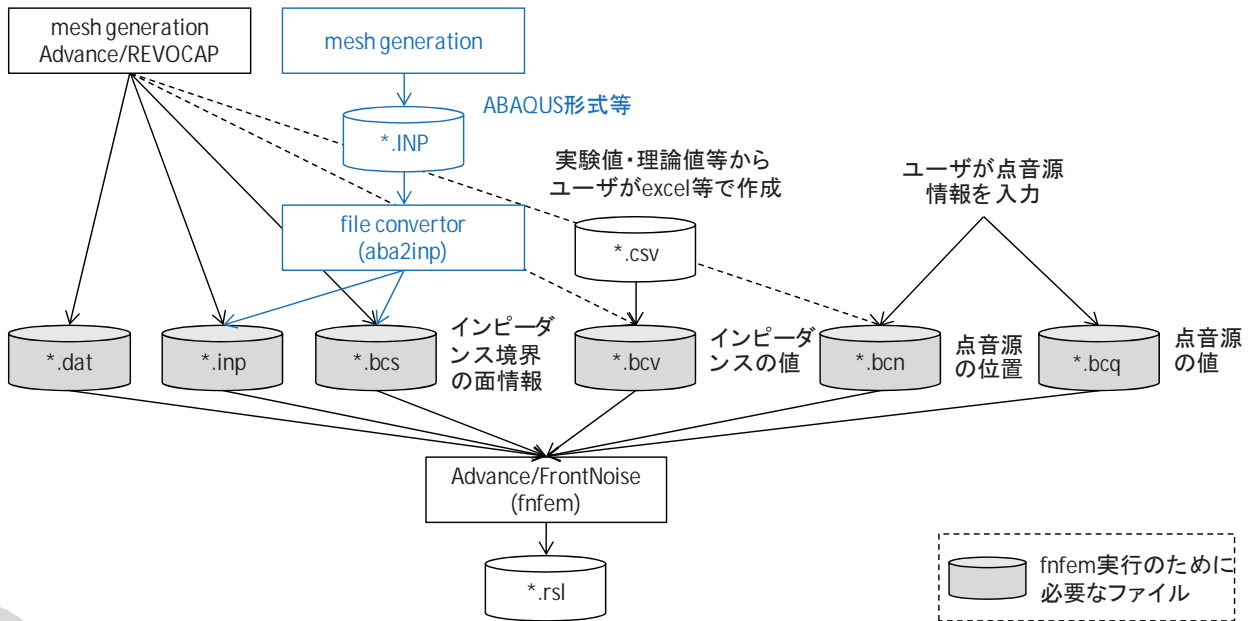
# 音響解析のために準備するファイル

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。

# 音響解析の流れ(基本的となる利用方法)



# 音響解析の流れ(点音源を利用する場合)

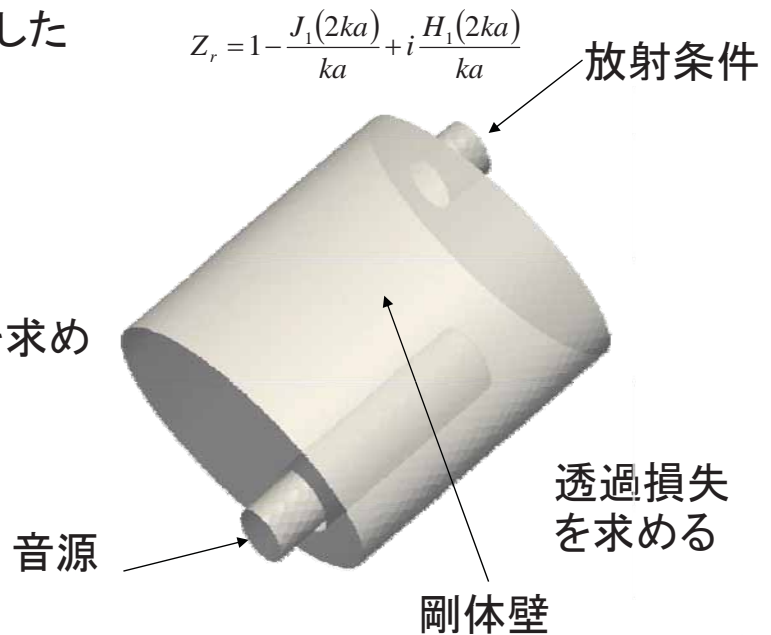


# 解析手順

- 格子を作成する。
  - 四面体1次要素
- 2つ(位置と値)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
- 制御データを作成する。
  - 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
- 周波数毎の透過損失を求める。

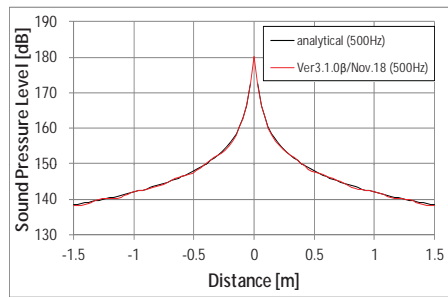


## 格子データの作成、格子幅の基準

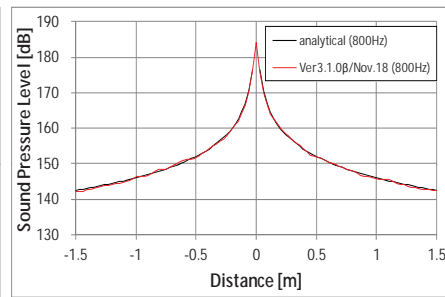
- Advance/REVOCAPでメッシュを作成する。
- 四面体1次要素で格子データを作成する。
- FrontNoise形式でexportし、Advance/FrontNoiseの入力データとする。
- 使い方はやや面倒になるが、REVOCAP以外のメッシュも利用することは可能である。その場合には、特定の形式で出力し、FrontNoise形式に変換する。

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

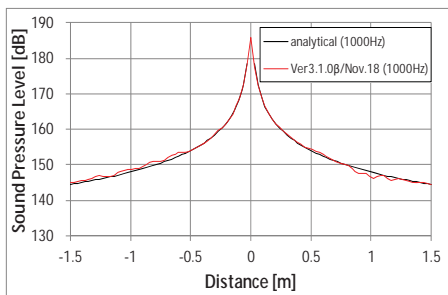
# 格子幅に対する精度



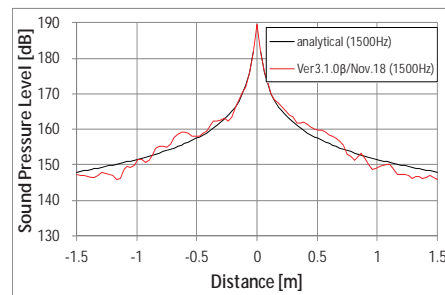
$\Delta x$ が波長の1/12



$\Delta x$ が波長の1/8



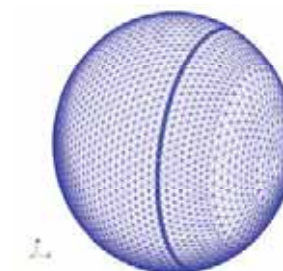
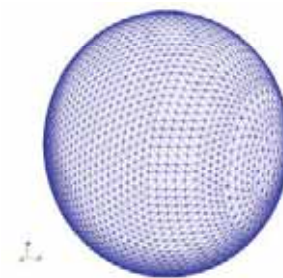
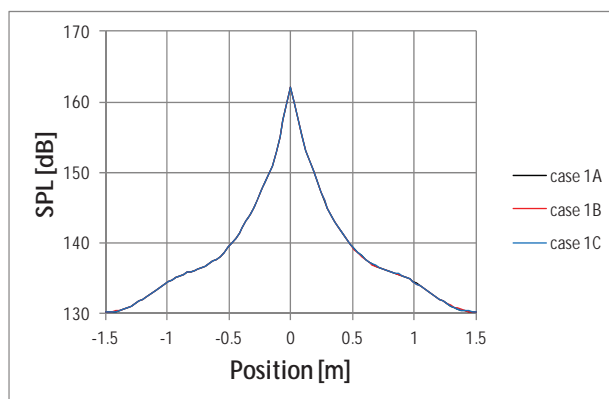
$\Delta x$ が波長の1/6



$\Delta x$ が波長の1/4

# メッシュの品質について

- メッシュの品質が多少落ちて  
も精度には影響しない
- 収束性に影響し、若干処理  
時間が長くなる。



# 格子データ\*.inpと境界条件\*.bcs

格子データ(.inp)

```

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
    
```



```

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
    
```

境界条件ファイル1(.bcs)

# 境界条件データ2(\*.bcv)

出口境界条件

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

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

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

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

$$f(x) = 0$$

周波数	$\alpha$ の実数部	$\alpha$ の虚数部	$\beta$ の実数部	$\beta$ 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)

## 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/m <sup>3</sup> ]
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

```
% 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]

```
% mpiexec -n 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.bcv

- 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 \*\*\*\*\*

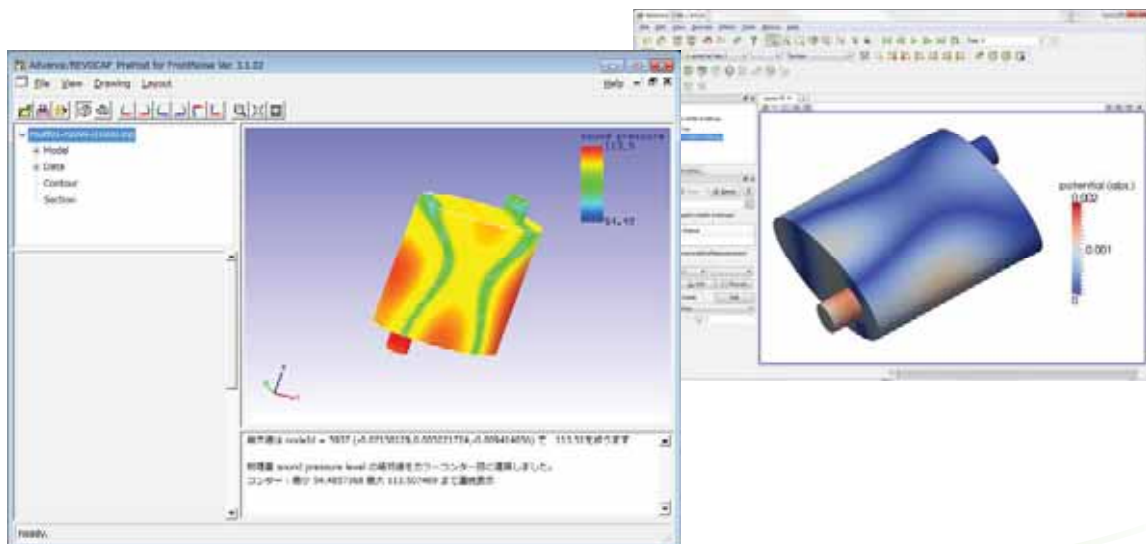
PROCESS	TOTAL TIME
< 1> Total Time	: 7.25D+02 (100.0)
< 2> Input	: 2.44D-01 ( 3.4)
< 3> Time Loop (pre)	: 2.44D-01 ( 3.4)
< 4> Linear Solver (pre)	: 1.10D-03 ( 0.0)
< 5> Linear Solver	: 6.68D+00 ( 92.1)
< 6> Linear Solver (post)	: 2.47D-04 ( 0.0)
< 7> Time Loop (output)	: 8.07D-02 ( 1.1)
< 8> Post Process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

normally terminated



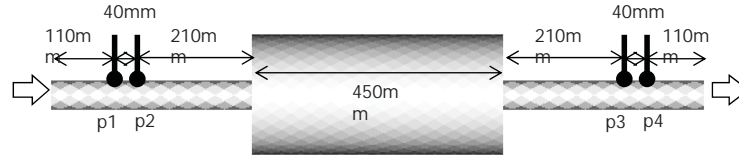
# 可視化ファイル(コマンド: rsl2inp)

- 計算結果ファイル(\*.rsl)を可視化可能なAVS UCD形式に変換する。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。



## 透過損失の計算 (コマンド: rsl2csv)

- 可視化ファイル群から、2マイクロフォン法により、透過損失を求める。



$$H_{12} = \frac{p_2}{p_1} \quad H_{12l} = e^{iks} \quad H_{12r} = e^{-iks} \quad H_{34} = \frac{p_4}{p_3} \quad H_{34l} = e^{iks} \quad H_{34r} = e^{-iks}$$

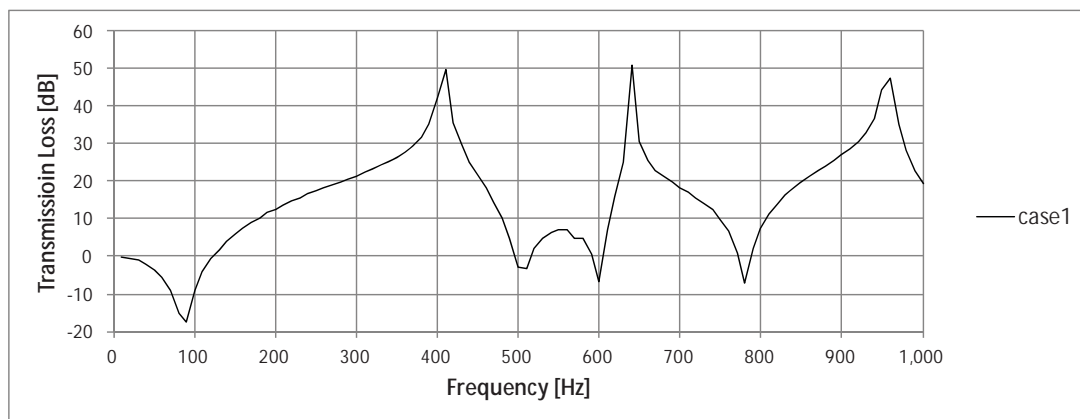
$$R_1 = -\frac{H_{12} - H_{12r}}{H_{12} - H_{12l}} \quad R_3 = -\frac{H_{34} - H_{34r}}{H_{34} - H_{34l}}$$

$$p_{1r} = -\frac{p_1}{1 + R_1} \quad p_{3r} = -\frac{p_3}{1 + R_3}$$

$$TL = 20 \log_{10} \left| \frac{p_{1r}}{p_{3r}} \right|$$

## 透過損失の計算 (コマンド: rsl2csv)

- 可視化ファイル群から、2マイクロフォン法により、透過損失を求めた結果をexcelで表示できます。



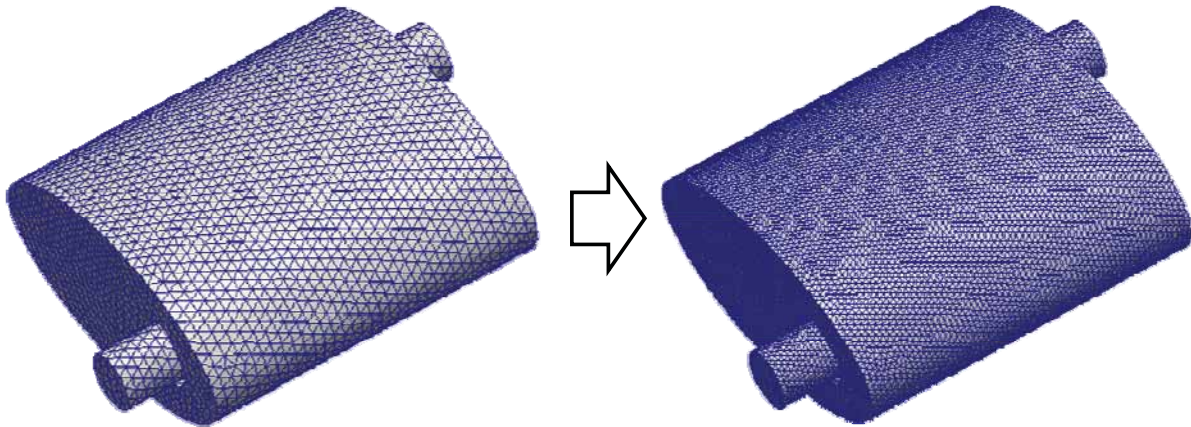
## 2. ツールの使い方

## 利用可能なツール

ツールの機能	ツール名
メッシュ細分化ツール	refine
計算結果粗視化ツール	coarse
二重極および四重極を含む点音源作成ツール	psgen
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
結果編集ツール	getnval
バイナリ結果編集ツール	getnvalbin
リスタートファイル作成ツール	rsl2res
リスタート機能結果の比較ツール	difrs1
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
節点検索ツール	nfind

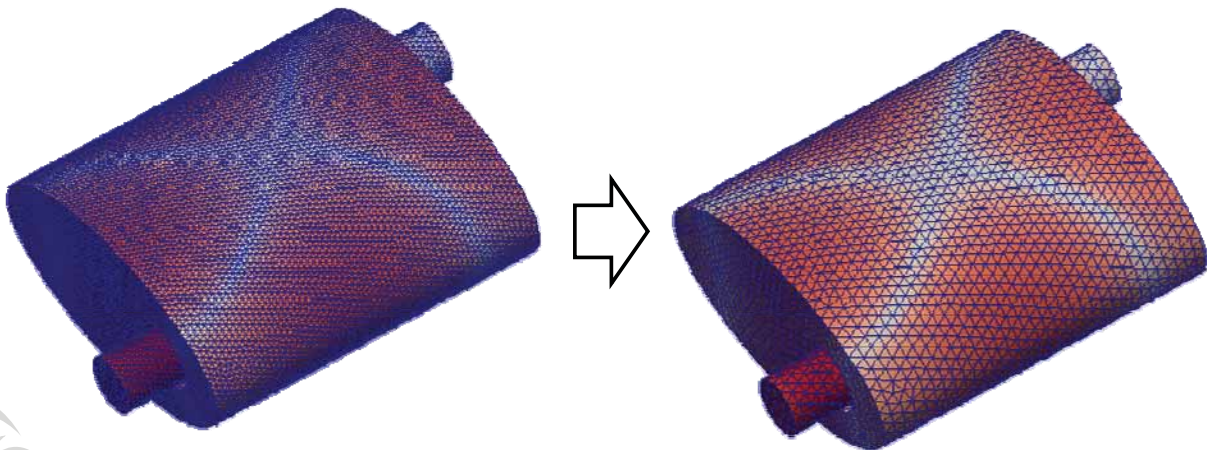
## メッシュ細分化(コマンド:refine)

- 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。

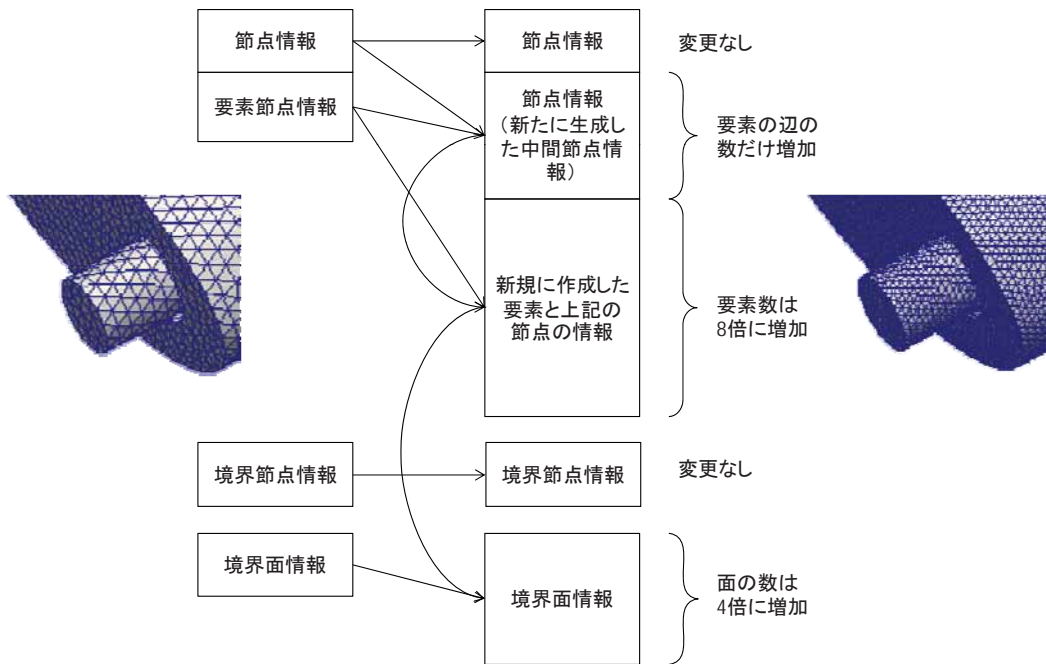


## 計算結果粗視化ツール

- 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。

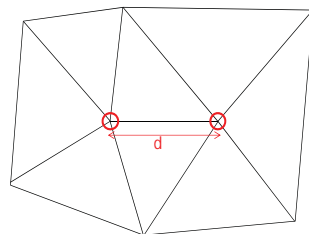


# 細分化と粗視化の関係



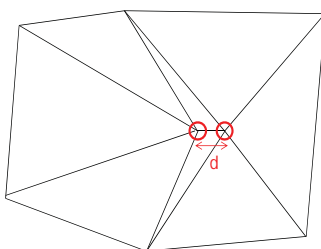
# 離散的二重極音源生成 (コマンド: psgen)

メッシュの2点に+と-の音源を設定すればいい。



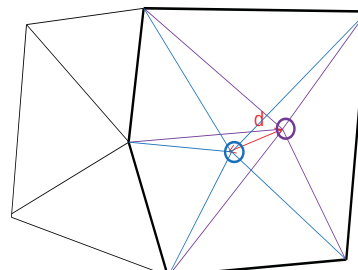
メッシュ幅より近い位置に2点を設定したい。  
1点の位置を指定して自動的に設定したい。

×



メッシュがつぶれ、収束性悪化

○



ツールを利用して設定可能なメッシュ  
(局所的に4次元のメッシュとなる方法)

### 3. まとめ



## Advance/FrontNoise使用方法のまとめ

- まず、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。
- 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
  - メッシュ細分化機能、粗視化機能
  - 透過損失を求める機能



# 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの解析事例

代表取締役社長 松原 聖

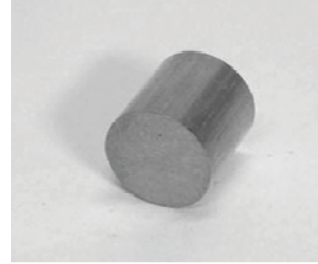
音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise 最新動向セミナー  
2014年6月3日（火）  
アドバンスソフト株式会社



## 本日紹介する解析事例

- 円筒の共鳴問題の解析解との比較（理論解との比較）
  - 消音器の性能解析（内部問題）
  - 環境騒音の解析（外部問題）
  - 流れ場でのダクト開口端での反射率（流れ場での音響伝播）
  - 振動する棒からの音の伝播（構造音響連成）
  - 流れに起因する音源からの音の伝播（流体音響連成）
- ↓
- ユーザー様へ；ここに示した一部の例題はチュートリアルとして、データ一式を用意していますので、ご利用ください。また、本資料での公開事例については、Advance/FrontNoiseのデータをお渡しすることが可能です。





<https://hands.net>

## 円筒容器の共鳴周波数の解析

### 円筒内の共鳴 — 解析解との比較 —

- 円筒内の共鳴のシミュレーションを行い、共鳴周波数とその解析解とを比較する。
- 格子数と精度の関係を定量的に確認する。
- シミュレーション方法
  - 音源を円筒内の偏心した位置に配置する。
  - 節線に合わないよう観測点を設定する。
  - 周波数をスweepさせ、観測点の音圧レベルを求める。
  - 周波数は、10～5kHzで2Hz毎とし、約2500点の解析を行う。
  - メッシュサイズは、最大周波数の波長を1/10したサイズに対して、そのサイズの1/3で精度を確認する。その後、メッシュを粗くして、精度がどの程度得られるかを確認する。
- 理論的に得られる節直径および節半径の数および円筒方向の節線の数を、シミュレーション結果の音圧コンタで確認する。

# 解析解との比較 共鳴の問題

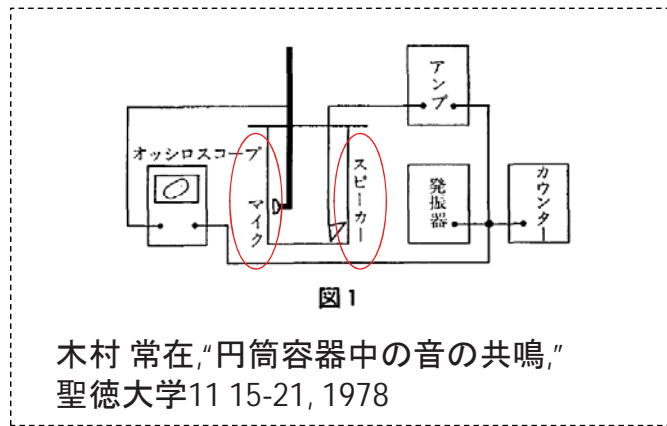
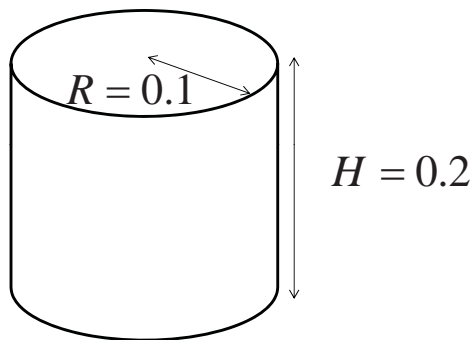
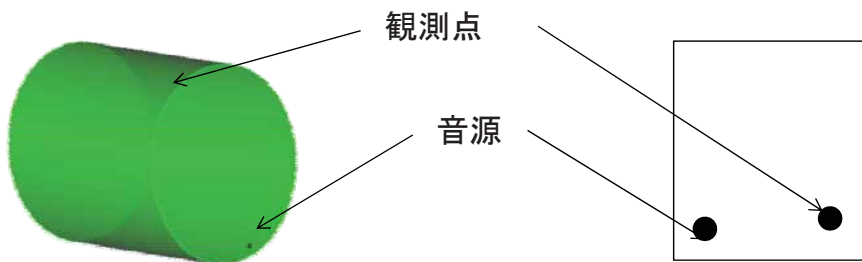
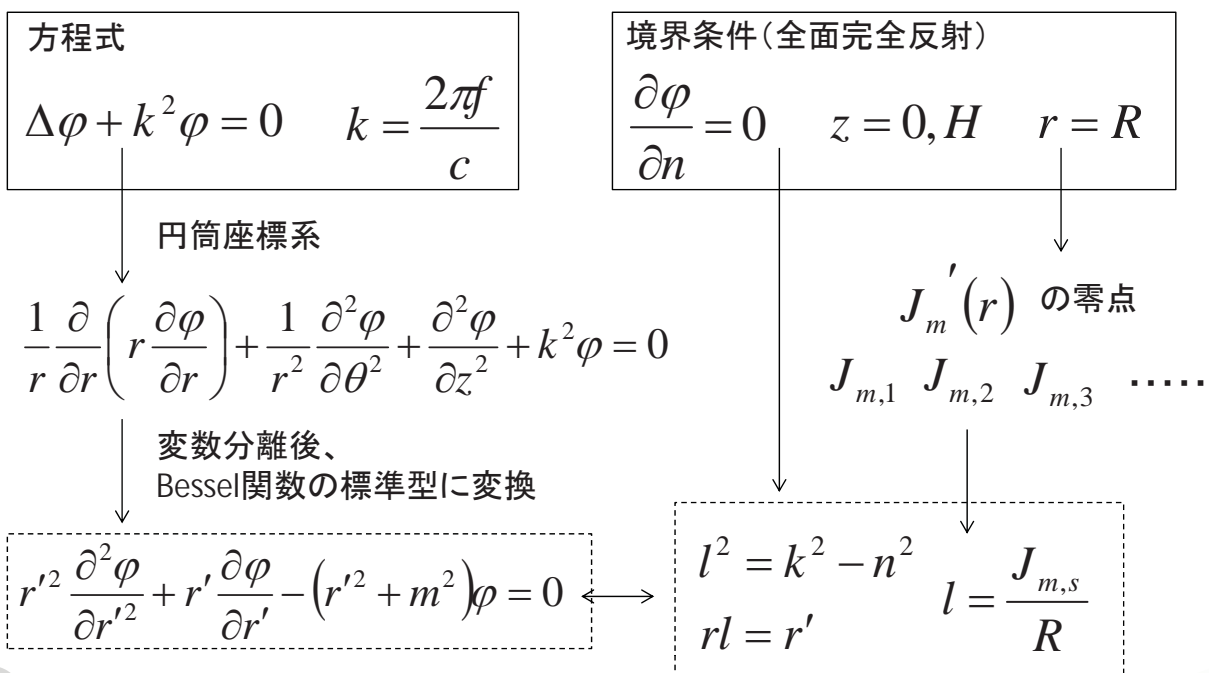


図1  
木村 常在, "円筒容器中の音の共鳴,"  
聖徳大学11 15-21, 1978



# 方程式と境界条件および解析解



# 共鳴周波数の解析解

- $q, m, s$ を任意の正の整数として、共鳴周波数は次の通り。

$$k = \frac{2\pi f}{c}$$

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{J_{m,s}}{R}\right)^2 + \left(\frac{\pi q}{H}\right)^2}$$

$$k^2 = l^2 + n^2$$

$$n = \frac{2\pi}{2H} \times q$$

$$l = \frac{J_{m,s}}{R}$$

すべての共鳴周波数

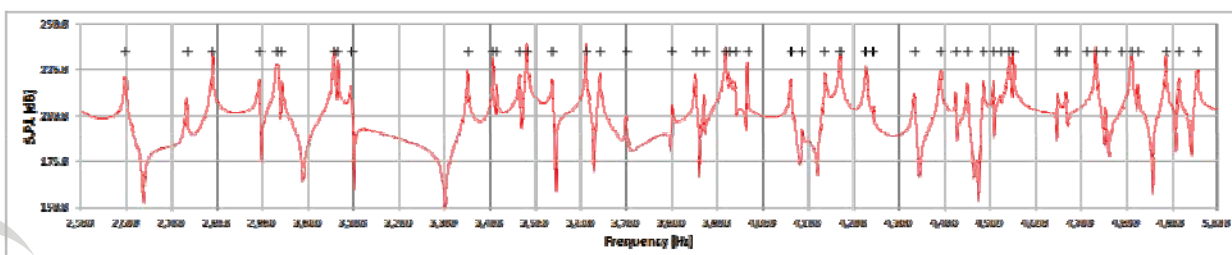
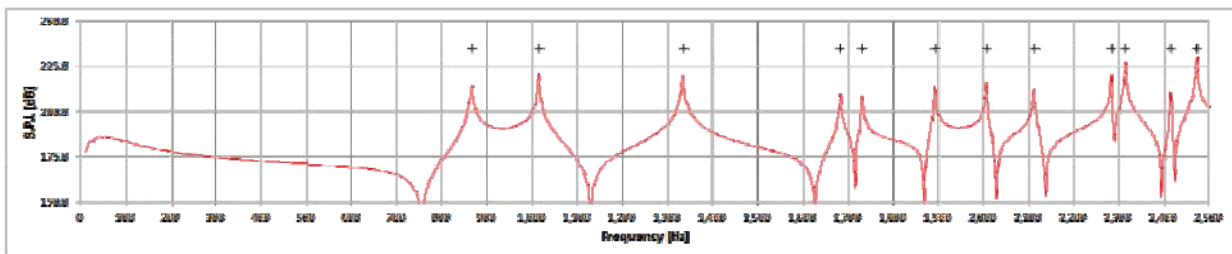
865.00Hz, 1013.90Hz, 1332.75Hz,  
1681.87Hz, 1730.00Hz, 1891.28Hz,  
2005.22Hz, 2110.03Hz, 2280.45Hz,  
2313.50Hz, 2412.80Hz, 2469.92Hz,  
2595.00Hz, .....

ベッセル関数微分の正の零点

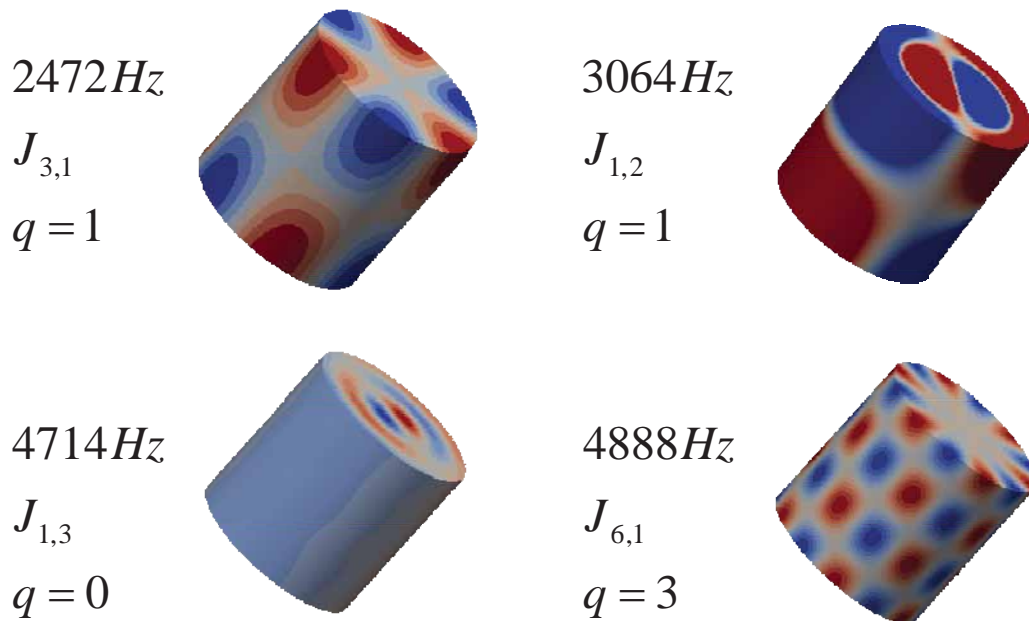
	m=0	m=1	m=2	m=3	m=4
s=1	3.832	1.841	3.054	4.201	5.318
s=2	7.016	5.331	6.706	8.015	9.282
s=3	10.174	8.536	9.970	11.346	12.682
s=4	13.324	11.706	13.170	14.586	15.964
s=5	16.471	14.864	16.348	17.789	19.196

# 解析結果

- 周波数をスイープさせた結果を示す。+印は、理論解を示す。
- 高周波までよく一致していることがわかる。

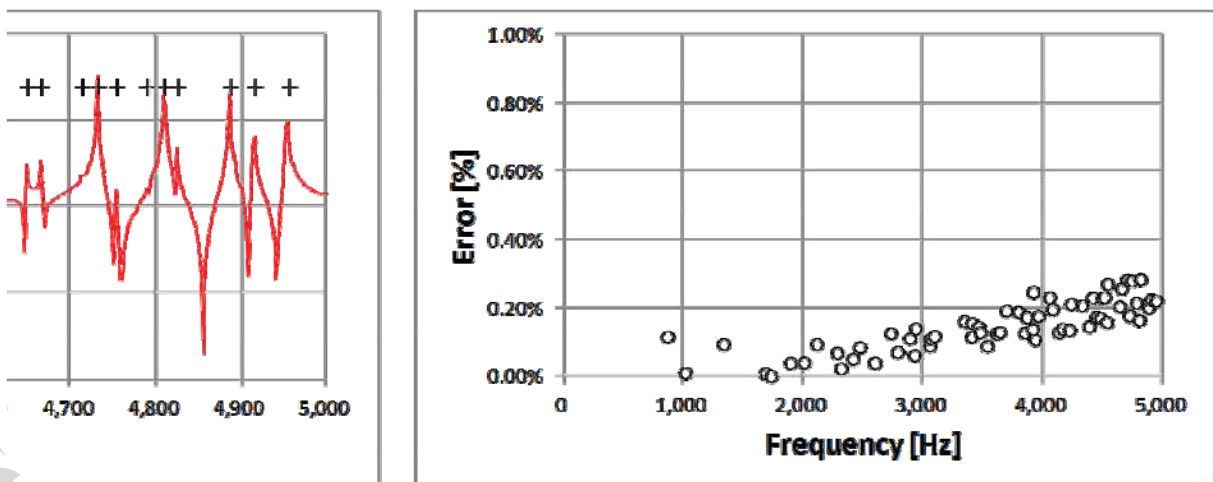


# 速度ポテンシャル結果の一部



# 理論値との誤差

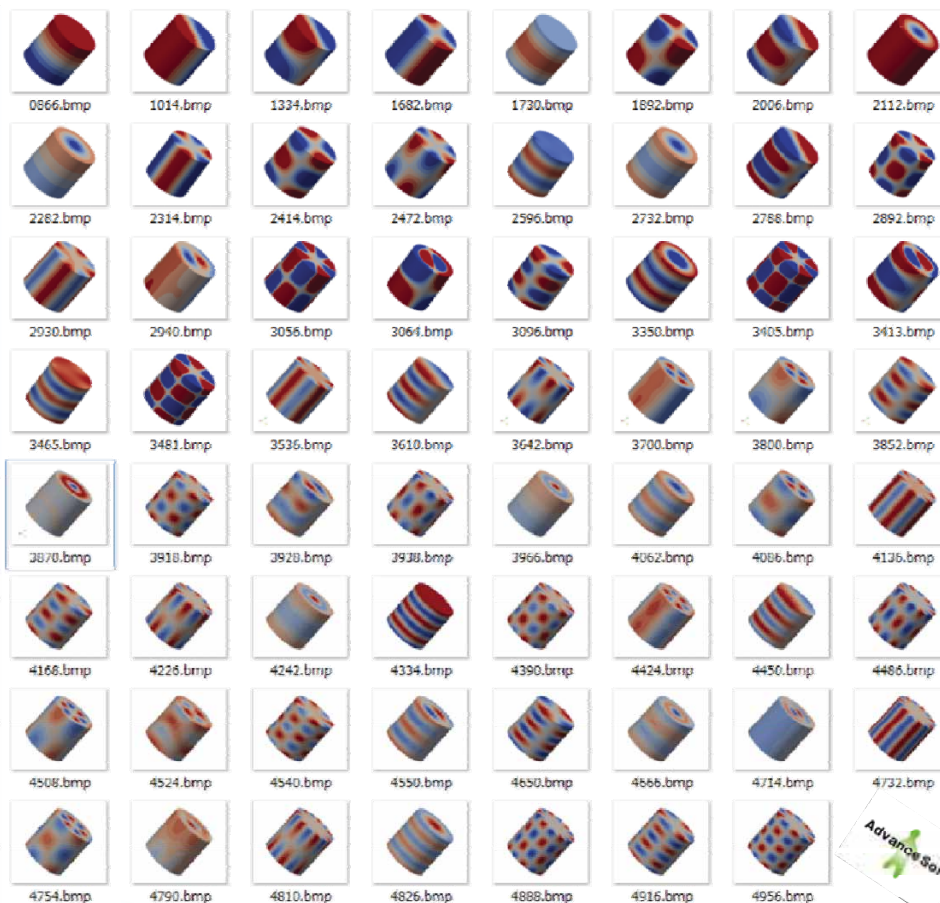
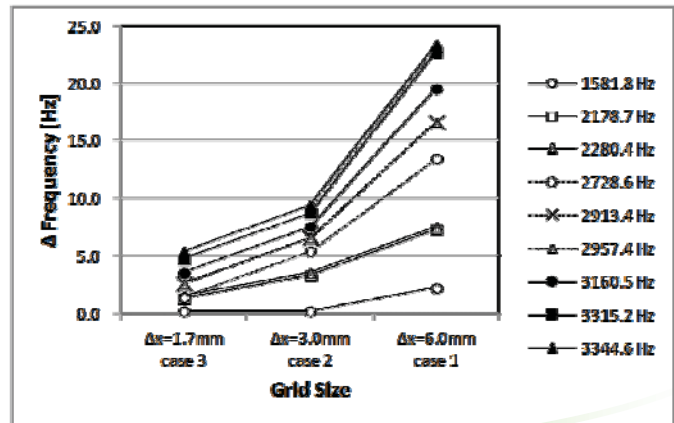
- シミュレーション結果と理論値を比較した。5kHz付近の共鳴周波数でも0.2%以下程度の誤差となっている。参考までに、左に5kHz付近の拡大図を示す。



# 精度と格子幅の関係

- 格子サイズを3つのサイズで実施した。いちばん粗いメッシュ(ケース1)は5kHzまで解析可能なメッシュサイズとしました(5kHzに対して1波長に10節点が配置される大きさのメッシュ)。ケース2はケース1の半分のメッシュサイズ、さらに、ケース3はさらにその半分程度のメッシュサイズとしました。
- 粗いメッシュでは、低い周波数においては一致してますが、高い周波数ではシミュレーション結果と解析解のずれが20Hz程度となります。しかし、ケース2、ケース3とメッシュを細かくすると、解析解と一致がよくなります。

項目	ケース1	ケース2	ケース3
格子幅	6.0mm	3.0mm	1.7mm
要素数	173,021	939,254	3,735,627
節点数	31,773	167,923	657,867



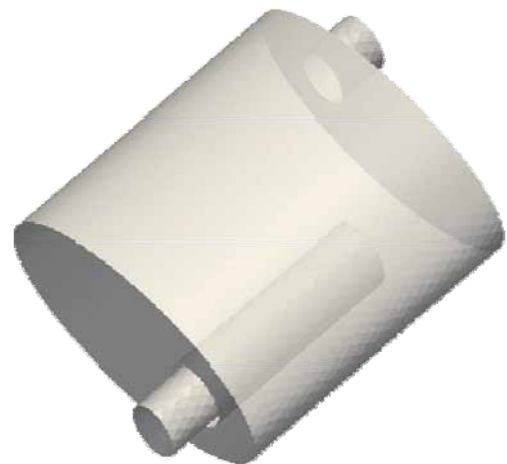


マフラーミュージアムにて撮影

## 消音器の解析

## 簡易排気系の音響解析

- 解析条件
  - 単純形状、内部に構造は持たない
  - 内部に空気の流れはない
- 境界条件
  - 入り口には音圧を与え、出口にはダクト開口端の放射インピーダンスを与える。
- 透過損失を用いて、性能評価を行う。

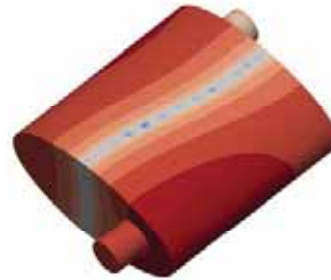
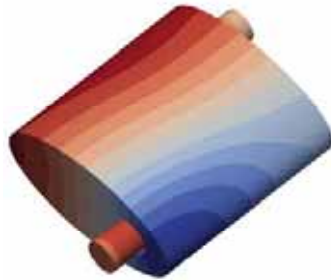


# 簡易排気系の解析結果

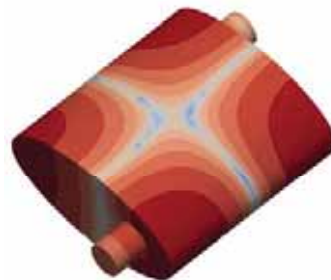
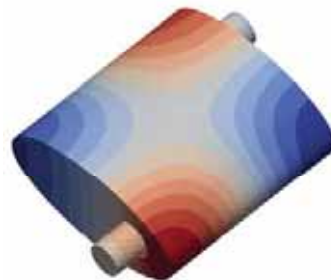
音響速度ポテンシャル

音圧レベル

600Hz

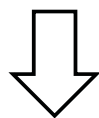
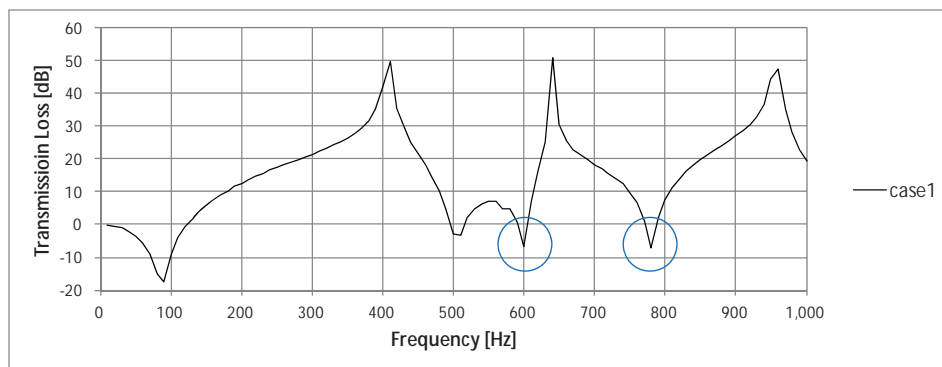


780Hz

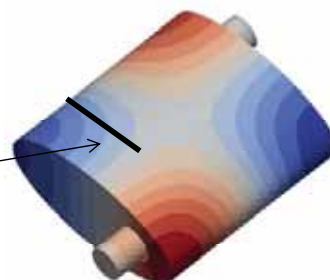


# 簡易排気系の解析結果(透過損失)

透過損失



壁を作ったらどうなるか？

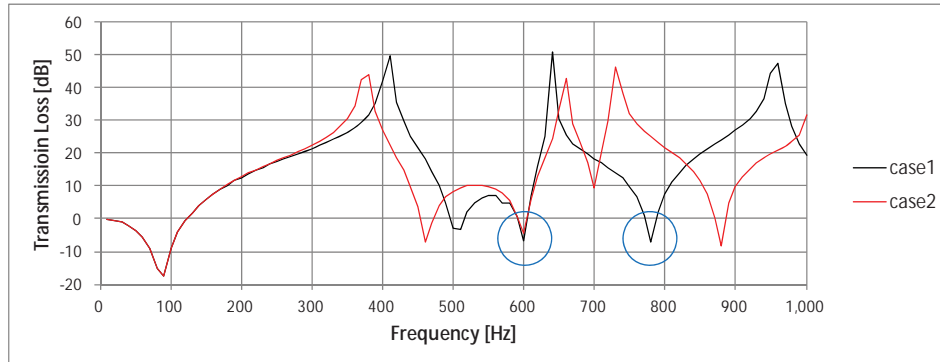


# 簡易排気系の透過損失(内壁あり)

壁を作った →



透過損失

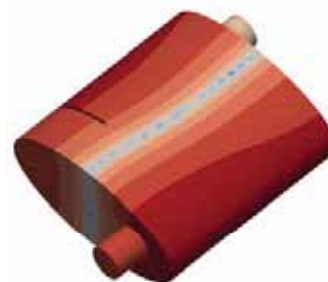
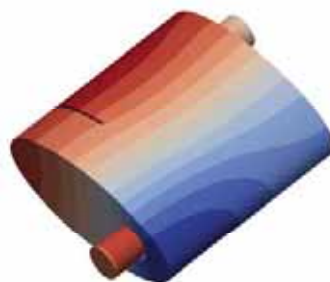


# 簡易排気系の解析結果(内壁あり)

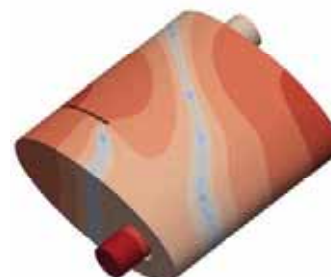
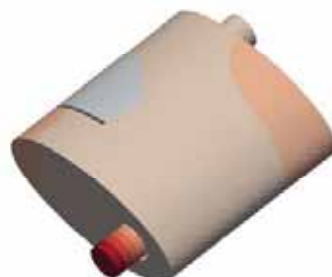
音響速度ポテンシャル

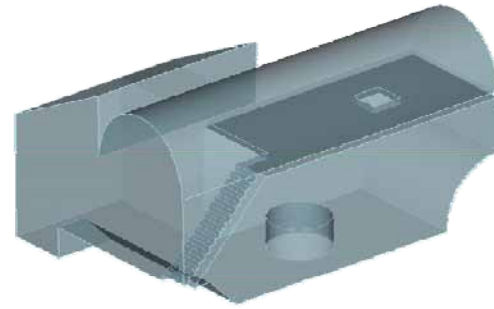
音圧レベル

600Hz



780Hz



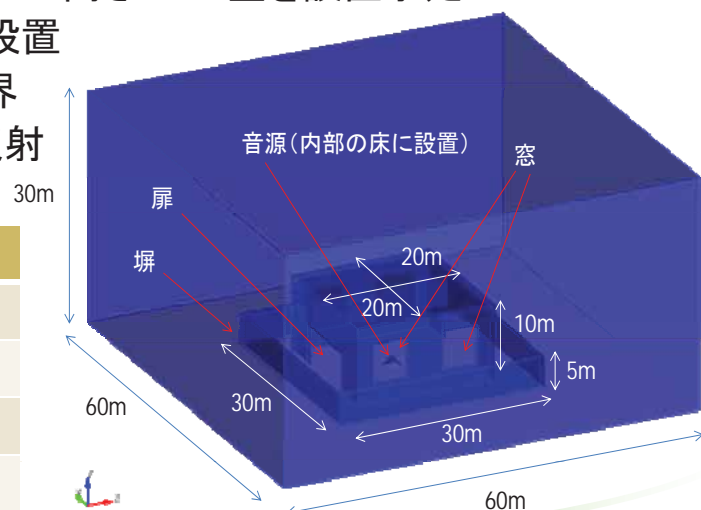


## 建屋からの騒音の環境評価

## 環境騒音の解析

- 建屋の中の騒音源が敷地境界への影響評価を目的
- 建屋の大きさは、1辺の長さ20m、高さ10mのサイズ
- 4側面に、解放した窓、または、解放した扉を設置
- 建屋の回りに、1辺の長さ30mの高さ5mの壁を設置予定
- 音源は、建屋内部の中心に設置
- 解析範囲の外側には、pc境界
- 床と地面および壁は、完全反射

ケース名	塀	塀吸音材	内壁吸音材	窓
ケースA	NO	NO	NO	普通
ケースB	YES	NO	NO	普通
ケースC	YES	NO	YES	普通
ケースD	YES	NO	NO	小

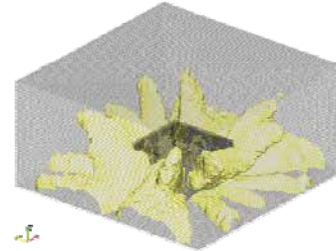
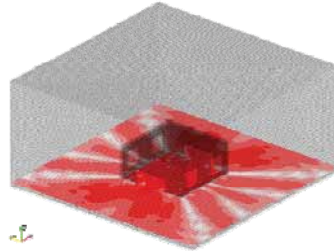


# 環境騒音の解析(上; 塀なし、下; 塀あり)

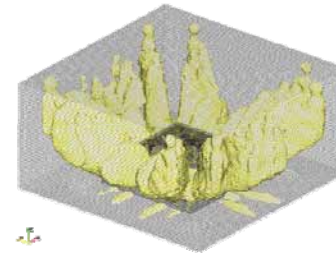
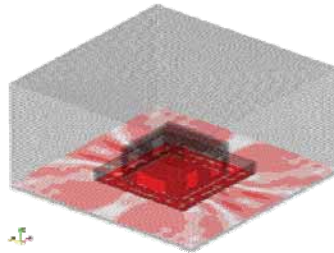
床上1mの騒音レベル

80dBの等値面

ケースA



ケースB

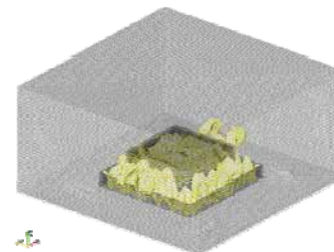
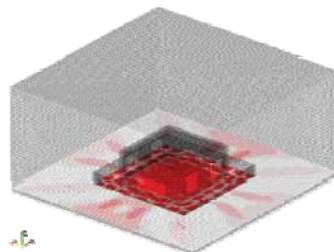


# 環境騒音の解析(上: 吸音材、下: 窓小)

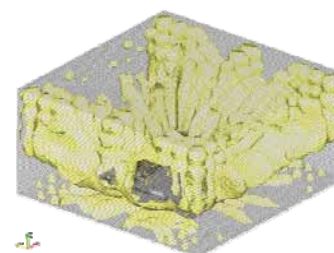
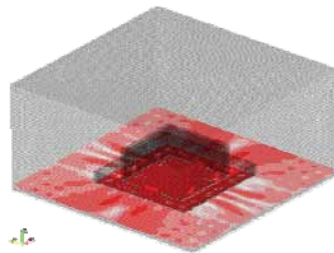
床上1mの騒音レベル

80dBの等値面

ケースC



ケースD





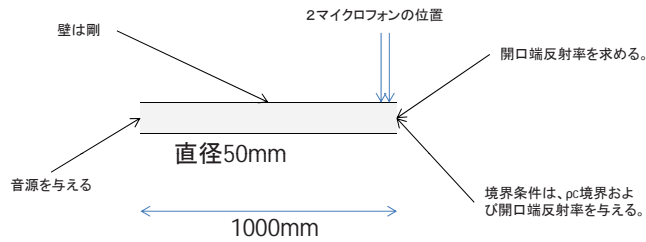
<https://hands.net>

## ダクト開口端反射率

## ダクト開口端の反射率

- ダクト出口における音響反射率を求める。
- 音響反射率が1をこえたという実験事実を再現する。
- $M=0.0, 0.2, 0.4$  程度の条件で実施する。
- 流れについては、Advance/FrontFlow/FOCUSおよびGoertlerの式を利用した。
- 理論解については、Muntの論文と比較した
- 定性的には一致した結果を得られた。
- 定量的な比較が今後の課題である。

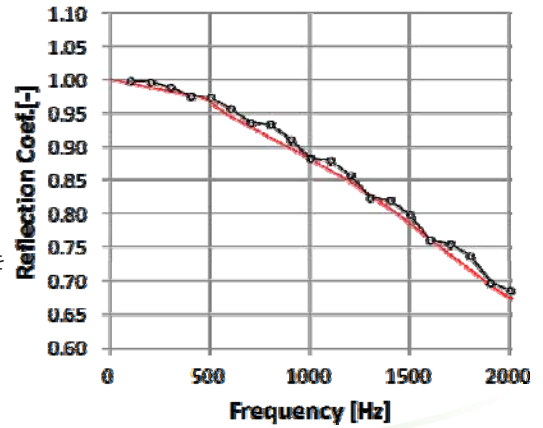
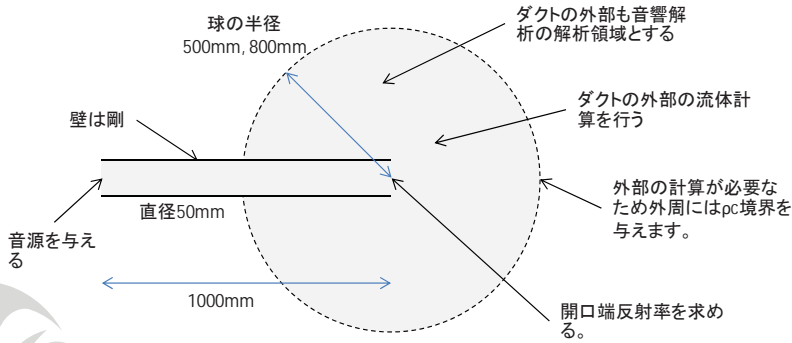
# 流れなしのダクト開口端反射率



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

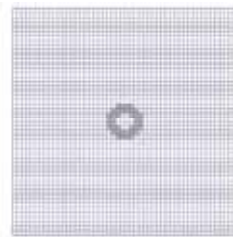
$$\theta_r = \sum_{n=1, \infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n!(n+1)!} (ka)^{2n}$$

$$\chi_r = \sum_{n=1, \infty} \frac{(-1)^n 2^{4n+6} (n+1)!(n+2)!}{(2n+2)!(2n+4)! \pi} (ka)^{2n+1}$$

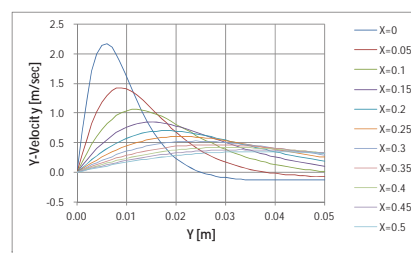
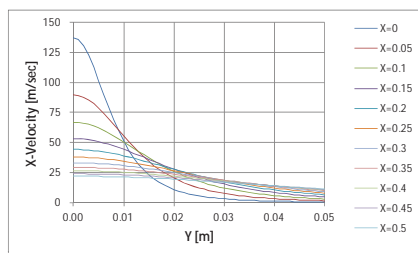


# ダクト流れの音響伝播への影響

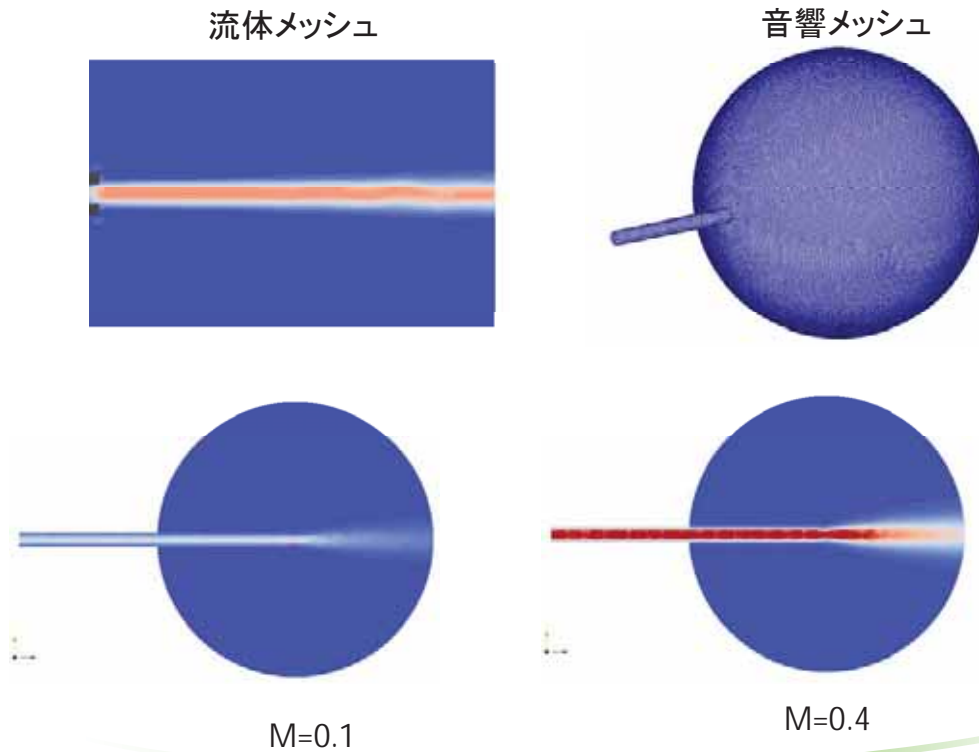
ケース1: Advance/FrontFlow/FOCUSを利用



ケース2: 解析解 (Goelrtlerの式) を利用



# 音響メッシュへの速度場のマッピング



## 反射率の結果

- 【成果】実験で確認されている1.0を超える反射率を再現でき、定性的な結果は再現できている。
- 【課題】マッハ数が高くなるとピークが高周波側にシフトする現象が再現できていない。

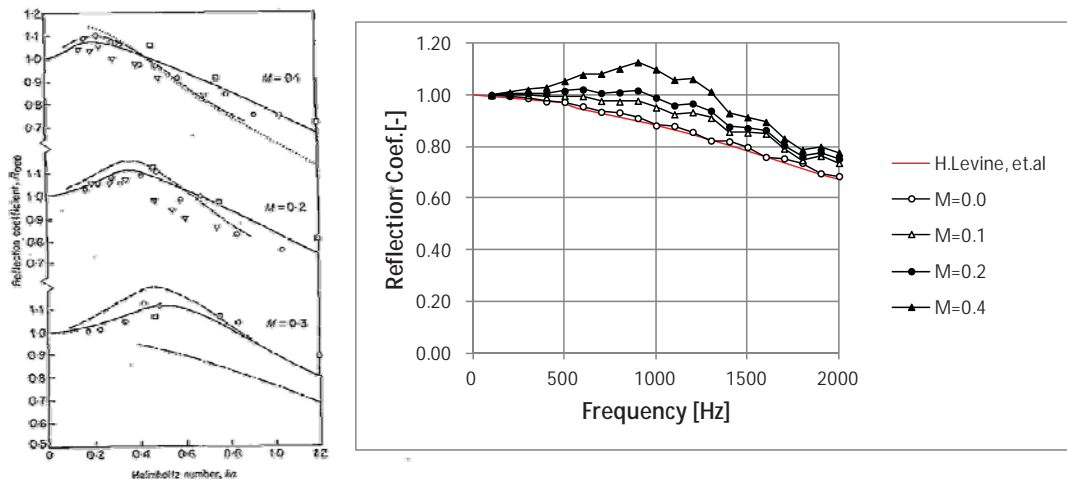


Figure 5. Comparison between theory and experiment for the plane wave reflection coefficient  $R_{00}$  as a function of  $ka$  for  $M=0.1, 0.2, 0.3$  with  $\alpha=0$ . —, Present theory; —, Savkar [6] ( $M=0.3$ ); ---, Ranzberger [10]; ···, Mechel et al. [9] ( $M=0.117$ ); □, Moore [16]; ∇, Afrodissou and Davies [11]; ○, Bento Coelho [14].

## 連成解析への取り組み

## 当社における連成解析の実績

- 当社では、構造解析、流体解析、音響解析のソフトウェアのソースコードをハンドリングできる技術を有しており、お客様の具体的な問題に対して連成解析の実績を積んできました。
  - 流体→構造; 流れによるプラント構造物の振動解析
  - 流体→音響; 流れにより発生した音源の音響解析
  - 構造→流体; 振動源の流体挙動への影響評価
  - 音響→構造; 音源の構造物強度への影響評価
  - 構造→音響; 構造物の振動に起因する音響解析
- 本資料では、構造および流体解析ソフトウェアの結果を音響解析ソフトウェアの音源として利用する構造音響および流体音響連成解析について説明します。

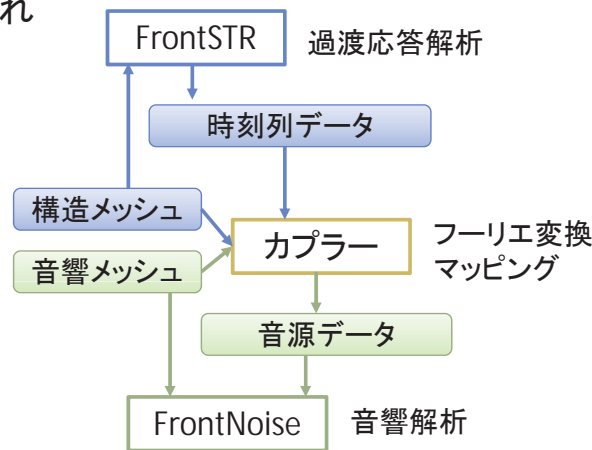
# 片方向連成の例 構造音響連成

- Advance/FrontSTR⇒Advane/FrontNoise

- 概要

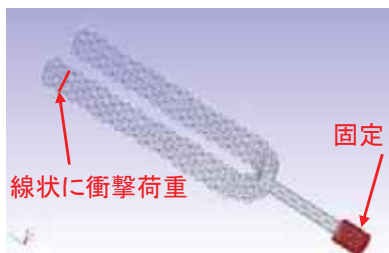
- 構造解析で求めることができた構造物表面の振動を周波数領域に変換し、音響解析の音源とする
- 構造解析領域の外側を音響解析の解析領域となる

- 解析の流れ

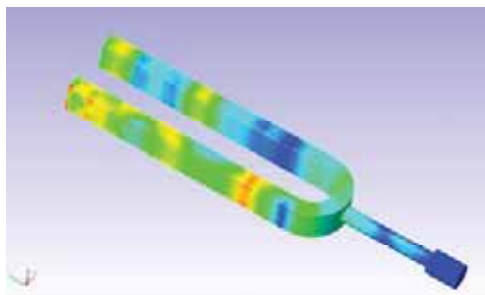


# 構造音響連成 構造解析

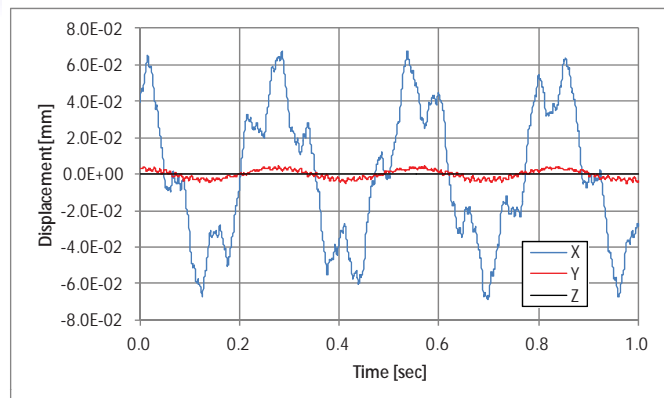
- 解析モデルと結果



棒を叩くモデル  
節点数:10447 要素数:6030  
材質:鋼  
Newmark-β法 Δt=0.0004(s)  
0.0~5.0(s)間解析し、4.0~5.0(s)を利用



変形図コンター (t=0.04)

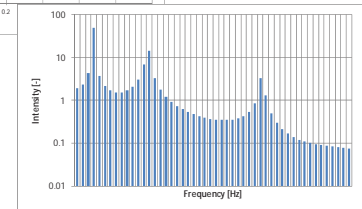
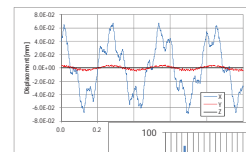
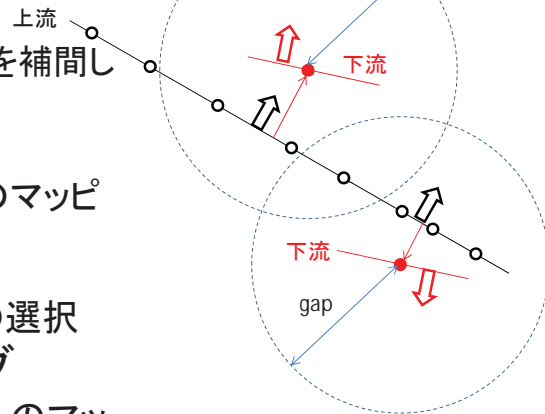


表面節点上の時刻歴応答

# 構造音響連成 カプラー

## • マッピング

- 格子系から異なる格子系に物理量を補間して渡すこと
- 面から面へのマッピング
  - 上流の面から下流の節点へのマッピング
  - ギャップの概念の利用
  - 法線方向を利用する/しないの選択
- 体積から体積へのマッピング
  - 上流の節点から下流の節点へのマッピング
  - 近接点探索、バケット法を利用
  - 数百万節点から数百万節点のマッピングで1時間程度で処理可能

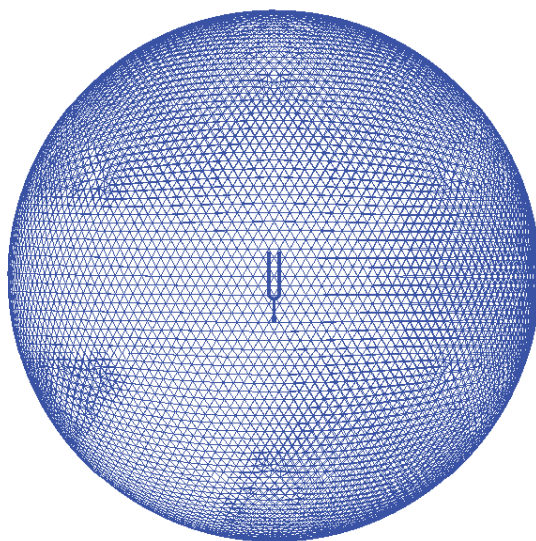


## • フーリエ変換

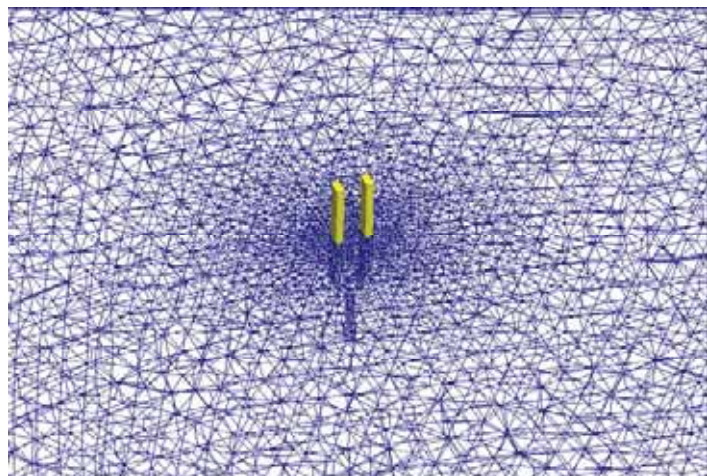
- 時刻歴データ⇒周波数データ

# 構造音響連成 音響解析

## • 音響解析モデル

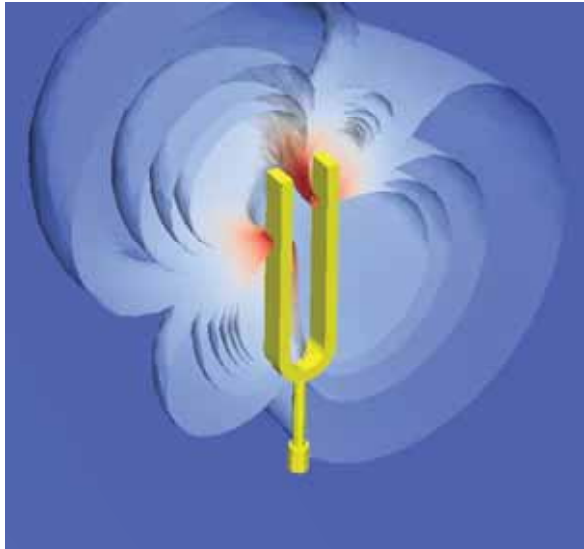


形状を模擬するため、および、音源の再現性を高めるために、音叉付近のメッシュを細分化

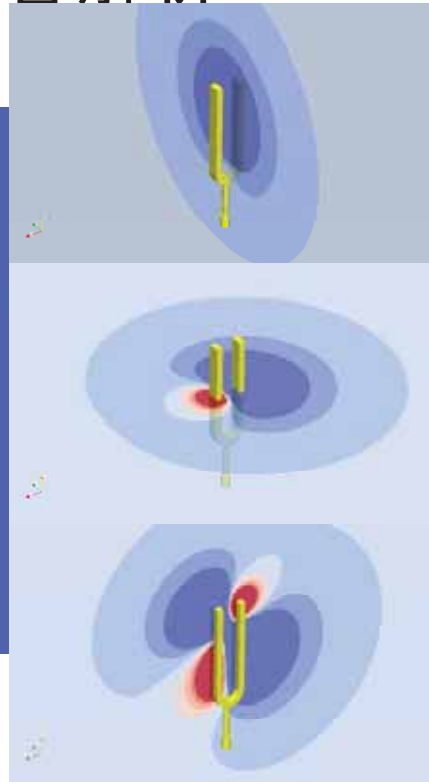


# 構造音響連成 音響解析

- 100Hz解析結果



音響速度ポテンシャル



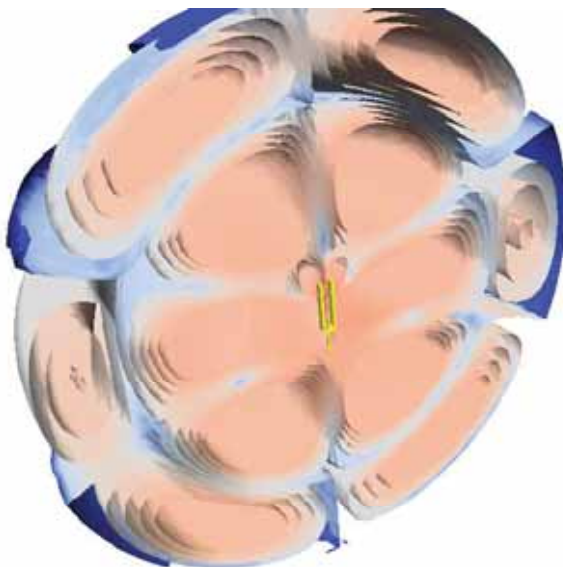
X方向断面

Y方向断面

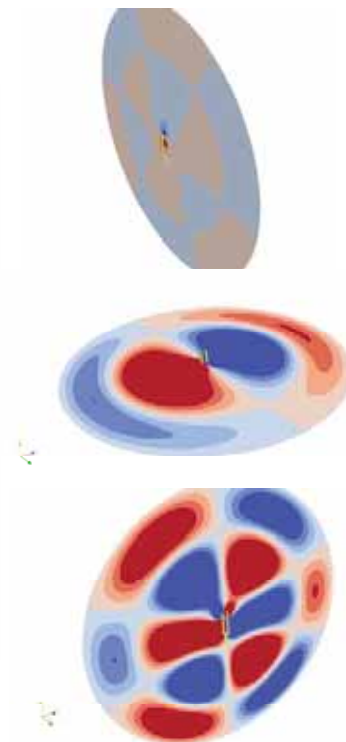
Z方向断面

# 構造音響連成 音響解析

- 1000Hz解析結果



音響速度ポテンシャル



X方向断面

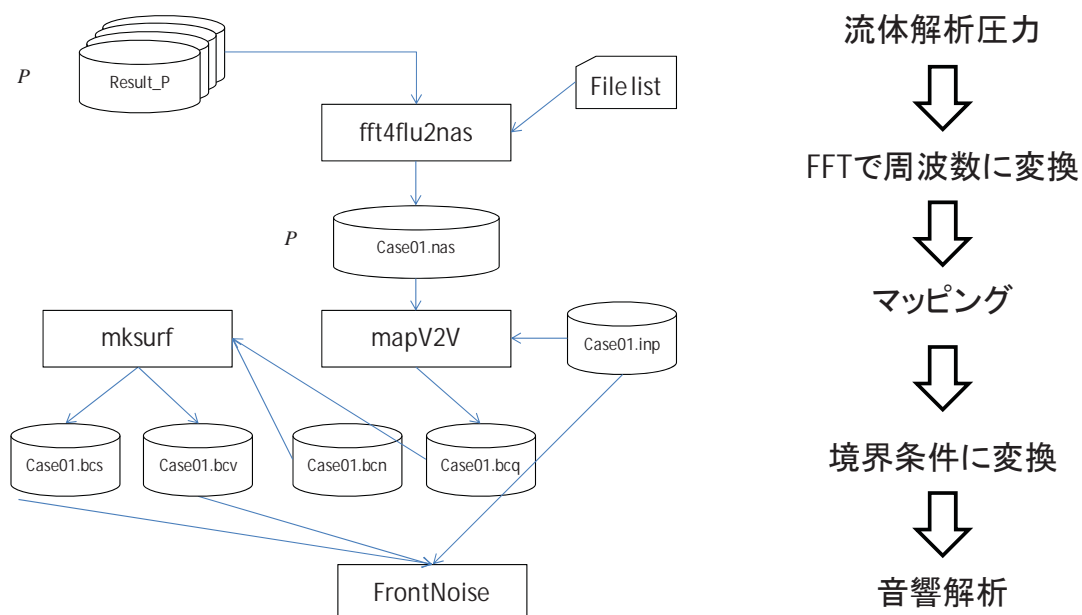
Y方向断面

Z方向断面

# 流体音響連成解析

- 流体解析の結果から得られた二重極および四重極を音源として、音響解析を実施します。
- 一般に流体解析領域を含む大きな領域を音響解析の解析領域とします。
- 流体解析の時系列計算結果を利用する。したがって、流体解析領域のすべての結果を利用すると、その中間結果ファイルが膨大な量となります。→音源の領域を絞ることができれば、その領域の情報のみを対象とする。

## 二重極音源設定のフロー



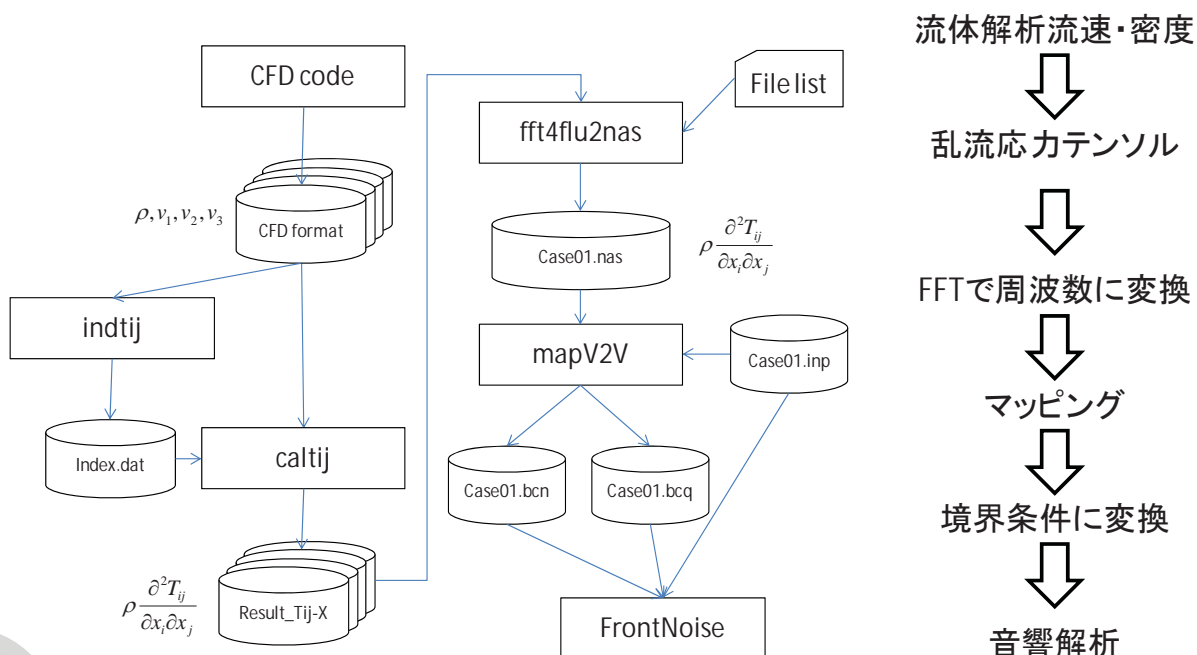
## 流体解析結果の利用(四重極)

- i. 流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/redの時系列ファイルを音源となる可能性のある場所で出力する。  $T_{ij} = \rho v_i v_j$
- ii. 速度からLighthillの乱流応力カテナソルを求める。
- iii. 乱流応力カテナソルの2階微分を求める。  $\frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$
- iv. 乱流応力カテナソルの2階微分をフーリエ変換する。
- v. 流体メッシュから音響メッシュに物理量をマッピングする。
- vi. 係数を乗じて、基礎方程式の右辺に加える。

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = -i \frac{1}{\rho c k} \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

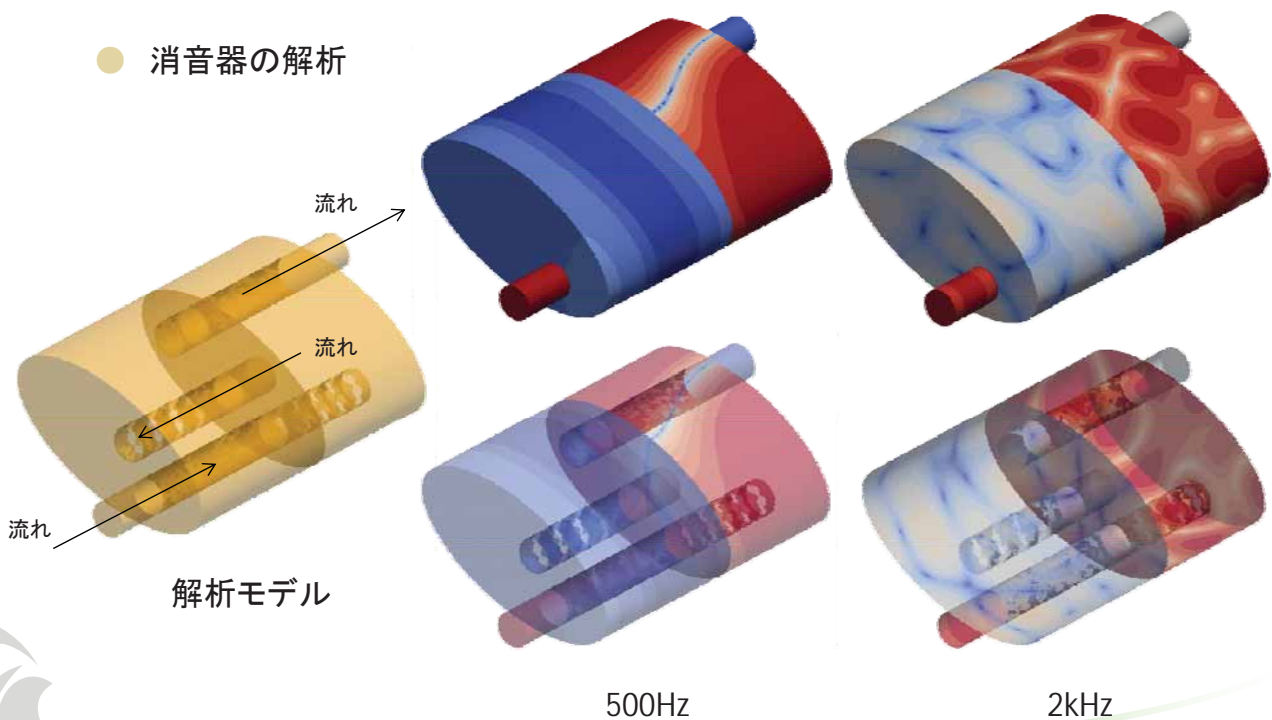
- vii. 音響解析を実施する。

## 四重極音源設定のフロー



# 流体解析結果を音源とした音響解析例

● 消音器の解析



# Advance/FrontNoise連成解析のまとめ

- ハードウェアの性能向上により、構造および流体解析を利用した音源の解析が実用的になるにすぎない、そのポスト処理としての音響解析のニーズが増えてきた。
- 当社の音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoiseでは従来から取り組んできた音響の大規模解析の適用により、流体音響連成が可能となった。
- 構造および流体音響連成の実績を重ね、その解析手順を音響解析ソフトウェアのツールとして整備した。
- 今後とも、多様な解析ソフトウェアのソースコードをハンドリングできる当社の利点を生かして、ユーザー様からのニーズに応えた連成解析を実施していく予定である。



# 音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoiseに対応した 汎用プリポストプロセッサAdvance/REVOCAP

技術第2部 徳永 健一

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise 最新動向セミナー  
2014年6月3日（火）  
アドバンスソフト株式会社

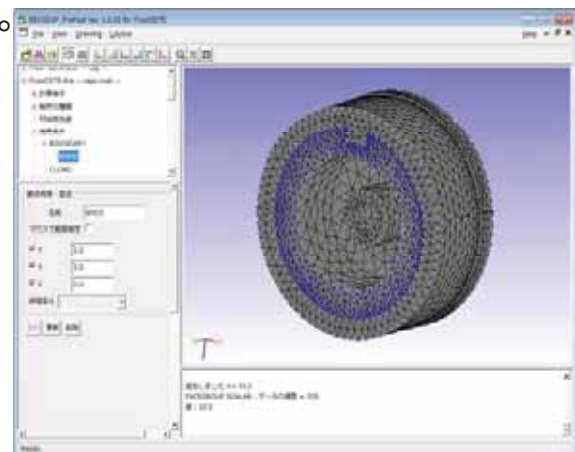
## Advance/REVOCAP\_PrePost の概要

有限要素法、有限体積法を用いた構造解析ソフト及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す。

特にAdvance/FrontFlow/redとAdvance/FrontSTRの専用入力GUIを備え、解析者の手間を削減します。

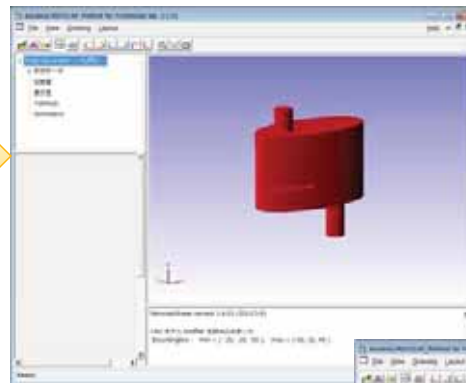
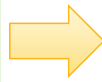
その他、Advance/FrontFlow/MP、Advance/FrontFlow/FOCUS および **Advance/FrontNoise** に対応しています。

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す。

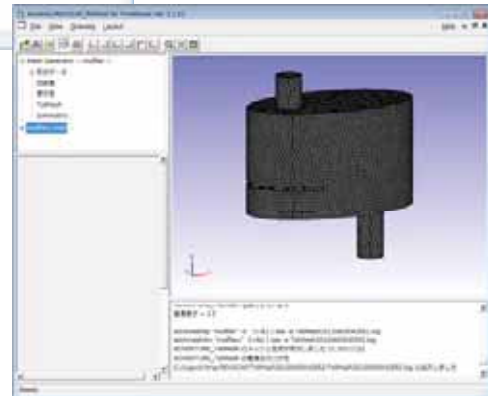
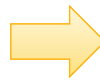




# 手順その1：形状ファイルからメッシュ生成



基準長さを与えて、四面体1次要素のメッシュを自動生成

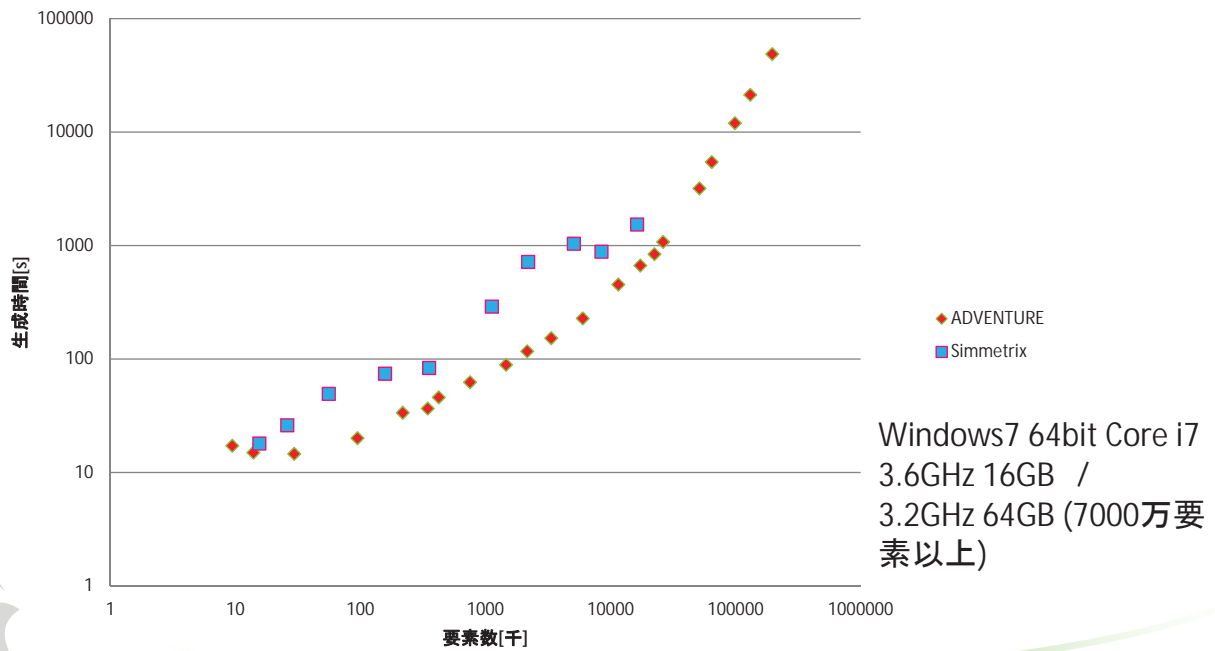


# メッシュ生成パフォーマンス

- ADVENTURE\_TetMeshとSimmetrixの2つのメッシュ生成エンジンを内包
- ADVENTURE\_TetMesh
  - 大規模メッシュの生成が可能
- Simmetrix
  - Robust なオートメッシュ生成
- パフォーマンス
  - Windows7 64bit Core i7 3.6GHz 16GB
  - 200万要素約2分で生成
  - 2000万要素を約20分で生成
  - (64GBメモリ環境で)1億要素のメッシュ生成も可能！

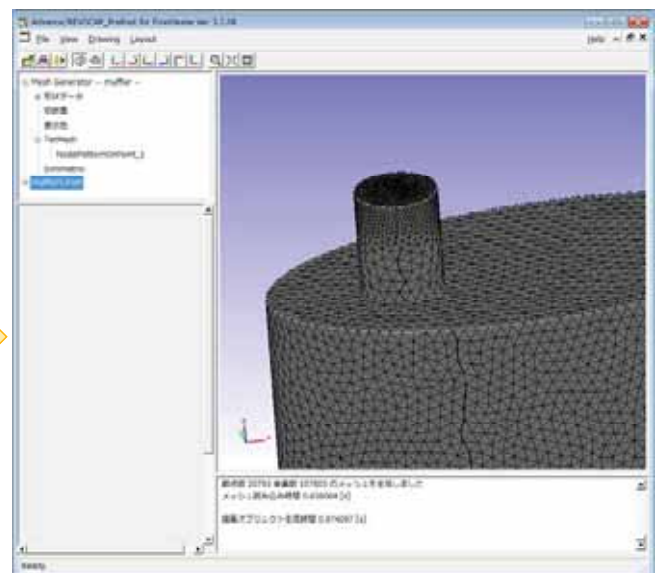
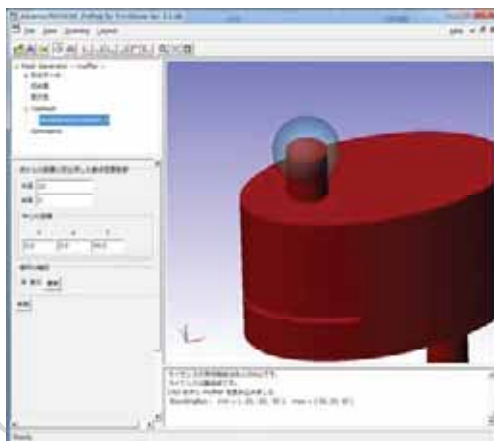
# メッシュ生成パフォーマンス(2)

メッシュ生成パフォーマンス



# メッシュ生成粗密制御

- 細かくしたい部分の領域と倍率を指定する
  - 3D画面上で確認できる



## 手順その2:境界条件を付与する

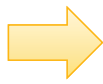
## 手順その3:境界条件を確認する

周波数	振幅
1	50.0
2	75.0
3	100.0
4	125.0
5	150.0
6	175.0
7	200.0
8	225.0
9	250.0
10	275.0
11	300.0

面名	振幅	周波数
Face0_0	0.0	0.0
Face0_1	0.0	0.0
Face0_10	0.0	0.0
Face0_11	0.0	0.0
Face0_2	0.0	0.0
Face0_3	0.0	0.0
Face0_4	0.0	0.0
Face0_5	0.0	0.0
Face0_6	0.0	0.0
Face0_7	0.0	0.0
Face0_8	0.0	0.0
Face0_9	0.0	0.0
Face0_11	0.0	0.0
Face0_12	0.0	0.0
Face0_13	0.0	0.0
Face0_14	0.0	0.0
Face0_15	0.0	0.0
Face0_16	0.0	0.0
Face0_17	0.0	0.0
Face0_18	0.0	0.0
Face0_19	0.0	0.0
Face0_20	0.0	0.0
Face0_21	0.0	0.0
Face0_22	0.0	0.0
Face0_23	0.0	0.0
Face0_24	0.0	0.0
Face0_25	0.0	0.0
Face0_26	0.0	0.0
Face0_27	0.0	0.0
Face0_28	0.0	0.0
Face0_29	0.0	0.0
Face0_30	0.0	0.0
Face0_31	0.0	0.0
Face0_32	0.0	0.0
Face0_33	0.0	0.0
Face0_34	0.0	0.0
Face0_35	0.0	0.0
Face0_36	0.0	0.0
Face0_37	0.0	0.0
Face0_38	0.0	0.0
Face0_39	0.0	0.0
Face0_40	0.0	0.0
Face0_41	0.0	0.0
Face0_42	0.0	0.0
Face0_43	0.0	0.0
Face0_44	0.0	0.0
Face0_45	0.0	0.0
Face0_46	0.0	0.0
Face0_47	0.0	0.0
Face0_48	0.0	0.0
Face0_49	0.0	0.0
Face0_50	0.0	0.0
Face0_51	0.0	0.0
Face0_52	0.0	0.0
Face0_53	0.0	0.0
Face0_54	0.0	0.0
Face0_55	0.0	0.0
Face0_56	0.0	0.0
Face0_57	0.0	0.0
Face0_58	0.0	0.0
Face0_59	0.0	0.0
Face0_60	0.0	0.0
Face0_61	0.0	0.0
Face0_62	0.0	0.0
Face0_63	0.0	0.0
Face0_64	0.0	0.0
Face0_65	0.0	0.0
Face0_66	0.0	0.0
Face0_67	0.0	0.0
Face0_68	0.0	0.0
Face0_69	0.0	0.0
Face0_70	0.0	0.0
Face0_71	0.0	0.0
Face0_72	0.0	0.0
Face0_73	0.0	0.0
Face0_74	0.0	0.0
Face0_75	0.0	0.0
Face0_76	0.0	0.0
Face0_77	0.0	0.0
Face0_78	0.0	0.0
Face0_79	0.0	0.0
Face0_80	0.0	0.0
Face0_81	0.0	0.0
Face0_82	0.0	0.0
Face0_83	0.0	0.0
Face0_84	0.0	0.0
Face0_85	0.0	0.0
Face0_86	0.0	0.0
Face0_87	0.0	0.0
Face0_88	0.0	0.0
Face0_89	0.0	0.0
Face0_90	0.0	0.0
Face0_91	0.0	0.0
Face0_92	0.0	0.0
Face0_93	0.0	0.0
Face0_94	0.0	0.0
Face0_95	0.0	0.0
Face0_96	0.0	0.0
Face0_97	0.0	0.0
Face0_98	0.0	0.0
Face0_99	0.0	0.0
Face0_100	0.0	0.0

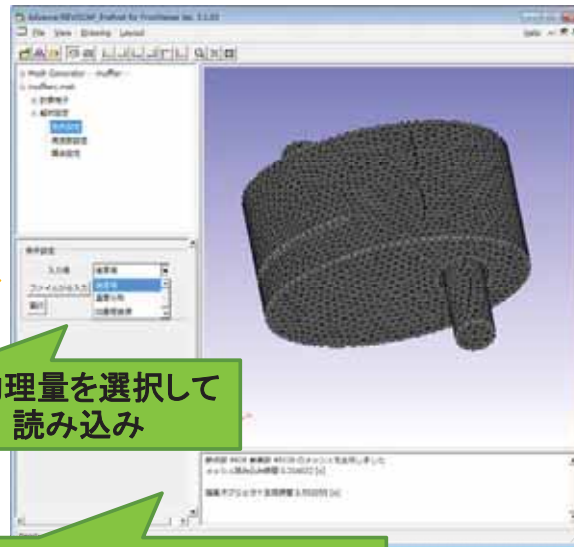
## 手順その4: 速度・温度の設定をする

流体解析の結果  
などをマッピング  
したデータ  
(AVS UCD)



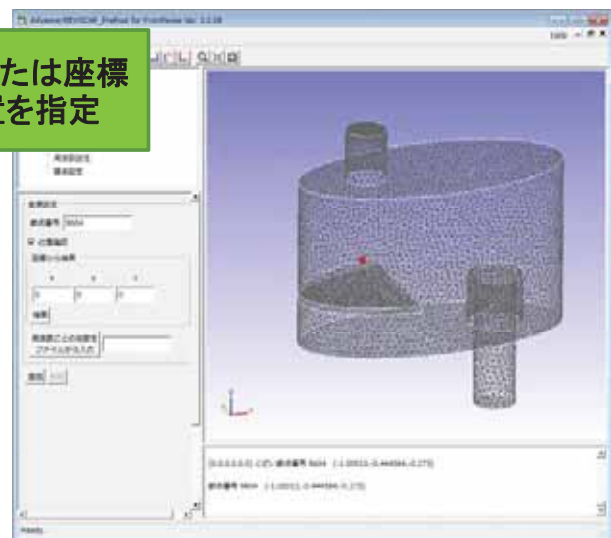
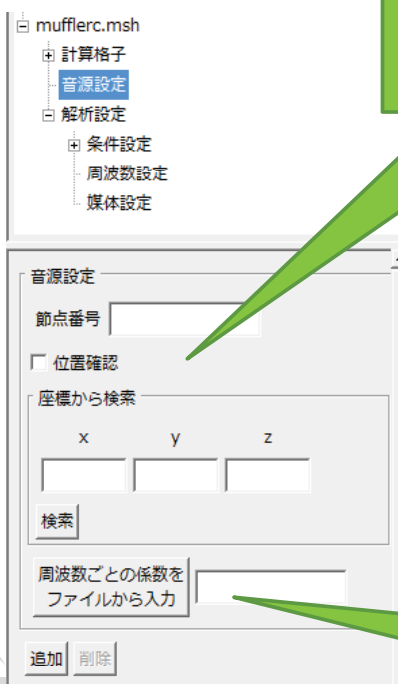
①物理量を選択して  
読み込み

②(必要に応じて)マッピング  
結果をもとに可視化



## 手順その5: 点音源の設定をする

①節点番号、または座標  
で音源の位置を指定



音源の位置を3D画面で確認することができます

②音源の周波数ごとの係数のデータ  
ファイル(csvファイル)を選ぶ

# 手順その6: パラメータの設定をする

①最大反復回数

②周波数領域

③音速・密度

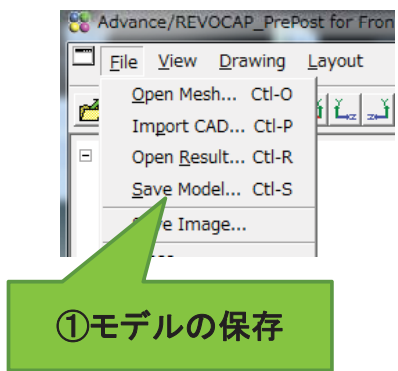
# 手順その7: 多孔質媒体の設定

①領域を選択する

③実効密度、複素音速の数値の編集と確認

②実効密度、複素音速の数値データ(csvファイル)を選ぶ

# 手順その8: 解析モデルを出力する

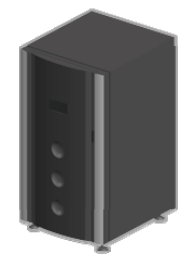
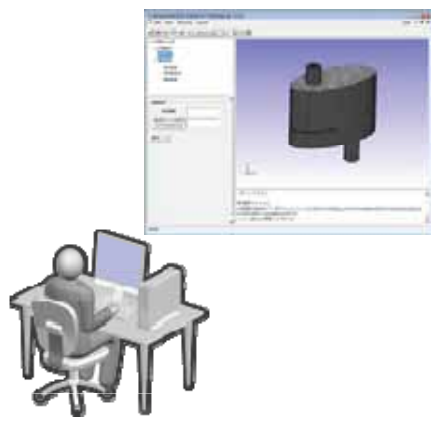


- 制御データファイル(\*.dat)
- 格子ファイル(\*.inp)
- 境界条件ファイル(\*.bcs, \*.bcv)
- 点音源ファイル(\*.bcn, \*.bcq)
- 速度ファイル(\*.vel)
- 温度ファイル(\*.tem)
- 多孔質ファイル (\*.mat)



# 手順その9: 解析を実行する

出力したファイルを計算機サーバーにコピーして、解析を実行する。



```
[シングルプロセッサ実行]
% fnfem < case01.dat

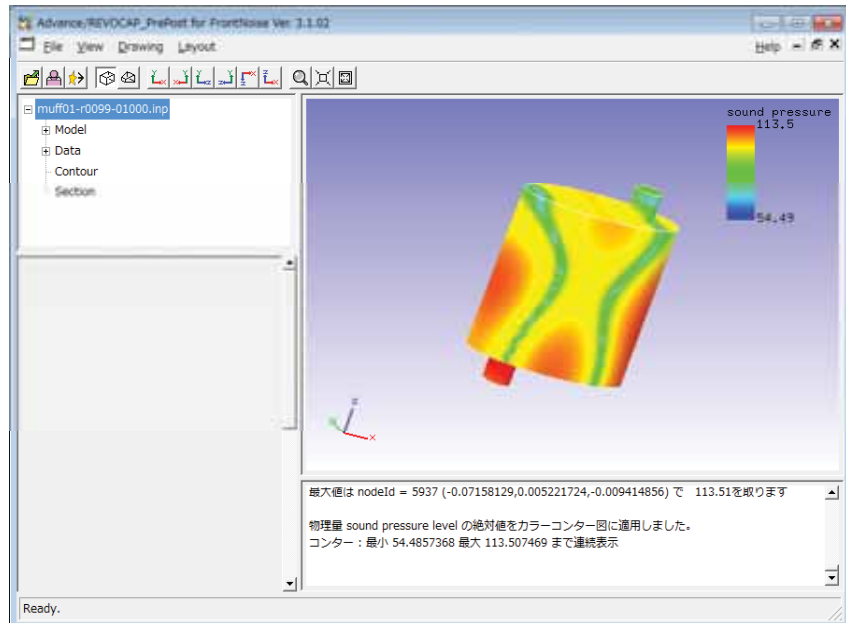
[並列実行]
% mpiexec -n 4 fnfem < case01.dat
```



# 手順その9: 結果を可視化する

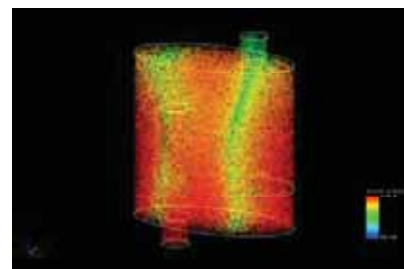
計算機サーバでの計算結果をPCにコピーして可視化します。

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ます

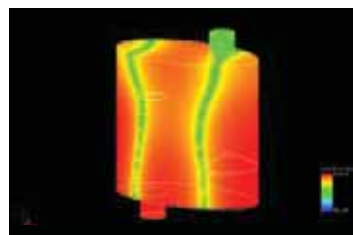


## 新規可視化機能: ボリュームレンダリング

- 連続体を不透明で自己発光する粒子群で表現します (PBVR)。
  - ポリゴンではなくて、点を描画します。
  - 描画点の個数は制御可能であるため、大規模なモデルの可視化手法として有効です。
- 従来多くの可視化ソフトでなされてきた空間の物理量の分布を不透明度で表すものとは別の方法です。



粒子数を少なくして描画すれば、大規模モデルに対しても軽量の可視化が可能



粒子数を増やすと表面コンター表示に近い可視化が可能



粒子数を変えずにリピートレベルを増やすといわゆるボリュームレンダリング的な可視化が可能

# Advance/REVOCAPの基本情報

動作環境	Windows7 (32bit, 64bit)、Windows Vista その他の OS についてはお問い合わせください
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
計算格子読み込み	FrontNoise メッシュ形式、ADVENTURE_TetMesh形式、 (その他各種のフォーマットに対応いたします。詳細はお問い合わせください。) 四面体、六面体、三角柱、四角錐
プリ処理	境界条件周波数テーブル設定機能、音源設定機能、速度場設定機能、 温度場設定機能、周波数設定機能、媒体設定機能
ポスト処理	カラーコンター、等値面、切断面、ボリュームレンダリング
推奨PCスペック	メインメモリ2GB以上 (1千万要素以上の大規模モデルを扱う場合は16GB以上を推奨します) 空きHDD500MB以上 ビデオメモリ256MB以上(大規模モデルを扱う場合は1GB以上を推奨します)

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

## 新たな取り組み：微細構造モデリング

- 大規模並列解析が一般的に利用できるようになってきた
- 産業界のニーズ
  - － 燃料電池
  - － コンクリート
  - － 繊維強化プラスチック(FRP)
- 今まで計算コストの問題から均質化、平均化して解析してきた問題を直接解析する要望が増えている
- 微細構造そのものの物理現象を解析したい
  - － 焼結
  - － 粉体の溶融
  - － セメントの中和反応

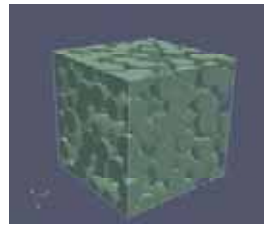
これらの背景、要望に応えるためのモデリングツールを開発

※Advance/REVOCAP の標準パッケージには含まれません

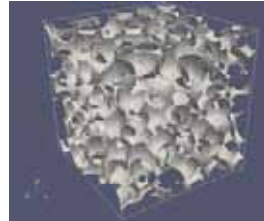
Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# モデリングツールを使った解析の一般例

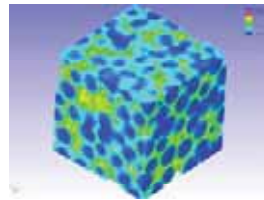
1. マクロ的な情報(粒径、体積比、アスペクト比等)から自動的に微細構造を作成する



2. 微細構造から幾何的な情報を使って形状パラメータを求める  
(屈曲度、細孔分布、接続情報、三相界面長等)



3. 構造解析、流体解析の結果から、マクロ的な量を計算する  
(熱伝導率、電子導電率等)





**警告**

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立つ用途に限定して無料配布しています。このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。