

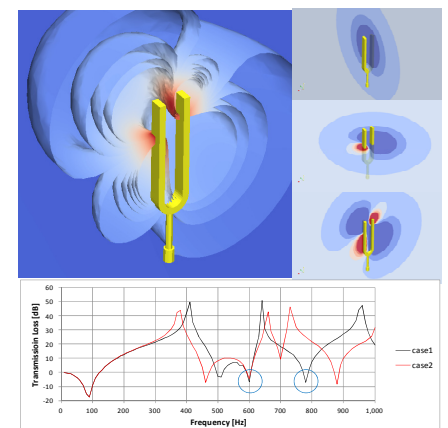
# 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise 事例および基礎セミナー

2015年7月30日(木)開催

## プログラム

13:30~13:40 (10分)	アドバンスソフト株式会社のご紹介 主催者あいさつ	営業本部長 内藤 秀晴 ..... 3
13:40~14:10 (30分)	ユーザー様 ご利用事例発表 「車室内の音響シミュレーション」 パイオニア株式会社 商品統括部 技術開発部 オーディオ開発部 長谷川 知己 様 ..... 7	
14:10~15:00 (50分)	音響解析の理論と数値計算法	取締役 松原 聖 ..... 23
15:00~15:10 (10分)	休憩	
15:10~15:30 (20分)	スパコンでの性能調査	第1事業部 尾川 慎介 ..... 49
15:30~16:00 (30分)	音響解析の原理と入出力の関係	取締役 松原 聖 ..... 57
16:00~16:20 (20分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise のための プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP のご紹介	第1事業部 徳永 健一 ..... 73
16:20~16:30 (10分)	価格および関連サービスのご紹介、質疑応答	営業部 東田 想太

memo



AdvanceSoft



# アドバンスソフト株式会社のご紹介

営業本部 内藤秀晴

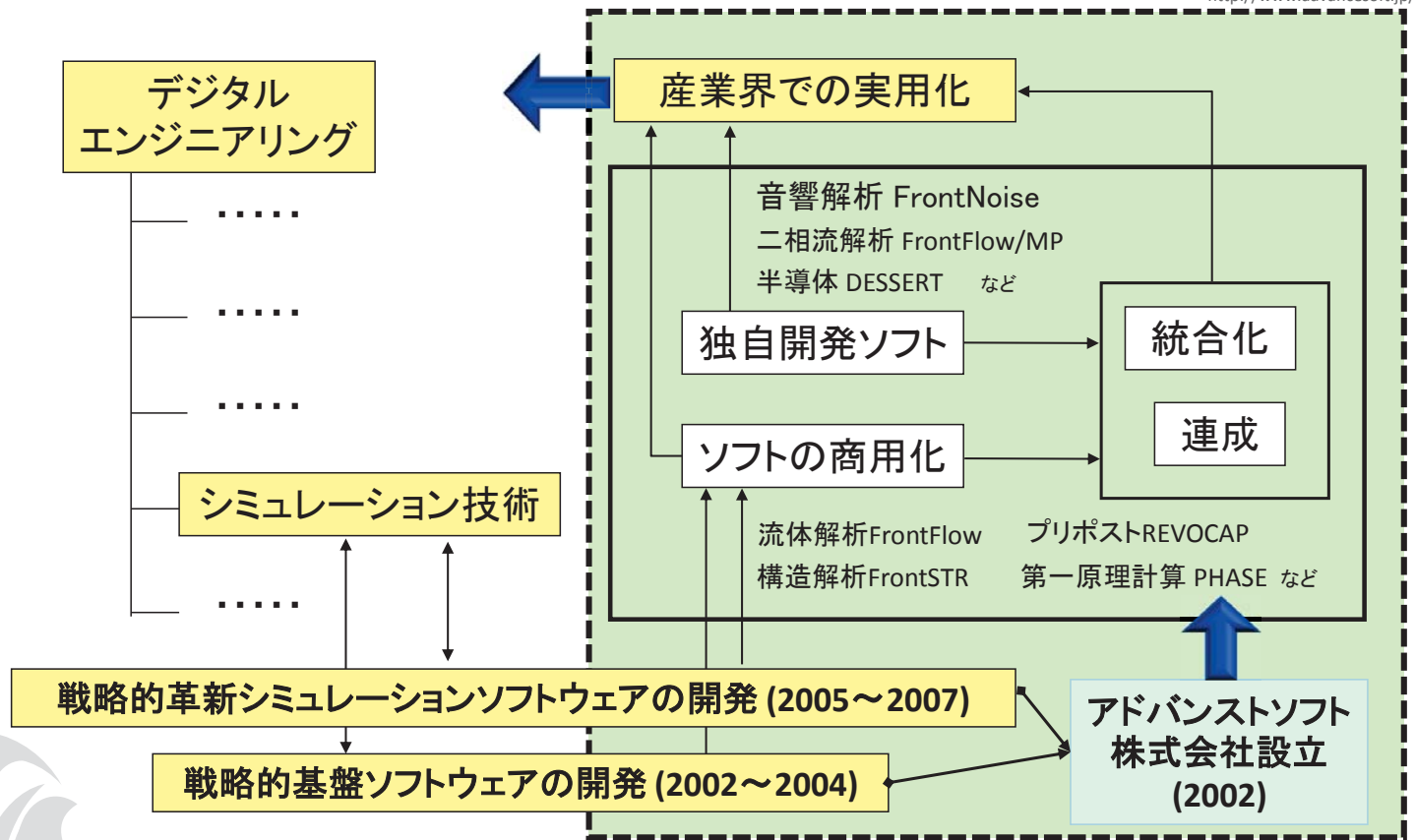
音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise 基礎セミナー  
2015年7月30日（木）  
アドバンスソフト株式会社

## 会社概要

<p><b>名称</b> アドバンスソフト株式会社 (英文社名 AdvanceSoft Corporation)</p> <p><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</p> <p><b>設立</b> 2002年4月24日</p> <p><b>資本金</b> 3,724万円</p> <p><b>社員数</b> 73名(2015年6月1日現在)</p>
---

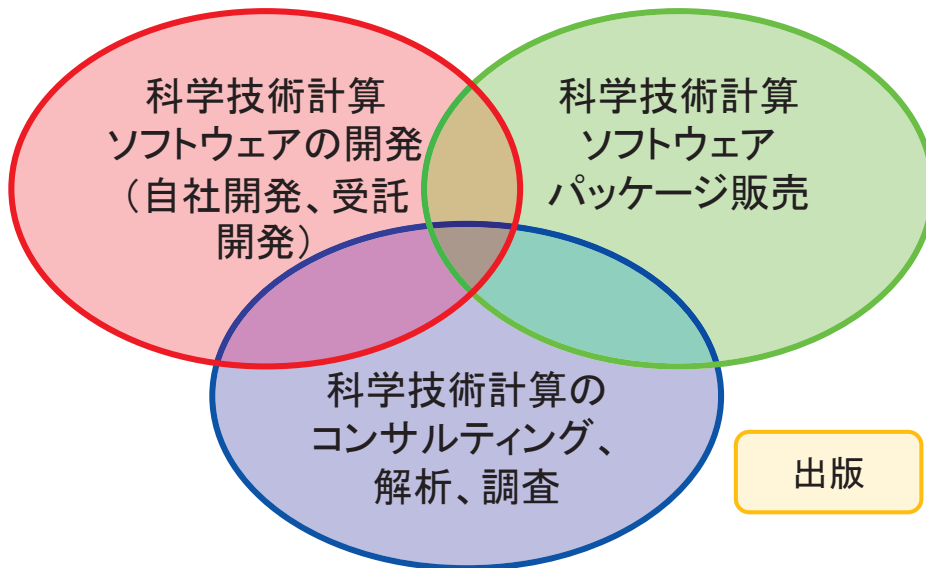
事業部	部	業務概要
第一事業部	技術第1部	ナノ材料の第一原理計算、量子化学計算
	技術第2部	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析エンジニアリング</li> <li>プリポスト、可視化システム、GUI開発</li> <li>制御系システムの開発、J-PARCプロジェクト</li> <li>次世代TCADシステムの開発</li> </ul>
第二事業部	技術第3部	次世代流体システムの開発(乱流、燃焼、化学反応等)
	技術第4部	<ul style="list-style-type: none"> <li>二相流流体システムの開発</li> <li>管路系流体システムの開発(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)</li> <li>火災・爆発に係わる防災リスク解析・開発</li> </ul>
	技術第5部	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力関連業務</li> <li>原子力・エネルギー利用に係る安全性解析</li> </ul>
—	総合企画部	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種コンサルティングサービス</li> <li>防災シミュレーション</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

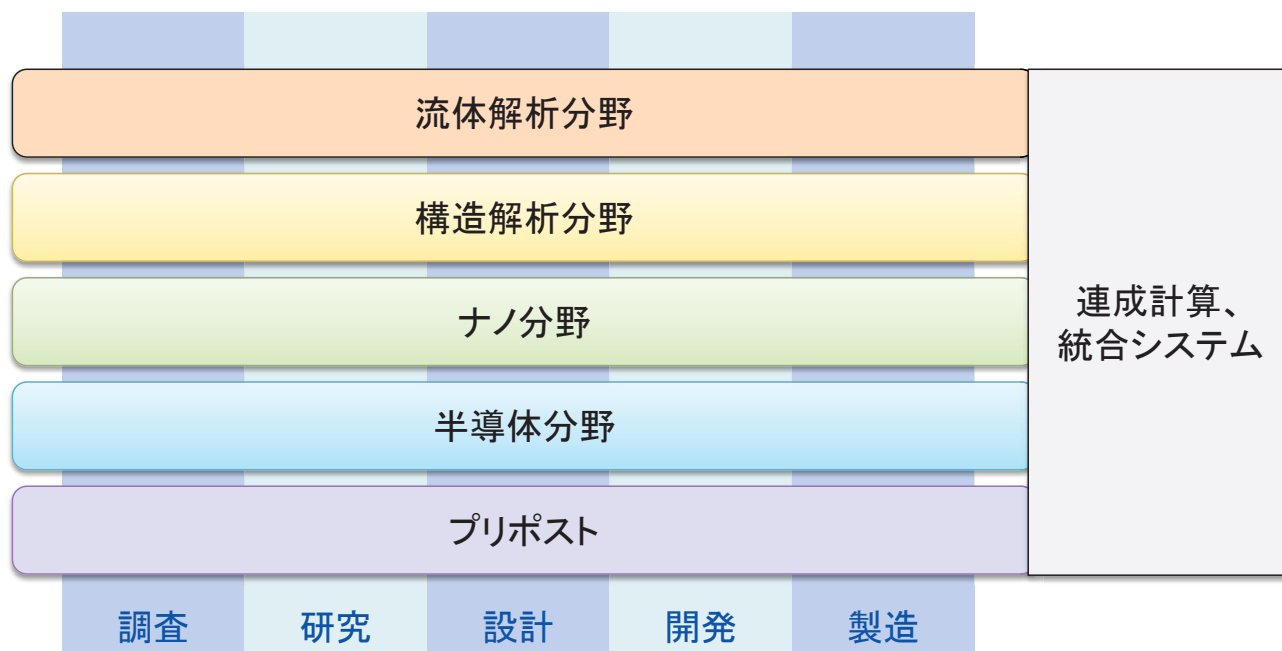


## 事業概要

### 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>



# 車室内の音響シミュレーション

2015/7/30

パイオニア株式会社

商品統括部 技術開発部 オーディオ開発部 1課

長谷川 知己

-1-

## 本日の報告内容

- 会社概要
- ソフト導入経緯
- 音響シミュレーション紹介
  - 基礎検討
  - 実用化
- 最後に

-2-

# 会社概要

商号	パイオニア株式会社 PIONEER CORPORATION	
本社	神奈川県川崎市幸区新小倉1-1 〒212-0031 電話番号 044-580-3211 (代表)	
創業	昭和13年(1938)1月1日	
設立	昭和22年(1947)5月8日	
代表取締役 兼 社長執行役員	小谷 進	
資本金	917億3,100万円 (2013年6月末)	
従業員数	19,404名 (連結ベース:2015年3月末)	
主要事業所	川越事業所 埼玉県川越市山田25-1 〒350-8555 電話番号 049-223-1111	
主な連結業績	(2015年3月期) 売上高 501,676百万円 営業利益 7,778百万円 当期純利益 14,632百万円	

<http://pioneer.jp/corp/info/profile/outline/>

-3-

# 主事業

## ◆カーエレクトロニクス事業

- カーナビゲーション、カーオーディオ/AVシステム/スピーカなど



<http://pioneer.jp/carrozzeria/?ref=header>

-4-

## ソフト導入経緯

-5-

## 期待値

### ◆大規模解析の基盤技術構築

- 音響シミュレーションの充実
  - 複数の解析手段の確保
  - 解析対象に応じた、最適な手法を適用
- 社内環境に依存しない、シミュレーション環境構築
  - 最新の外部スパコン、クラウドを利用
  - 必要な時に、必要なリソースを利用

### ◆スパコンを利用した、音響シミュレーションの実現

### ◆候補

- Advance／FrontNoise + FOCUSスパコン

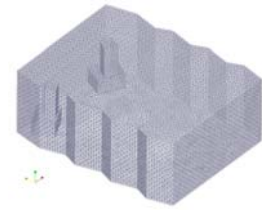
-6-

# 確認

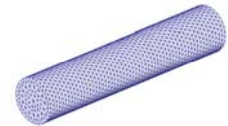
## ◆ ベンチマーク

- 精度
  - 過去計算結果と整合性がとれるか
  - 理論解と一致するか
- 仕様
  - プリ処理： 解析モデル作成方法
  - ソルバー： パフォーマンス
  - ポスト処理： 結果ファイル処理、可視化方法
- 外部リソース利用手順
  - スパコン利用手続き ~ ジョブ投入 ~ 結果ダウンロード

ベンチマークモデル



整合性確認



理論解との比較

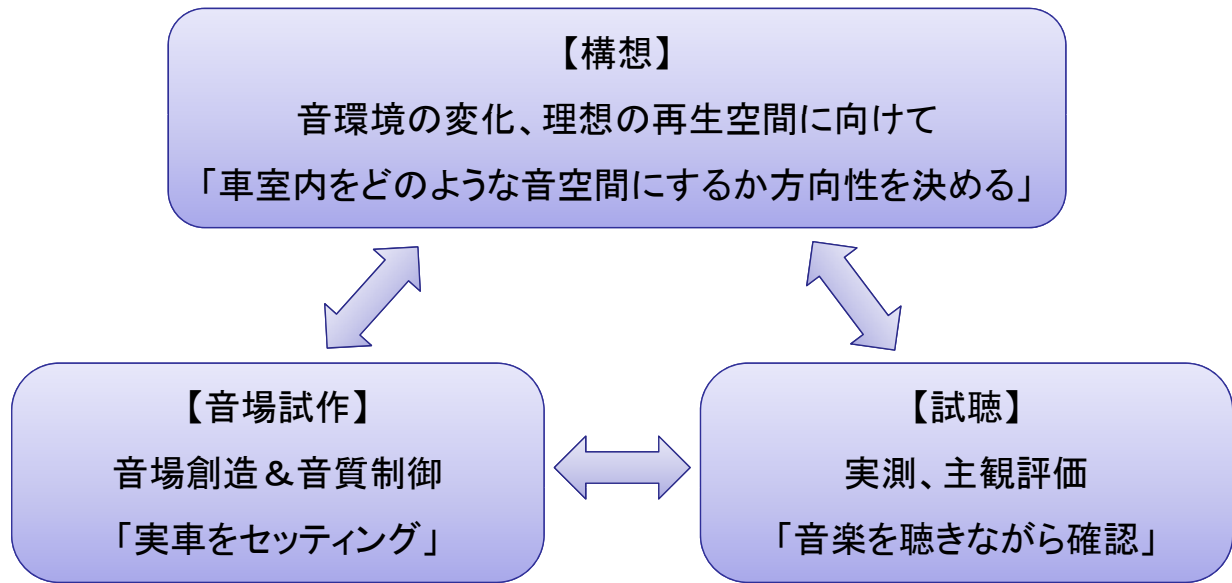
## ◆ 報告書を納品していただき、ソフトの導入に至る

-7-

## 音響シミュレーション紹介

-8-

# パイオニアにおける、車内音場創りの基本的手順



- ◆ シミュレーションを上手く使いこなすことにより、構想段階で、車やスピーカなどの実物を使わないで、検討を進めていく

-9-

## 車室内音響シミュレーションの概要

### ◆ 基礎検討

- 簡易モデルでの基礎実験（2002年～） \*
  - 物性値の取り扱い検討

### ◆ 実用化

- 実車への適用検討（2005年～） \*
  - CADモデル化
  - 精度確認
- 設計への適用（2007年～）
  - スピーカ配置等の検討に利用
- 人体形状モデルの導入（2014年～）

### ◆ ソフトウェア

- Advance/FrontNoiseの利用（2013年後半～） \*

\*の一部をご紹介します

-10-

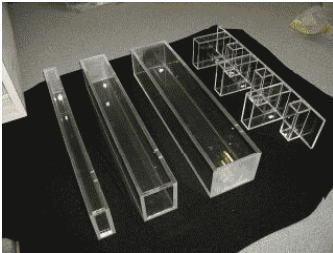
# 基礎検討

## ◆ 物性値の取り扱い

簡易模型(1/2サイズ:アクリル製)



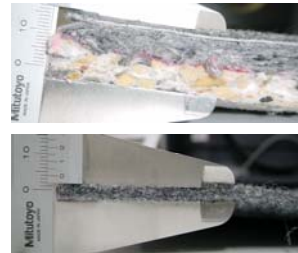
部材



座席模型



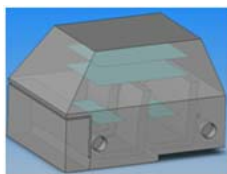
床カーペット



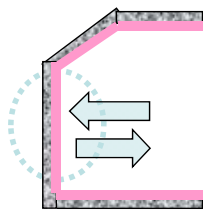
-11-

## 壁面の扱い

■ 適度な吸音率を設定すると、精度が改善

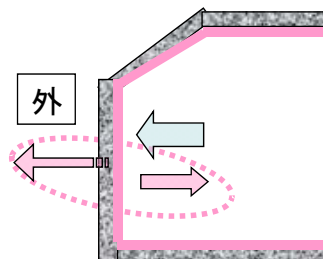


壁面  
(アクリル製)



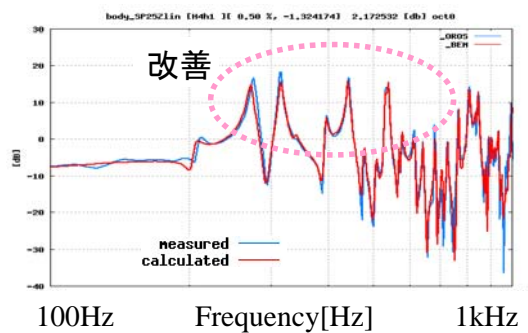
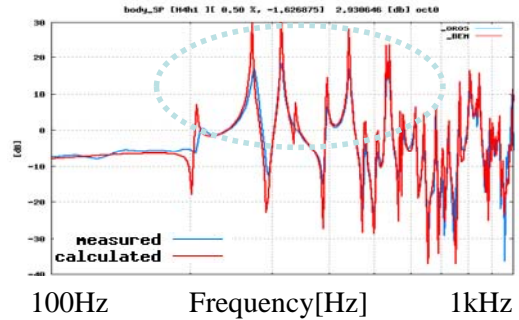
完全反射

完全  
反射



透過  
と損失を  
考慮

青:実測 赤:解析

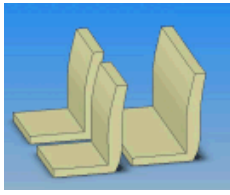


-12-

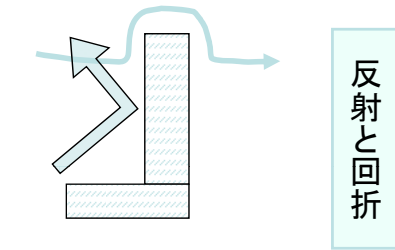
# 座席の扱い

- 音の透過の影響が大きい場合、座席を媒質として扱くと、精度が改善

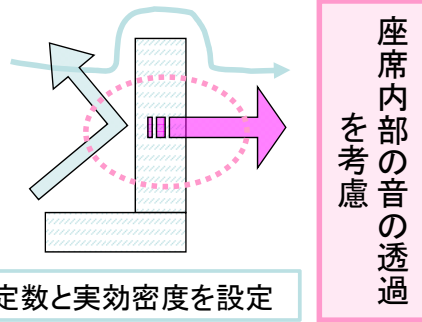
青:実測 赤:解析



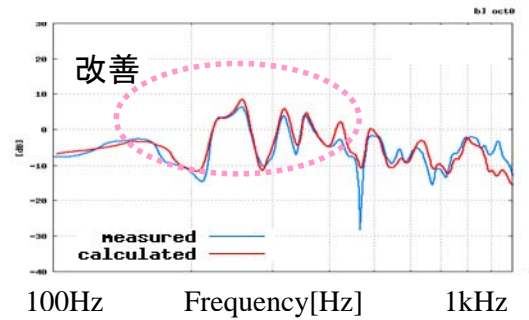
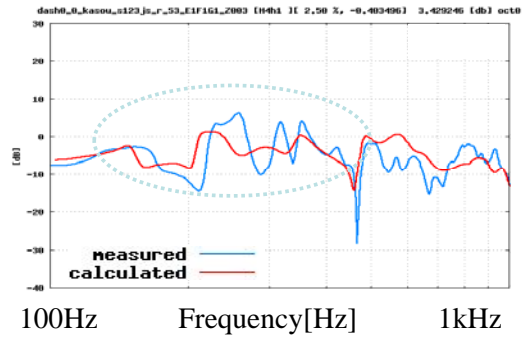
座席模型  
(ウレタン製)



表面に音響インピーダンス設定



媒質に伝播定数と実効密度を設定

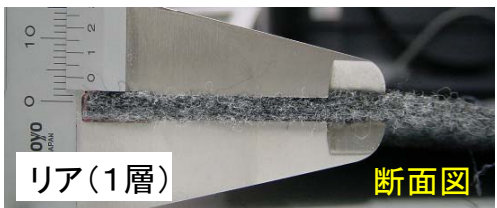


# 床材の扱い

- 適切な物性値の設定が困難な場合、一律の吸音率を設定



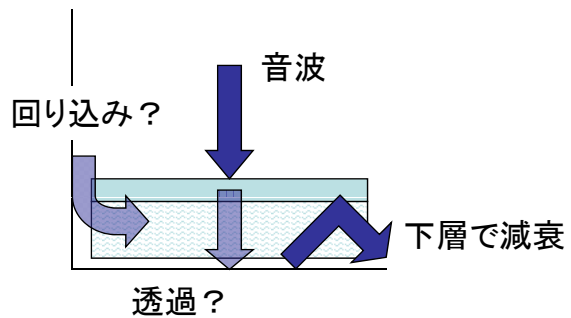
フロント(4層)



リア(1層)

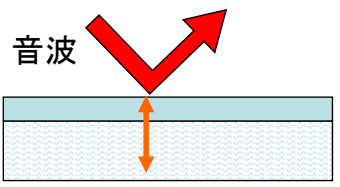
断面図

床カーペット  
(多層構造)



適切な物性値を設定するのは困難

一律の吸音率を設定

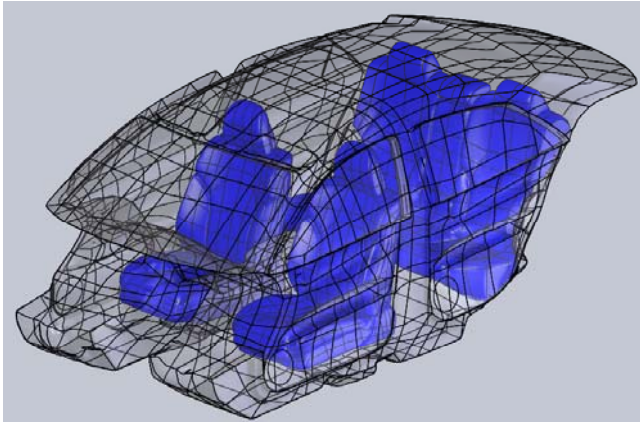


# 実用化

## ◆ 実車への適用

- 車室内、座席形状を計測
- <実車> ⇒ 3D-CADモデル化
  - 非接触型3次元形状測定器

3D-CADモデル



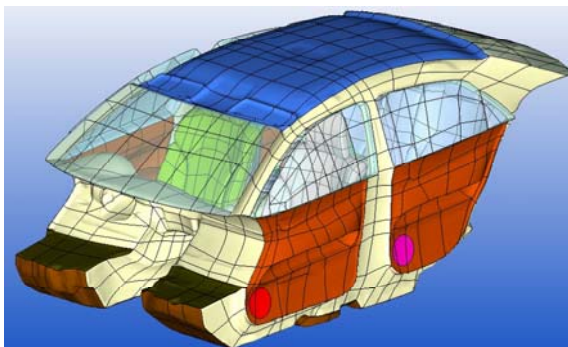
車室内の写真(イメージ図)



-15-

## 解析条件設定

- 境界条件 …… 基礎検討を元に、物性値を設定  
解析モデル



実際の座席

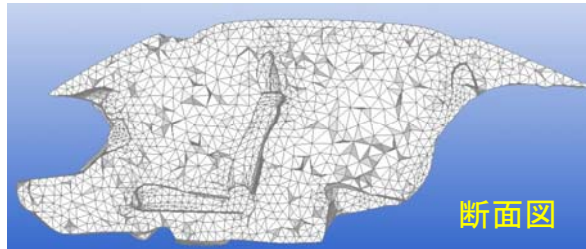
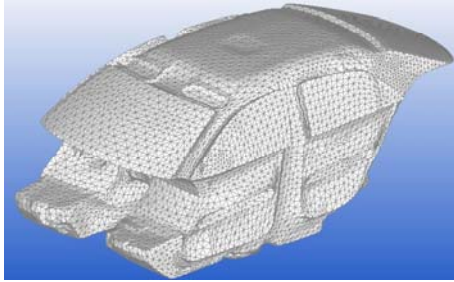


境界条件	物性値 (音響インピーダンス) 音源 (速度一定加振)
窓、トリム、天井、床、ピラー等	透過・損失を考慮
座席	吸音性を考慮
足元	ダッシュボード裏への音の周り込みによる、エネルギー損失を考慮
音源(スピーカ面)	一定速度加振

-16-

# 解析モデル作成

- メッシュ生成 … 有限要素法用にメッシュ生成  
4面体1次要素 (50mmメッシュ)モデル



- 解析周波数に応じて、メッシュを細分化する

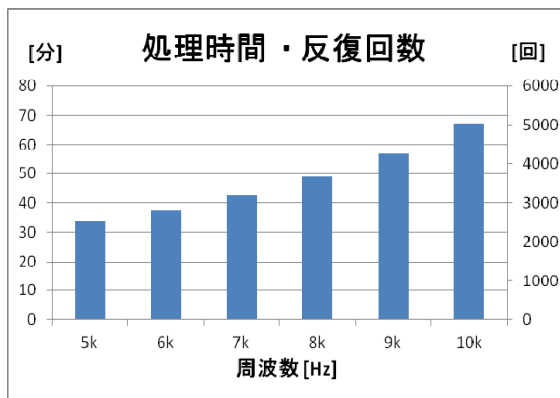
細分化回数 (メッシュサイズ)	節点数	要素数	解析周波数[Hz]
ベース(50mm)	4万	20万	~1.25kHz
1回(25mm)	30万	160万	~2.5kHz
2回(12.5mm)	220万	1250万	~5kHz
3回(6.25mm)	1720万	1億	~10kHz

メッシュ細分化ツール  
refineコマンドを利用する

-17-

# 計算

- ジョブ投入 (6.25mmモデル) ~10kHz計算  
(例) FOCUSスパコン (Dシステム、6ノード、120並列) 計算ログ



## ソルバー

Advance/FrontNoise Ver. 4.3  
設定(環境変数)  
FNFEM\_GMRES = 300  
FNFEM\_SOLVER = 36  
FNFEM\_RELTOL = 1.0e-6

## FOCUSスパコン(Dシステム)

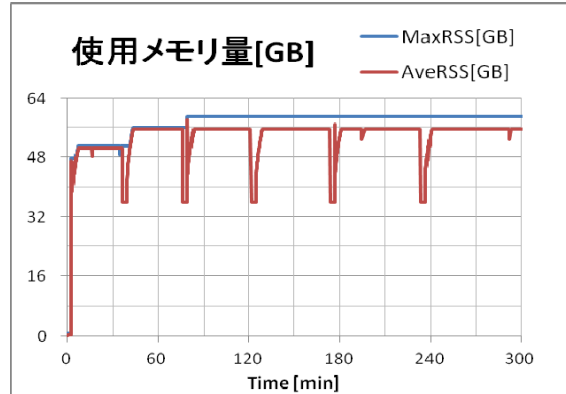
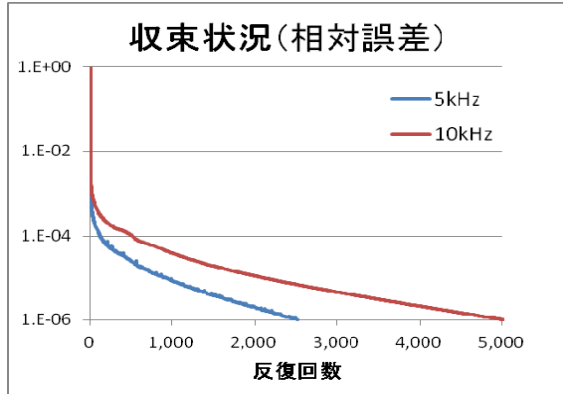
Intel Xeon E5-2670 v2 (2.5GHz)  
× 2CPU(計20コア)/ノード  
64 GB/ノード  
Infiniband-FDR(56Gbps) × 1/ノード

	処理時間	情報
Total Time	310分	6周波数計算 (Dシステム、6ノード・120並列)
Input	3分	入力ファイルサイズ(.inp): 7GB
Solver	290分	性能: 0.80秒 / iter.
Output	17分	出力ファイルサイズ(.rsl): 600MB/freq.

-18-

# 計算

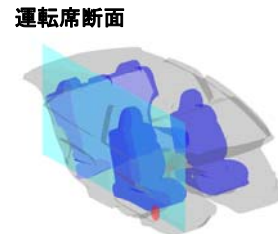
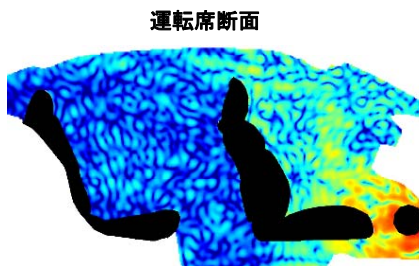
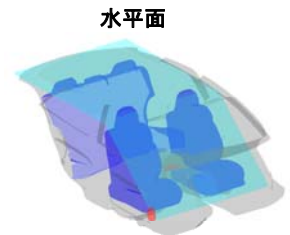
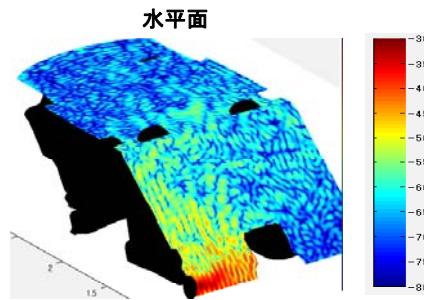
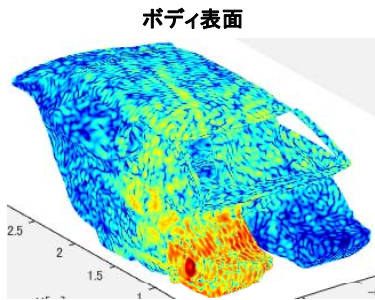
- ジョブ投入（6. 25mmモデル）～10kHz計算  
 (例) FOCUSスパコン（Dシステム、6ノード、120並列） 計算ログ



**FOCUSスパコン（物理メモリ使用量）**  
 sstatコマンド(ジョブステータス情報の表示) 利用  
 MaxRSS: ジョブ全てのタスクの最大値  
 AveRSS: ジョブ全てのタスクの平均値  
 情報を取得する

# 可視化

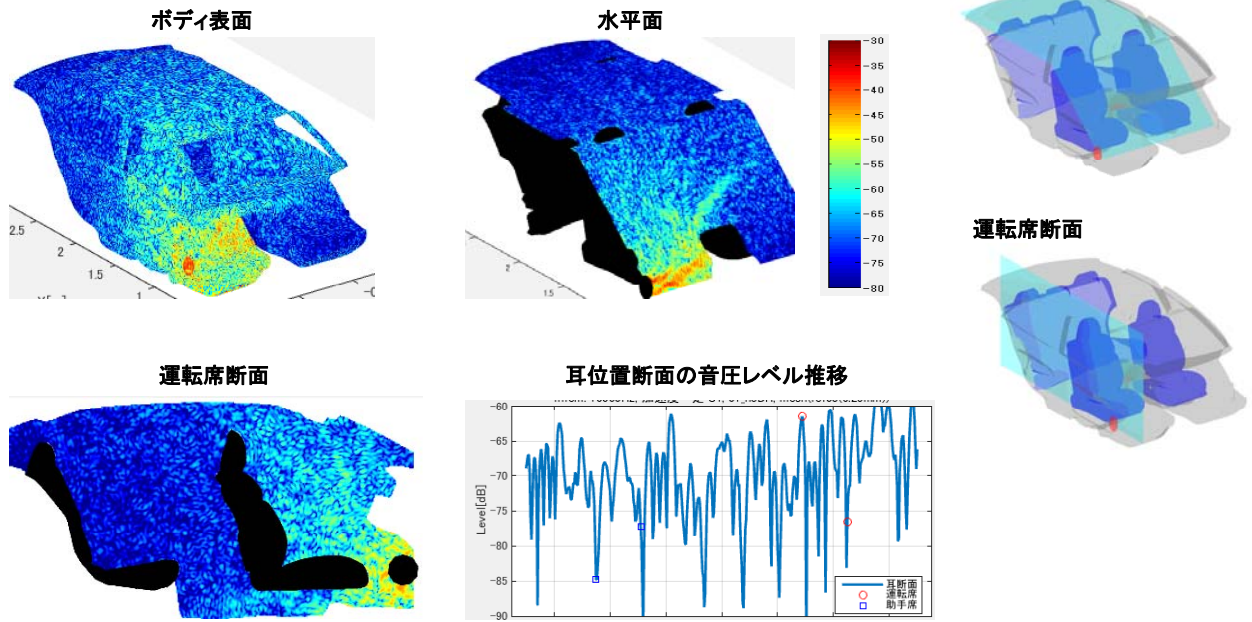
- 結果の可視化（5kHz）  
 FR面加振（加速度一定） 音圧分布 と推移グラフ



# 可視化

## ■ 結果の可視化 (10kHz)

FR面加振(加速度一定) 音圧分布 と推移グラフ



-21-

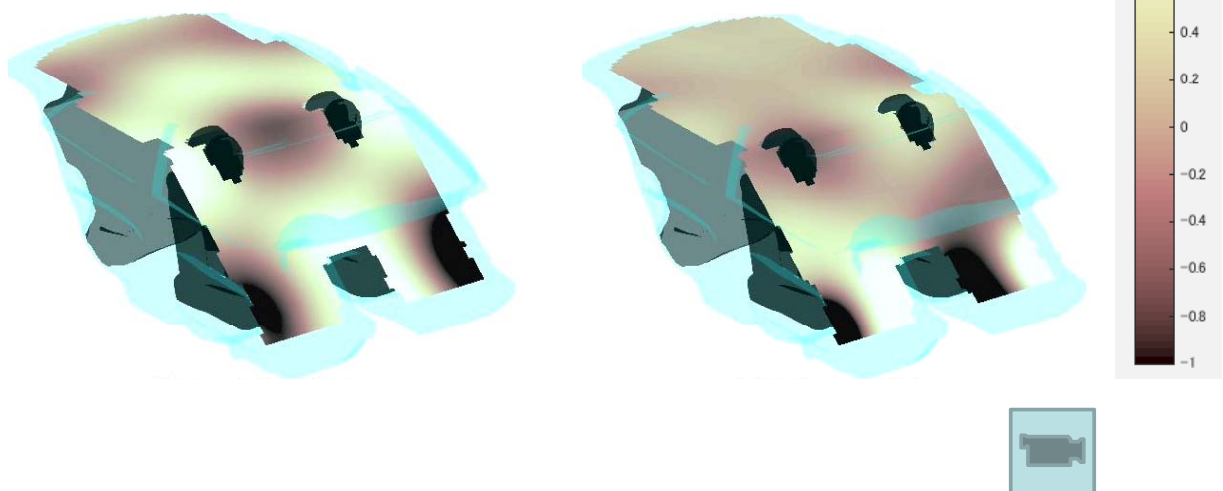
# 可視化

## ■ 音の伝播の様子 (デモ)

信号処理前後の音の伝わり方の違いを振幅で表示

左右のスピーカを同時に再生

運転席に同時に音が届くように再生



◆ 車室内をどのような音空間にするか方向性を練る

-22-

## 最後に

—23—

## 技術サポート

### ◆ 一覧 (Advance/FrontNoise)

- 音圧の符号、境界の法線方向の向きについて
  - 境界要素法と定式化に違いがある (マニュアルに記載いただく)
- 反復解法が収束しない
  - GMRESパラメータ、前処理手法を変える (ご提案いただく)
- 計算途中でエラー
  - ノード数とプロセス数をモデル規模に応じて設定 (カット&トライ)
- その他
  - 使い方、各種コマンドの修正・機能追加等、サポートしていただきました

—24—

# 期待する事

## ◆ 一覧 (Advance/FrontNoise)

- ソルバー
  - 必要メモリ量削減、反復解法収束の強化
  - 外部音響放射解析の実現
- プリポスト機能
  - 必要メモリ量の見積もり機能
  - ログ出力の充実
  - 簡易可視化機能
- 動作環境
  - 様々なクラウド環境での実行
  - 従量課金制への対応、など

-25-

# 車室内の音響シミュレーション

## ◆ まとめ

- ソフト導入
  - スパコンを利用した、音響シミュレーションを実現
- 音響シミュレーション紹介
  - 基礎検討
    - ✓ 壁面、座席、床材の物性値の取り扱いを決定
  - 実用化(実車への適用)
    - ✓ 形状測定により、3D-CADデータ化
    - ✓ 解析モデル作成 ~ 計算
    - ✓ 可視化による、結果の評価を実施

## ◆ シミュレーションを用いた、スピーディな検討が可能となる

-26-

ご清聴ありがとうございました

-27-

## 参考

### ◆ 学会発表、投稿等

- 2005年5月 (社)自動車技術会 春季学術講演会
  - 今西、長谷川 『境界要素法と実測による車室内音場解析』
- 2006年5月 (社)自動車技術会 春季学術講演会
  - 長谷川、今西 『境界要素法と実測による車室内音場解析(第2報)』
- 2008年 VOL.18 NO.1,パイオニア技術論文
  - 長谷川、今西 『車室内音場シミュレーション技術の開発』
    - ✓ [http://pioneer.jp/corp/crdl\\_design/crdl/rd/18-1.php](http://pioneer.jp/corp/crdl_design/crdl/rd/18-1.php)
- 2015年 (財)日本オーディオ協会 JASジャーナル3月号 (Vol.55 No.2)
  - 太田 【特集:カーオーディオ】『車内音場創りを支える基盤技術』

### ◆ 外部リソース

- FOCUSスパコン 公益財団法人 計算科学振興財団
  - <http://www.j-focus.or.jp/>

-28-

以上

—29—

【製品説明会】音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise 事例および基礎セミナー  
2015年7月30日(木)開催  
発表資料(ver.3.0) 提出版  
パイオニア株式会社、長谷川 知己  
最終更新日: 2015/7/22

—30—



# 音響解析の理論と数値計算法

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

## 引き続き、当社からの説明内容

- 14:10～15:00  
→ 音響解析の原理と数値計算法
  - 15:10～15:30  
→ スパコンでの性能調査
  - 15:30～16:00  
→ 音響解析の原理と入出力データ
  - 16:00～16:20  
→ プリポストのご紹介
  - 16:20～16:30  
→ 各種ご案内
- ↑ ↓ 一般的な説明
- ↑ ↓ 【トピックス】  
スパコンとAdvance/FrontNoise
- ↑ ↓ 前半内容とAdvance/FrontNoise  
入出力データとの関係
- ↑ ↓ Advance/FrontNoiseの使い方

# 内容について

- 基礎方程式
  - 波の方程式、フーリエ変換、周波数領域、速度場、温度場
- 境界条件
  - 粒子速度、音圧、インピーダンス
- 音源
  - 点音源、面音源、線音源
- 数値解法
  - 有限要素法、線形方程式
- 音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoiseの機能

## 1. 基礎方程式

## 出発点 ; 波の方程式

### ■ 成分ごとの表示

$$\frac{dP}{dt} + \kappa \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

$$\rho \frac{du}{dt} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

$$\rho \frac{dv}{dt} + \frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

$$\rho \frac{dw}{dt} + \frac{\partial P}{\partial z} = 0$$

### ■ ベクトルでの表示

$$\frac{dP}{dt} + \kappa \cdot \text{div}(u) = 0$$

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

### □ 室温空気では

$$\rho = 1.24 [\text{kg} / \text{m}^3]$$

$$c = 3.43 \times 10^2 [\text{m} / \text{sec}]$$

$$\kappa = \rho c^2$$

$$\kappa = 1.41 \times 10^5 [\text{kg} / \text{msec}^2]$$

## 基礎方程式 (時間領域)

### 時間領域での基礎方程式

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

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

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

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

# 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

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

※ φの添え字のνを省略した

# 定式化に関する符号に注意

項目	Advance/FrontNoise	別の定式化
参照した文献	Stephen Kirkup, "The Boundary Element Method in Acoustics," Integrated Sound Software(1998)	城戸健一, "基礎音響工学," コロナ社(1990)
基本とする式	$\rho \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \text{grad}(P) = 0$	$\frac{\partial P}{\partial t} + \kappa \cdot \text{div}(\mathbf{V}) = 0 \quad \kappa = \rho c^2$
フーリエ変換	$\mathbf{V} = \sum_j \mathbf{v}_j \exp(-i\omega_j t)$ $P = \sum_j p_j \exp(-i\omega_j t)$	$\mathbf{V} = \sum_j \mathbf{v}_j \exp(i\omega_j t)$ $P = \sum_j p_j \exp(i\omega_j t)$
vとpの関係	$i\omega\rho v = \nabla p$	$i\omega\rho v = -\nabla p$
速度ポテンシャルの表現	$v = \nabla \phi \quad p = i\omega\rho\phi$	$v = -\nabla \phi \quad p = i\omega\rho\phi$
右進行波	$\phi = B \exp(ikx)$	$\phi = A \exp(-ikx)$
左進行波	$\phi = A \exp(-ikx)$	$\phi = B \exp(ikx)$
右進行波に対するインピーダンス	$Z = \frac{p}{v} = \frac{i\omega\rho A \exp(ikx)}{ikA \exp(ikx)} = \rho c$	$Z = \frac{p}{v} = \frac{i\omega\rho A \exp(-ikx)}{-(-ikA \exp(-ikx))} = \rho c$
外向きインピーダンス		$\rho c$
BEMで利用される内向きインピーダンス		$-\rho c$

# 基礎方程式 (周波数領域、速度なし)

## 周波数領域での基礎方程式

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

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

## 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 (周波数領域、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

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

M.S.Howe, "Theory of Vertex Sound", Cambridge, 2003

$$\Psi(x, t) = \sum_{\nu=1, \infty} \varphi(x) e^{-i\nu t} \quad v_0 = (u, v, w)$$

$$(1 - M_x^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + (1 - M_y^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + (1 - M_z^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}$$

$$M_x = \frac{u}{c}$$

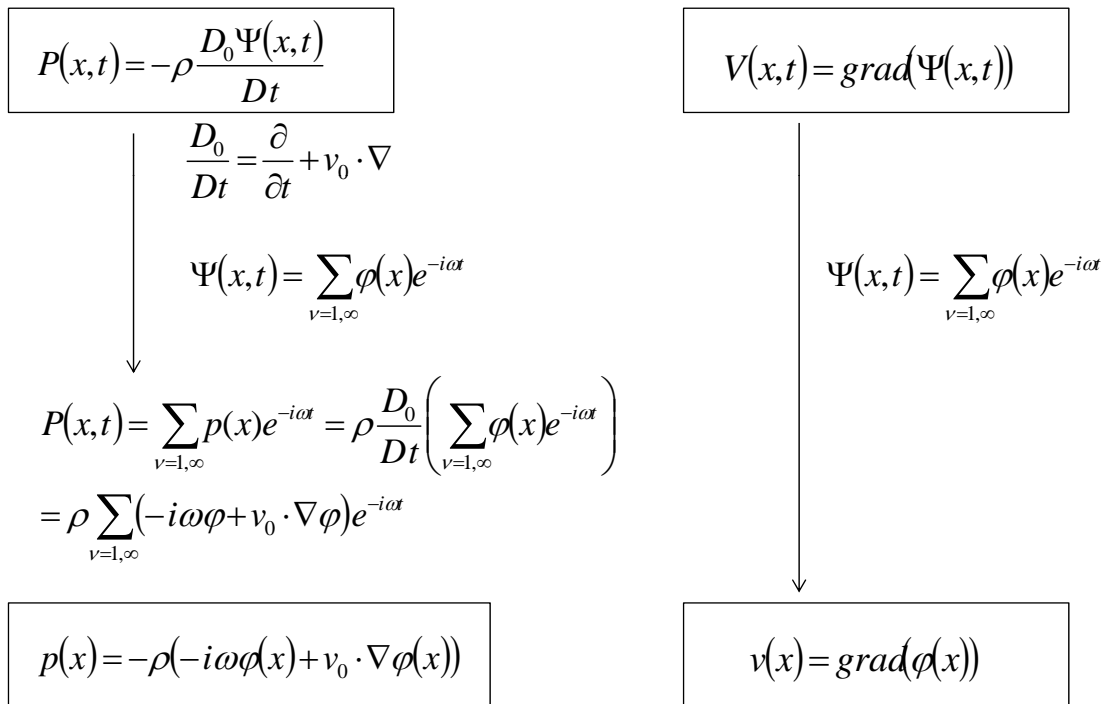
$$- \left( 2M_x M_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} + 2M_y M_z \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial z} + 2M_z M_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial x} \right)$$

$$M_y = \frac{v}{c}$$

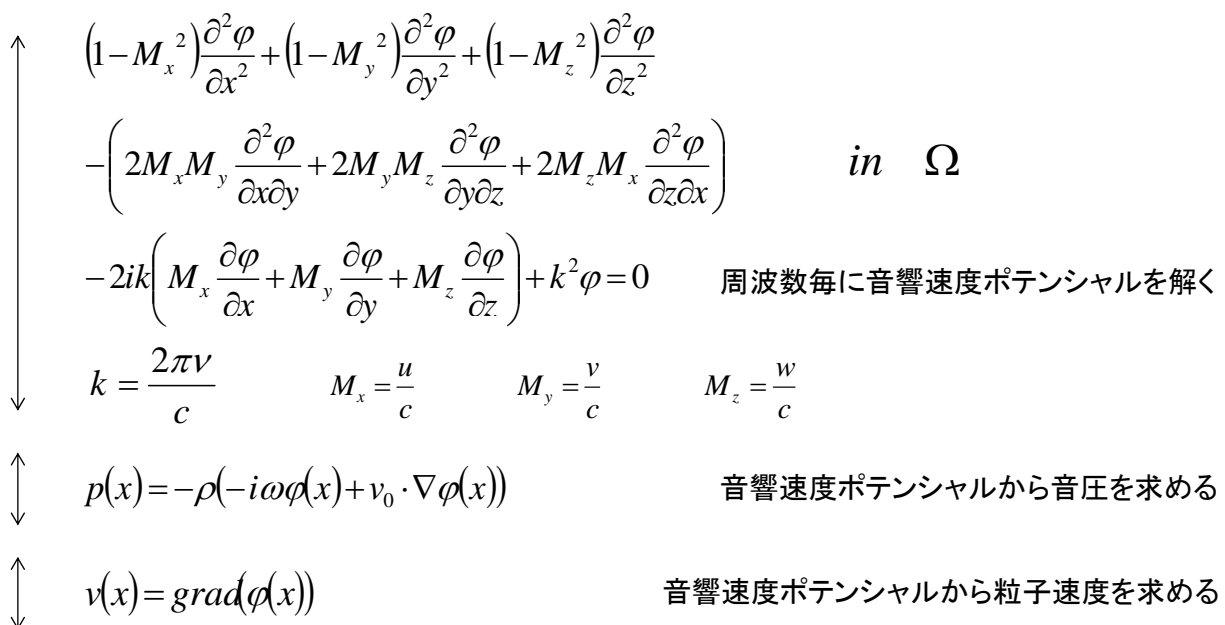
$$- 2ik \left( M_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + M_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + M_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + k^2 \varphi = 0$$

$$M_z = \frac{w}{c}$$

# 粒子速度と音圧(周波数領域、速度あり)



# 基礎方程式(周波数領域、まとめ)



※ 温度が分布を持つ場合には音速cが場所毎に変化する。

## 【参考】多孔質媒体の解析機能

- 一般的に、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。
- Advance/FrontNoiseでは、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)毎に指定する機能があります。
- Advance/FrontNoiseでは、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。

## 【参考】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。

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

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

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

## 【参考】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。

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

## 2. 境界条件

## 境界条件の種類

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ればいいのか？

- 境界での音源を音圧で与える
- 境界での音源を粒子速度で与える
- 境界での音源を粒子変位 or 粒子加速度で与える
- ◆ 境界のインピーダンスを与える
- ◆ 境界を完全反射とする
- ◆ 境界を完全吸収(無反射)とする

## 境界条件の利用方法

- 境界での音源
  - 境界での音源を音圧で与える。⇒スピーカ-の音源や、流体音響連成における壁面の圧力として音源を与える場合に利用する
  - 境界での音源を粒子速度で与える。⇒壁面の振動を与える場合や、構造音響連成において壁面の振動条件を与える場合に利用する。
  - 境界での音源を粒子変位または粒子加速度で与える⇒。利用方法は上記粒子速度と同じ。
- 境界の反射条件
  - インピーダンスを与える境界条件⇒吸音面等に利用する。
  - 完全反射の境界条件⇒反射面に利用する。有限要素法では何も境界条件を指定しなければ完全反射境界となる。
  - 完全吸収(無反射)の境界条件⇒出口境界や外部境界に利用する。

## 境界条件一覧

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

境界条件	$\alpha(x)$	$\beta(x)$	$f(x)$	備考
音圧	$i\omega\rho$	0	$-p_i(x)$	面音源
粒子速度	0	1	$v_i(x)$	面音源
粒子変位・加速度	0	1	$-i\omega u_i(x), -\frac{1}{i\omega}a_i(x)$	面音源
インピーダンス	$i\omega\rho$	$-Z$	0	吸音壁等
完全反射	0	1	0	デフォルト
完全吸収(無反射)	$i\omega\rho$	$\rho c$	0	$\rho c$ 境界

## 音圧の境界条件

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

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。

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

両辺を比較する。

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

混合境界条件に形式的に書き換えるとなつぎの通り。

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

## 粒子速度の境界条件 $\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n} = f(x)$

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。

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

境界の法線方向で両辺を比較する。

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

混合境界条件に形式的に書き換えるとなつぎの通り。

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

## 粒子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。

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

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

$$v_i(x) = -i\omega u_i(x)$$

速度の境界条件  
に入れる。

加速度も同様に下記の通り。

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

## インピーダンスを与える境界条件

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。

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

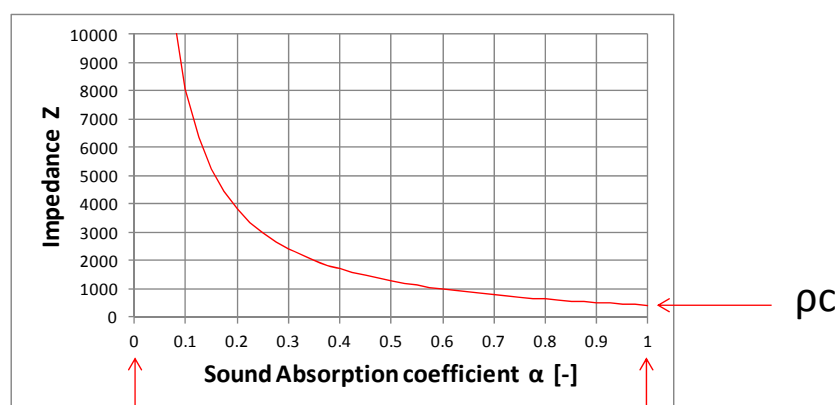
混合境界条件に形式的に書き換えるとつぎの通り。

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

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

## 【参考】吸音率 $\alpha$ と反射率 $R$ とインピーダンス $Z$

$$\alpha = 1 - R \quad R = \frac{Z - \rho c}{Z + \rho c} \quad \begin{array}{l} \rho = 1.24 [kg/m^3] \\ c = 3.43 \times 10^2 [m/sec] \end{array}$$



完全反射

吸収(無反射)

## 完全反射の境界条件 $\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n} = f(x)$

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。

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

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

※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。すなわち、何も指定しなければ、完全反射の境界条件となる。

## 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。

## 3. 音源

## 音源の種類

- **点音源**
  - 音源の大きさが波長に比べて十分に小さい音源
  - 点音源から放射された音波は球面状に伝播
  - 各点の音の強さは、音源からの距離の2乗に反比例する
- **線音源**
  - 音源の厚みが波長に比べて十分に小さい線状の音源
  - 無限に長い均一な線音源から放射された音波は円筒状に伝播
  - 各点の音の強さは、音源からの距離に反比例する
- **面音源**
  - 平面的な広がりをもった音源
  - 無限に広い均一な面音源から放射された音波は平面状に伝播
  - 各点の音の強さは、減衰しない

# 点音源の定式化

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

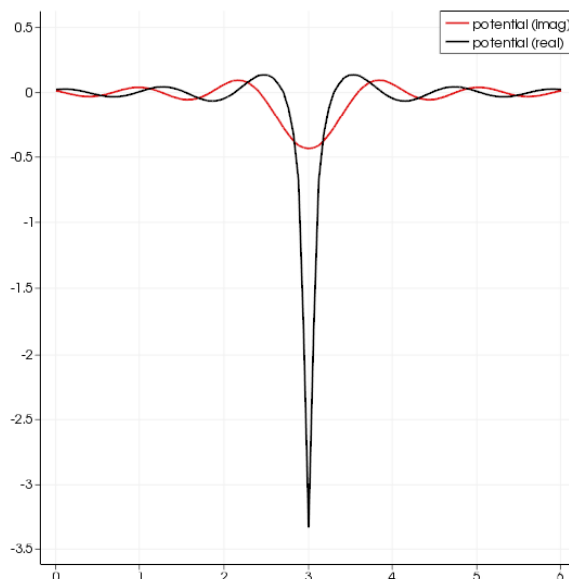
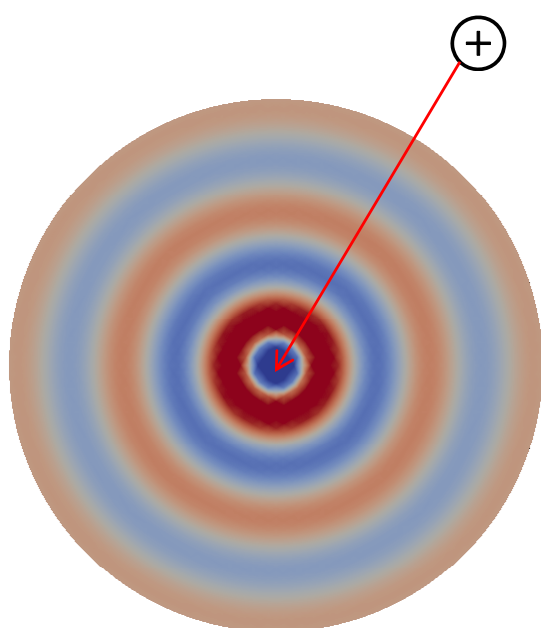


$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x - x_0)$$

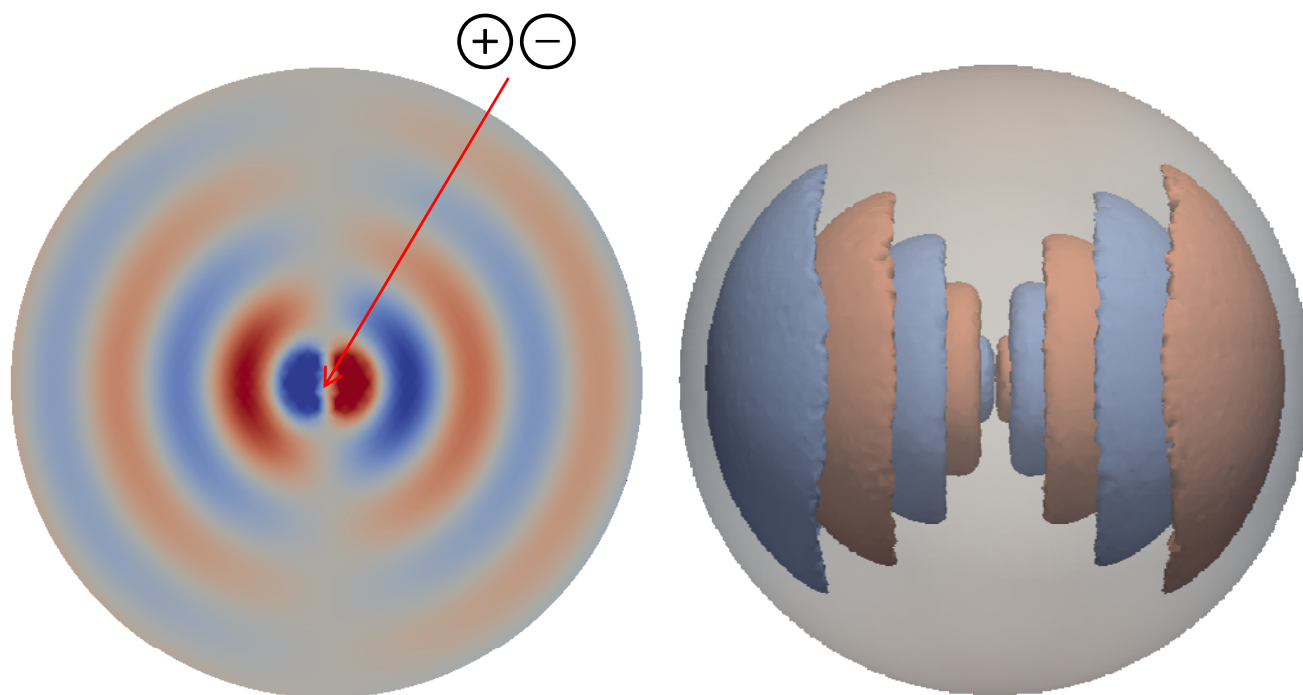
$q_0$  は体積速度であり、単位は  $m^3 / \text{sec}$

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

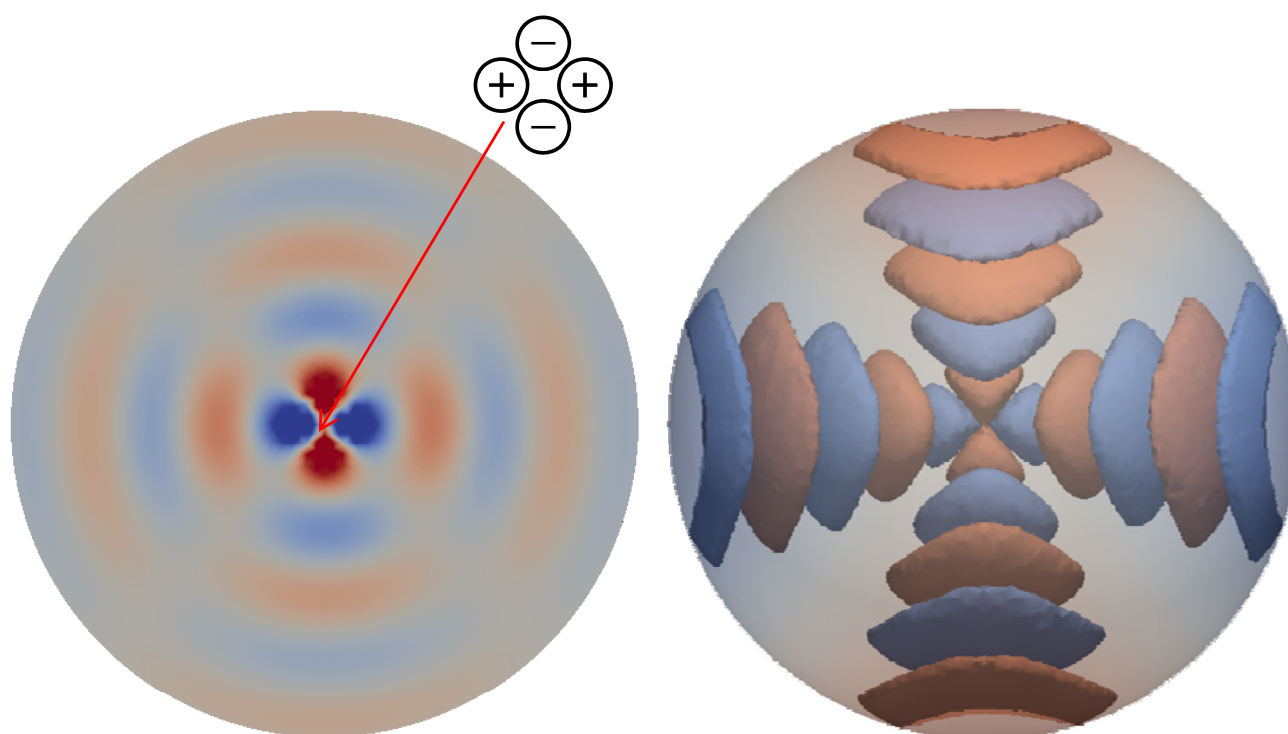
# 無限に広い空間中のひとつの点音源



# 無限に広い空間中のふたつの点音源



# 無限に広い空間中の4つの点音源



# 面音源の定式化

※ 前節で述べた境界条件として下記の条件を与える。

面に音圧を与える

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

面に粒子速度を与える

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

(面に粒子変位を与える)

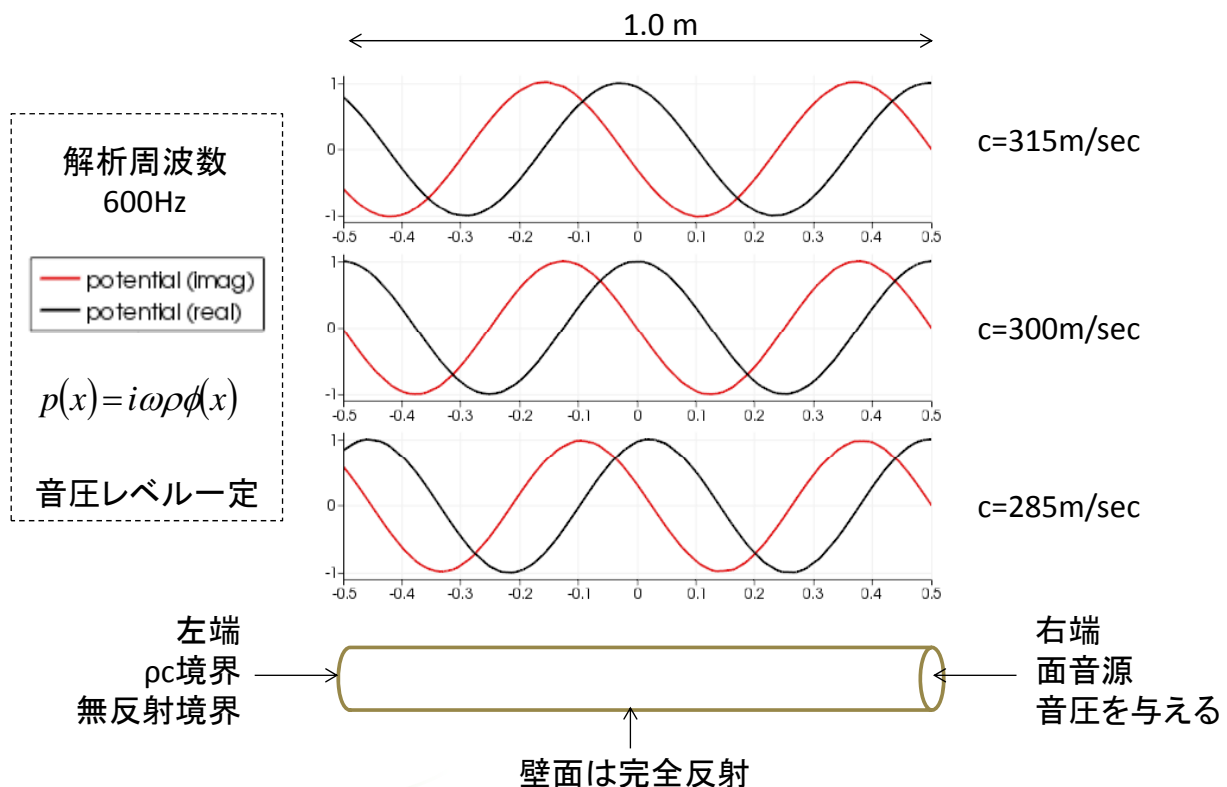
$$\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = -i\omega u_i(x)$$

(面に粒子加速度を与える)

$$\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = -\frac{1}{i\omega} a_i(x)$$

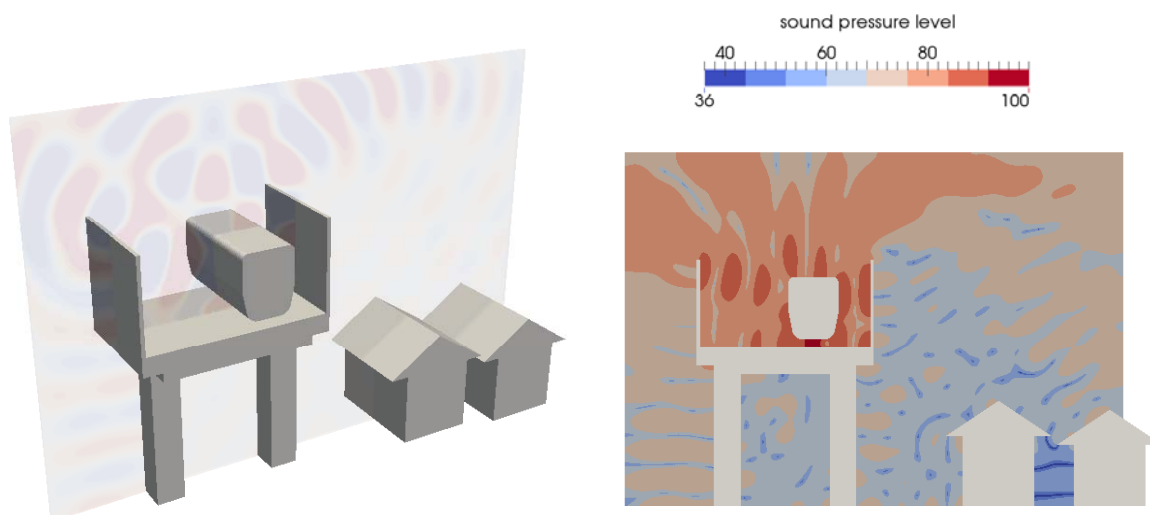
壁面の場所毎に振幅や位相の異なる振動を与え、音源とすることができる。

# 面音源の使用例



## 線音源

- 列車の通過する高架橋の騒音解析において、計算資源の節約のため2次元解析を行った。列車の車輪に設置した音源は、結果的に線音源となっている。



## 4. 数値解法

## 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 (Advance/FrontNoiseの例)

- 四面体1次要素を利用する。音響問題に対して、四面体の高次要素や六面体要素を利用するメリットはない。
  - 形状適合性が高く、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、処理時間で四面体が不利になることはない
  - 四面体1次要素で十分な精度を得ることができる(精度については検証済みである)。
- 境界条件は、音響速度ポテンシャルに対する混合境界条件を利用する。
  - 各種の壁の境界条件を表現できる。
  - 各種面音源を表現できる。
- 点音源を外力項として与える。

# 有限要素法での離散化(基礎方程式)

$$\begin{aligned}
 & \text{div}(\text{grad}\varphi(x)) + k^2\varphi(x) = 0 \quad \longleftarrow \quad \nabla^2\varphi(x) + k^2\varphi(x) = 0 \\
 & \downarrow \\
 & N_j(x)\text{div}(\text{grad}\varphi(x)) + k^2N_j(x)\varphi(x) = 0 \quad \text{四面体一次要素の形状関数を乗ずる} \\
 & \downarrow \\
 & \int_{\Omega} N_j(x)\text{div}(\text{grad}\varphi(x))dv + \int_{\Omega} k^2N_j(x)\varphi(x)dv = 0 \quad \text{要素内で積分する} \\
 & \downarrow \\
 & \int_{\Omega} \text{div}(N_j(x)\text{grad}\varphi(x))dv = \int_{\Omega} \text{grad}(N_j(x))\text{grad}\varphi(x)dv + \int_{\Omega} N_j(x)\text{div}(\text{grad}\varphi(x))dv \\
 & \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{積の微分公式} \\
 & \downarrow \\
 & \int_{\Omega} \text{div}(\mathbf{A})dv = \int_{\partial\Omega} \mathbf{A} \cdot \mathbf{n}ds \quad \text{発散定理} \\
 & \downarrow \\
 & -\int_{\Omega} \text{grad}(N_j(x))\text{grad}\varphi(x)dv + \int_{\Omega} k^2N_j(x)\varphi(x)dv = -\int_{\partial\Omega} N_j(x)\text{grad}\varphi(x)\mathbf{n}ds \quad (\text{部分積分}) \\
 & \downarrow \\
 & \varphi(x) = \sum_{i=1,4} \varphi_i N_i(x) \quad \text{節点の離散値と形状関数を適用した近似} \\
 & \downarrow \\
 & -\sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\Omega} \text{grad}(N_j(x))\text{grad}(N_i(x))dv + k^2 \sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\Omega} N_j(x)N_i(x)dv = -\int_{\partial\Omega} N_j(x)\text{grad}\varphi(x)\mathbf{n}ds
 \end{aligned}$$

# 有限要素法での離散化(境界条件)

$$-\sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\Omega} \text{grad}(N_j(x))\text{grad}(N_i(x))dv + k^2 \sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\Omega} N_j(x)N_i(x)dv = -\int_{\partial\Omega} N_j(x)\text{grad}\varphi(x)\mathbf{n}ds$$

前ページで変形した式の右辺を求める

右辺に境界条件を代入

β=0の場合はディリクレ境界となり、もっと簡単な別処理へ

$$\frac{\partial\varphi}{\partial n} = \frac{f}{\beta} - \frac{\alpha\varphi}{\beta} \quad \longleftarrow \quad \alpha\varphi + \beta \frac{\partial\varphi}{\partial n} = f$$

$$-\int_{\partial\Omega} N_j(x)\text{grad}\varphi(x)\mathbf{n}ds = -\int_{\partial\Omega} N_j(x) \frac{\partial\varphi}{\partial n} ds = -\int_{\partial\Omega} N_j(x) \left( \frac{f}{\beta} - \frac{\alpha\varphi}{\beta} \right) ds$$

$$\varphi(x) = \sum_{i=1,4} \varphi_i N_i(x) \quad \text{節点の離散値と形状関数を適用した近似}$$

$$-\int_{\partial\Omega} N_j(x)\text{grad}\varphi(x)\mathbf{n}ds = -\frac{f}{\beta} \int_{\partial\Omega} N_j(x)ds + \frac{\alpha}{\beta} \sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\partial\Omega} N_j(x)N_i(x)ds$$

# 有限要素法での離散化(形状関数)

四面体一次要素の定義

$$N_j(x, y, z) = a_j x + b_j y + c_j z + d_j$$

形状関数の定義 (節点で成立)  $N_j(x_i, y_i, z_i) = \delta_{ij}$

$$a_i x_1 + b_i y_1 + c_i z_1 + d_i = \delta_{1i}$$

第1・2式より  $a_i x_2 + b_i y_2 + c_i z_2 + d_i = \delta_{2i}$

a,b,c,dを求める  $a_i x_3 + b_i y_3 + c_i z_3 + d_i = \delta_{3i}$

$$a_i x_4 + b_i y_4 + c_i z_4 + d_i = \delta_{4i}$$

第1式より  $grad(N_j(x)) = \begin{pmatrix} a_j \\ b_j \\ c_j \end{pmatrix}$



$$\int_{\Omega} grad(N_j(x)) grad(N_i(x)) dv = (a_i a_j + b_i b_j + c_i c_j) V$$

$$\int_{\Omega} N_j(x) N_i(x) dv = \begin{cases} \frac{V}{10} & i = j \\ \frac{V}{20} & i \neq j \end{cases}$$

$$\int_{\partial\Omega} N_j(x) ds = \frac{1}{3} S$$

$$\int_{\partial\Omega} N_j(x) N_i(x) ds = \begin{cases} \frac{S}{6} & i = j \\ \frac{S}{12} & i \neq j \end{cases}$$

VはΩの体積、Sは∂Ωの面積

# 有限要素法での離散化(結論)

$$-\sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\Omega} grad(N_j(x)) grad(N_i(x)) dv + k^2 \sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\Omega} N_j(x) N_i(x) dv$$

$$= -\frac{f}{\beta} \int_{\partial\Omega} N_j(x) ds + \frac{\alpha}{\beta} \sum_{i=1,4} \varphi_i \int_{\partial\Omega} N_j(x) N_i(x) ds$$

← 前ページまでをまとめた

$$a_{ij} = -\int_{\Omega} grad(N_j(x)) grad(N_i(x)) dv + k^2 \int_{\Omega} N_j(x) N_i(x) dv$$

$$a_{ij} = \frac{\alpha}{\beta} \int_{\partial\Omega} N_j(x) N_i(x) ds$$

$$b_i = -\frac{f}{\beta} \int_{\partial\Omega} N_j(x) ds$$

$$\begin{pmatrix} a_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_i \end{pmatrix}$$

行列のサイズは節点の数と等しい  
行列の要素は複素数

## 他の機能に関する離散化

- 【速度場のある場合】式が複雑になるだけで、同様の方針で離散化できる。ここでは、速度場は要素に与えることが自然な方法となる。
- 【温度場のある場合】 $k$ を場所の温度に依存して変化させる。したがって、温度場は要素に与えることが自然である。
- 【多孔質媒体の場合】密度と音速は、モデル式で計算された複素数となる。
- 【構造音響強連成の場合】(本日は説明をしていないが)少し複雑な式となる(前回セミナーで説明)。しかし、基本は同様の離散化となり、考え方が大きく変わるわけではない。

## 大規模複素係数線形方程式の解法

- ひとつの周波数に対して、1回の線形方程式を解く必要がある。係数行列も周波数毎にその値が異なる。
- 係数行列は疎行列である。計算効率向上のため専用のデータ構造が必要である。周波数毎に疎行列パターンは同じ。
- 大規模問題を想定して線形方程式は疎行列用反復解法を適用する(計算資源の有効利用)。100万節点以下については、疎行列用直接法も適用可能である(計算資源の限度)。
- 疎行列用反復法は前処理と合わせて、いくつかの組み合わせをテストし、最終的には、反復法はGMRES系列、それと相性のいい前処理としてILU系列またはMG系列を利用することが最適であることを確認した。

## 有限要素法を採用した経緯

- Advance/FrontNoise Ver1.0(2006.03)は、境界要素法BEMによる定式化を利用して開発した。また、当初から大規模計算を目指して並列処理のプログラムとして開発した。
- しかし、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(2007.03)。その結果、精度は同等で、処理時間が圧倒的に速かった。
- そこで、有限要素法をVer2.0から採用することとした。

## 数値解法のまとめ

- 離散化
  - 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。
- 線形方程式
  - ひとつの周波数に対して、1回の線型方程式を解く。
  - 線形方程式は疎行列用反復解法を適用する。100万節点以下については疎行列用直接法も適用可能である。
- 並列化
  - 疎行列用反復解法の処理を中心に並列化できる。
  - 大規模問題に適用できるデータ構造とすることが必須である。
  - 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。

## 5. Advance/FrontNoiseの機能

## Advance/FrontNoiseで可能な音響解析

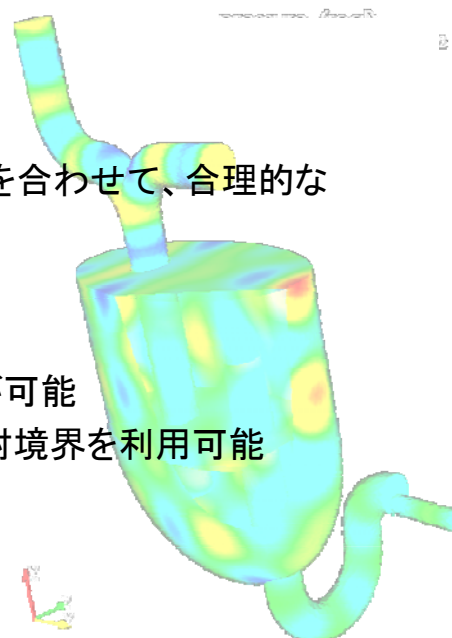
- 音の伝播する領域、解析対象とする周波数を定め、周波数領域での解析を行います。
- その領域に有限要素のメッシュを作成します。境界条件として、解析領域内の音源の周波数と強さを与えます。また、壁等には適切な境界条件を与えます。
- 指定された周波数に対して、解析領域内すべての点における音響速度ポテンシャル(音圧、粒子速度)を求めることができます。
- 解析の後処理として、空間の音圧レベルや対象機器の透過損失等を求めることなどができます。
- これらの処理を必要とする周波数の数だけ解析を行います。
- 一般的に音源が不明な場合(音源を与えることができない場合)には音響解析はできません。

## ソフトウェアの機能

項目	内容	
基礎方程式	(1) 音響速度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温度を考慮可能 (3) 空間的に分布する多孔質音響伝播媒体を考慮可能 (4) 構造物の固有値解析結果を利用した構造音響連成透過音解析が可能	
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)
	多孔質	多孔質を模擬した場の材質を指定することが可能
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系列の反復法をデフォルトとし、各種反復手法および前処理手法が利用可能
	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	

## Advance/FrontNoiseの特長

- 大規模高速計算のさらなる強化
  - 最大規模では、テトラ4億要素(7500万節点、15000万自由度)の解析実績
  - 並列手法は、領域分割を利用可能
- 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



# 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可能である。

のちほど詳細な説明をいたします

## Advance/FrontNoise概要のまとめ

- 音響解析の基礎について説明しました。
  - 音響の基礎方程式を示しました。
  - 境界条件および音源項を示しました。
  - 有限要素法について説明しました。
  - 離散化手法および線形方程式の解法を示しました。
- Advance/FrontNoiseの機能について説明しました。

# スパコンでの性能調査

第1事業部 尾川 慎介

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

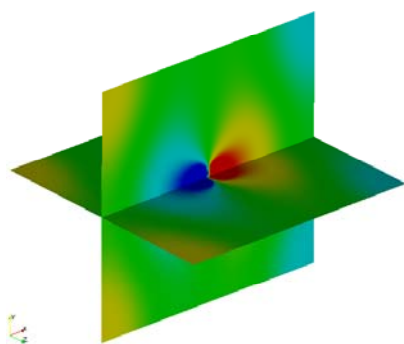
## 内容

- 大規模並列性能の調査
  - 地球シミュレータ 大規模共有メモリシステム (SGI UV2000)
  - 「京」利用支援用スーパーコンピュータ (FUJITSU PRIMEHPC FX10)
  - FOCUSスパコン(Dシステム) (Cray H2312)
- 性能向上のための取り組み

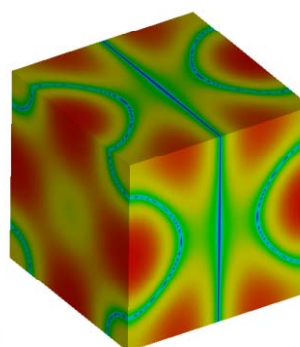
# 大規模並列性能の調査

## 解析モデル

- 箱に閉じ込められた双極子音源の音場解析  
(チュートリアル中のB1モデルを1回リファインしたもの)
- 節点数:約812万、要素数:4800万(すべて四面体)



中央断面の音圧レベル



表面の速度ポテンシャル分布

# SGI UV2000



- ご協力： 国立研究開発法人海洋研究開発機構 様
- 地球シミュレータに付属する大規模共有メモリスistem
- スーパーコンピューティング・サービスの対象

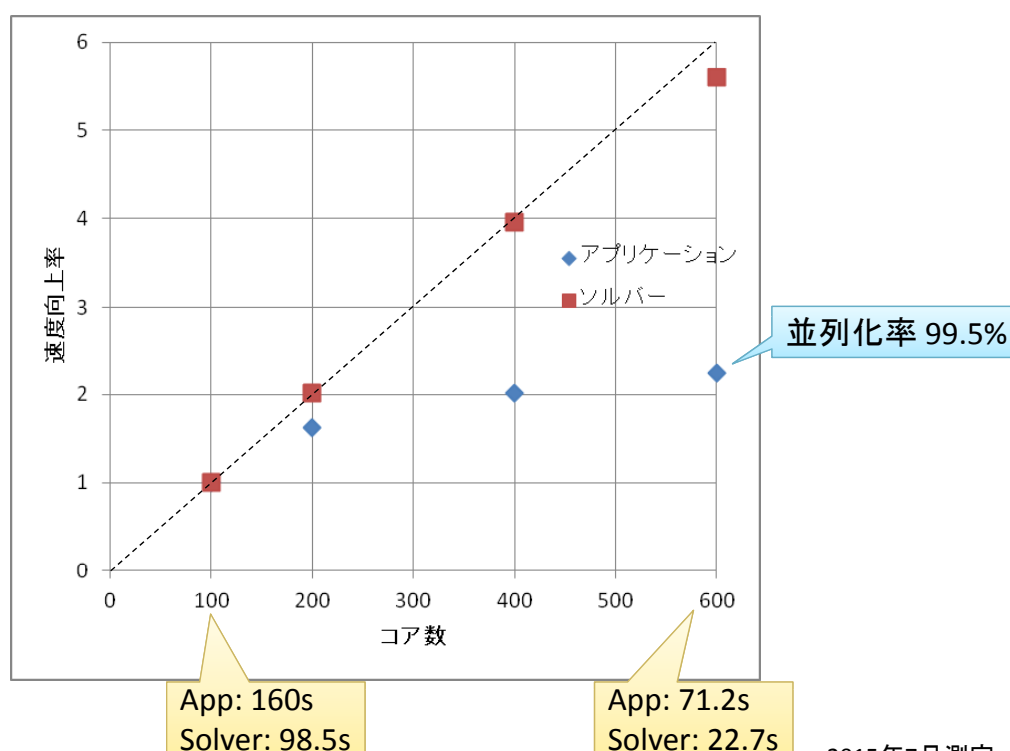
ハードウェア	SGI UV2000
CPU	Intel Xeon E5-4650 v2
ノード数	1
CPU数	256
コア数	10 cores/CPU
メモリ容量	32 TB
演算性能	49.152 TFLOPS



SGI UV2000

画像は [http://www.sgi.co.jp/company\\_info/press\\_releases/archives/20120619.html](http://www.sgi.co.jp/company_info/press_releases/archives/20120619.html) より

# SGI UV2000



2015年7月測定

# FUJITSU PRIMEHPC FX10



- ご協力： 一般財団法人高度情報科学技術研究機構 様
- 「京」と互換性をもつアーキテクチャ
- 「京」はスーパーコンピューティング・サービスの対象

ハードウェア	FUJITSU PRIMEHPC FX10
CPU	SPARC64 IXfx
ノード数	48
CPU数	1 CPU/node
コア数	16 cores/CPU
メモリ容量	32 GB/node
演算性能	211.2 GFLOPS/node

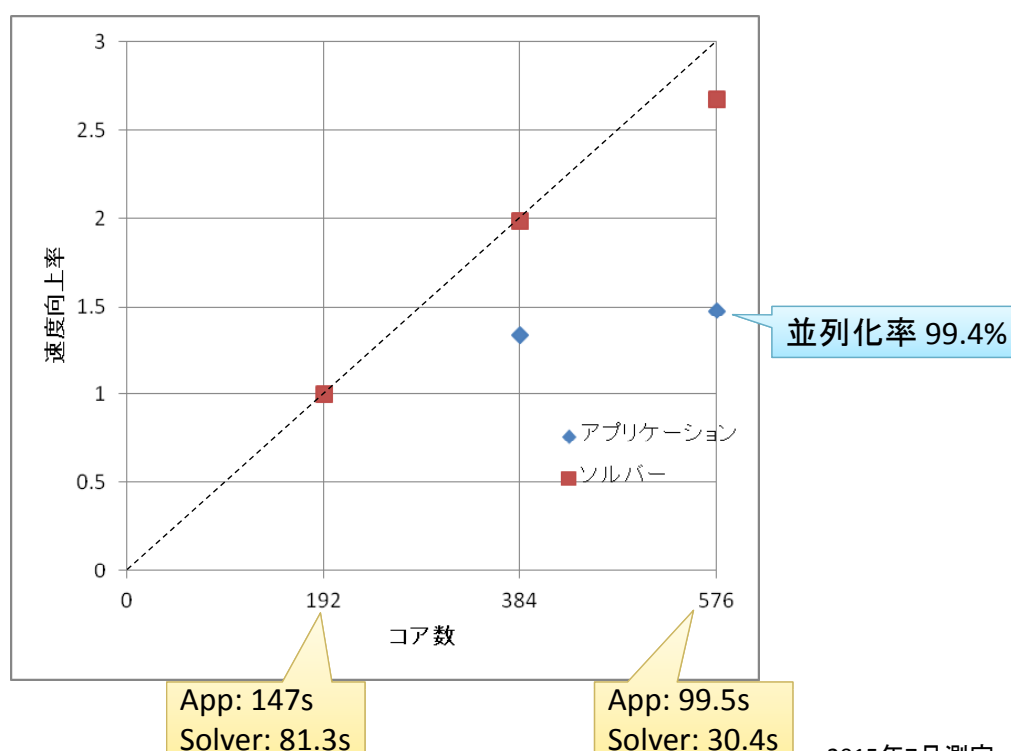


FUJITSU PRIMEHPC FX10

画像は <http://www.fujitsu.com/jp/products/computing/servers/supercomputer/primehpc-fx10/> より

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# FUJITSU PRIMEHPC FX10



2015年7月測定

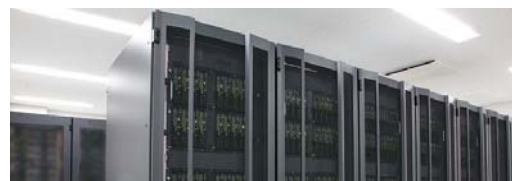
Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# FOCUSスパコン



- 運営： 公益財団法人計算科学振興財団 様
- 産業界専用の公的スーパーコンピュータ
- Advance/FrontNoise は現時点で利用可能

ハードウェア	Cray H2312
CPU	Intel Xeon E5-2670 v2
ノード数	80
CPU数	2 CPU/node
コア数	10 cores/CPU
メモリ容量	64 GB/node
演算性能	400 GFLOPS/node



FOCUSスパコン

※ Dシステムの仕様

## FOCUSスパコンでの 動作検証済みアプリケーション

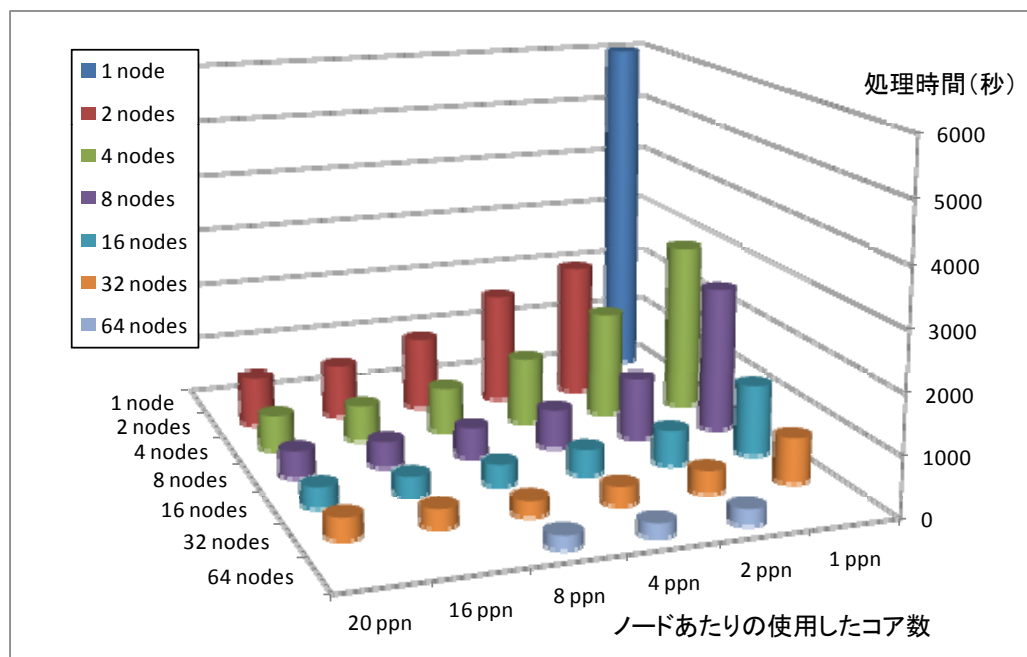
動作検証済みアプリケーション(合計105本)

<http://www.j-focus.or.jp/focus/> より

分野	ソフトウェア名
流体解析	<u>Advance/FrontFlow/red</u> 、ANSYS CFX、ANSYS Fluent、CONVERGE、FINAS/CFD、FINE/Marine、FINE/Open with OpenLabs、FINE/Turbo、GETFLOWS、iconCFD、MIZUHO/FrontFlow/blue、NMRI CFD/NEPTUNE、NMRI CFD/SURF、NMRICFD/NAGISA、NuFD/FrontFlowRed、OpenFOAM、PowerFLOW、RFLOW、SCRYU/Tetra、STAR-CCM+、STREAM
構造解析	<u>Advance/FrontSTR</u> 、ADVENTURECluster、ANSYS Mechanical、Dytran、FINAS/STAR、FrontSTR、LS-DYNA、Marc/Mentat、MSC Nastran、VOXELCON
計算化学	ABINIT-MP、 <u>Advance/PHASE</u> 、ALPS/looper、AMBER、AutoDock、CONFLEX(並列版、逐次版)、ERmod、GAMESS、Gaussian、GROMACS、J-OCTA VSC、LAMMPS、MolVec、MolVec、MIZUHO/CFD、MOLVIZ、MMD、NEPTUNE、NMRICFD
音響解析	<u>Advance/FrontNoise</u> 、ComWAVE

# FOCUSスパコン(Dシステム)

モデル: 節点数: 約1100万、要素数: 約6400万



2014年測定

## 性能向上のための取り組み

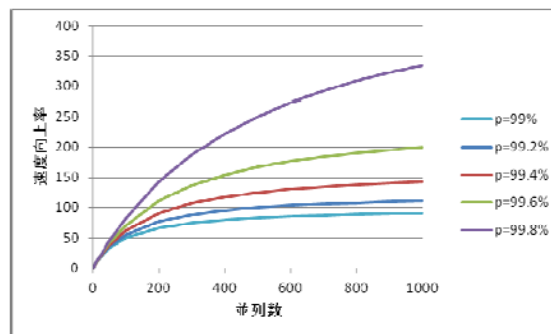
# 並列性能の評価

- ソフトウェアに含まれる並列化できない処理は、並列計算において性能を悪化させる原因になる。
- 大規模並列計算ではこの悪影響が顕著に表れる。スーパーコンピュータの性能を最大限に引き出すためには、問題箇所を特定し、解決する必要がある。

逐次計算  $1-p$   $p$

$N$ 並列計算  $1-p$   $p/N$

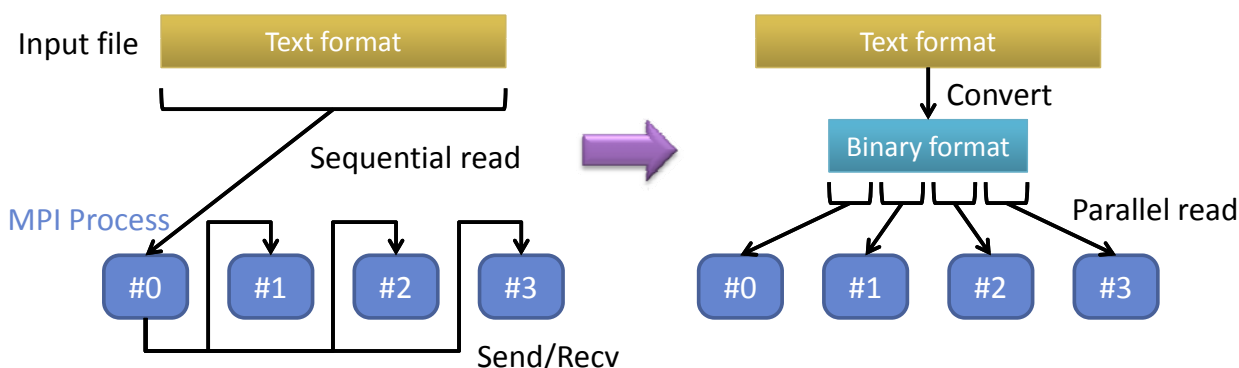
$p$ : 並列化できる処理の割合(並列化率)



$$\text{速度向上率} = \frac{\text{基準の並列数における処理時間}}{\text{対象の並列数における処理時間}}$$

# Advance/FrontNoise における例

- グリッドファイル (\*.inp) のバイナリ化
  - 逐次処理であったグリッドファイルの読み込みを並列化した (ランダムアクセスが可能になり、文字列からの変換も不要になる)
  - エンディアンは透過的に扱われる (BE, LEであれば)



ソルバー以外のボトルネックにも積極的に取り組む方針

# まとめ

Advance/FrontNoise は

- 大規模並列計算においても良好な処理性能を有する。
- ご紹介したスーパーコンピュータにおいて (まもなく) 利用可能である。
- 新機能の導入だけでなく、既存の機能の改良も実施し、さらなる性能向上を目指していく。

# 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。

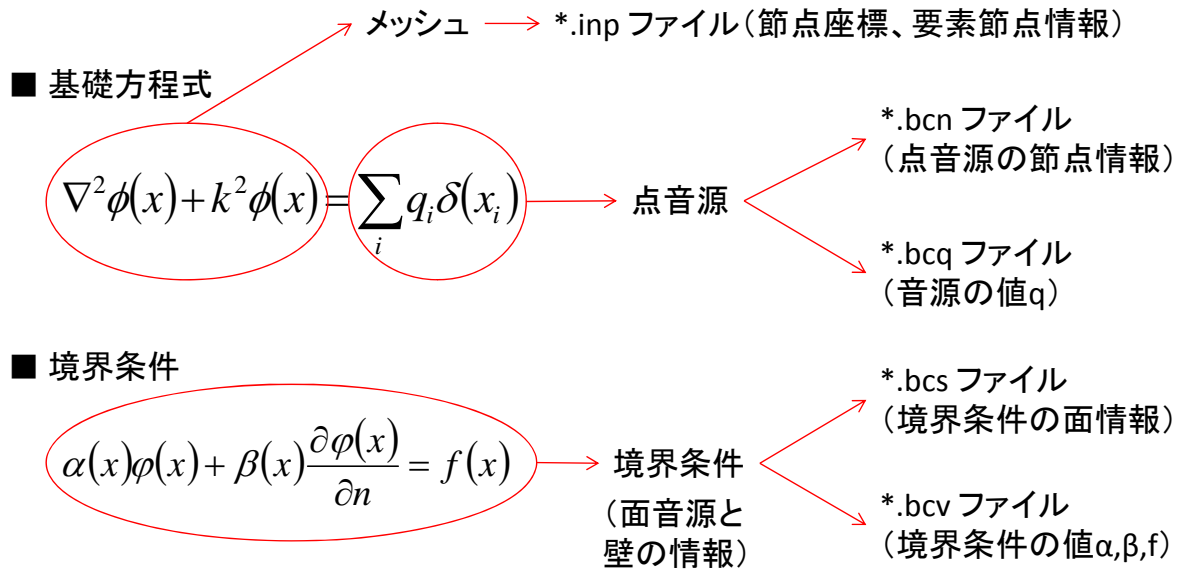
※プリポストについては、次の枠で説明します。

## 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

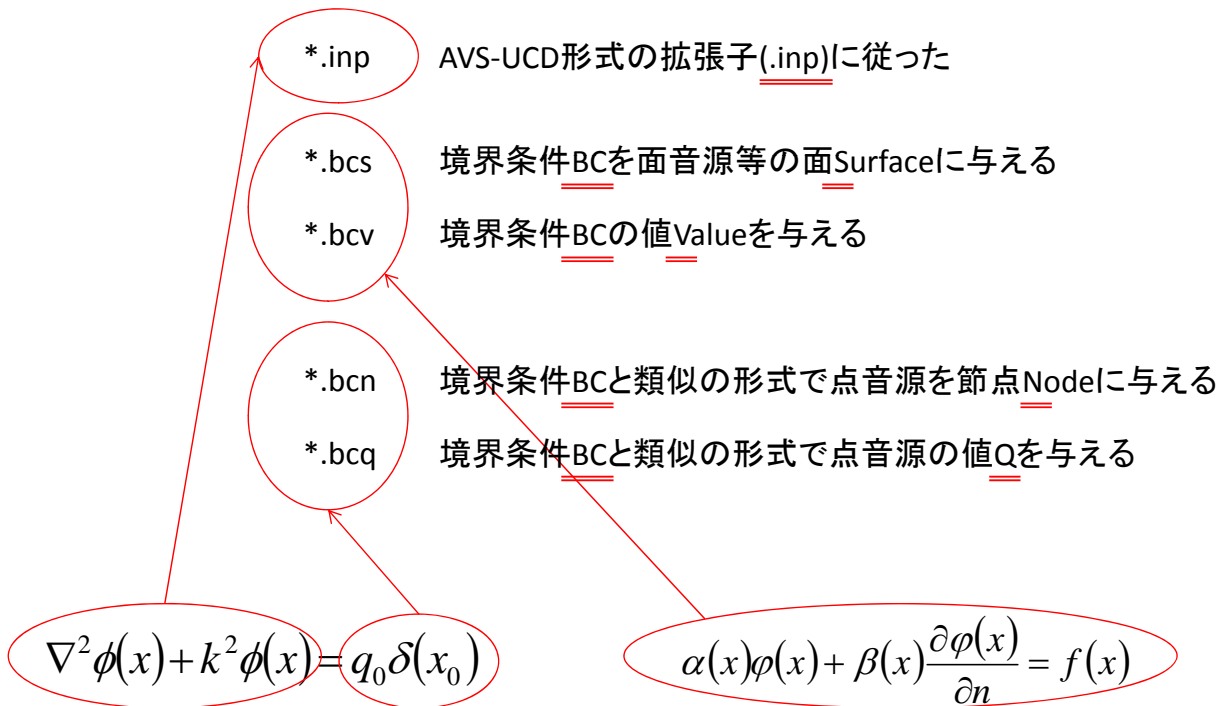


# 音響解析のために準備するファイル

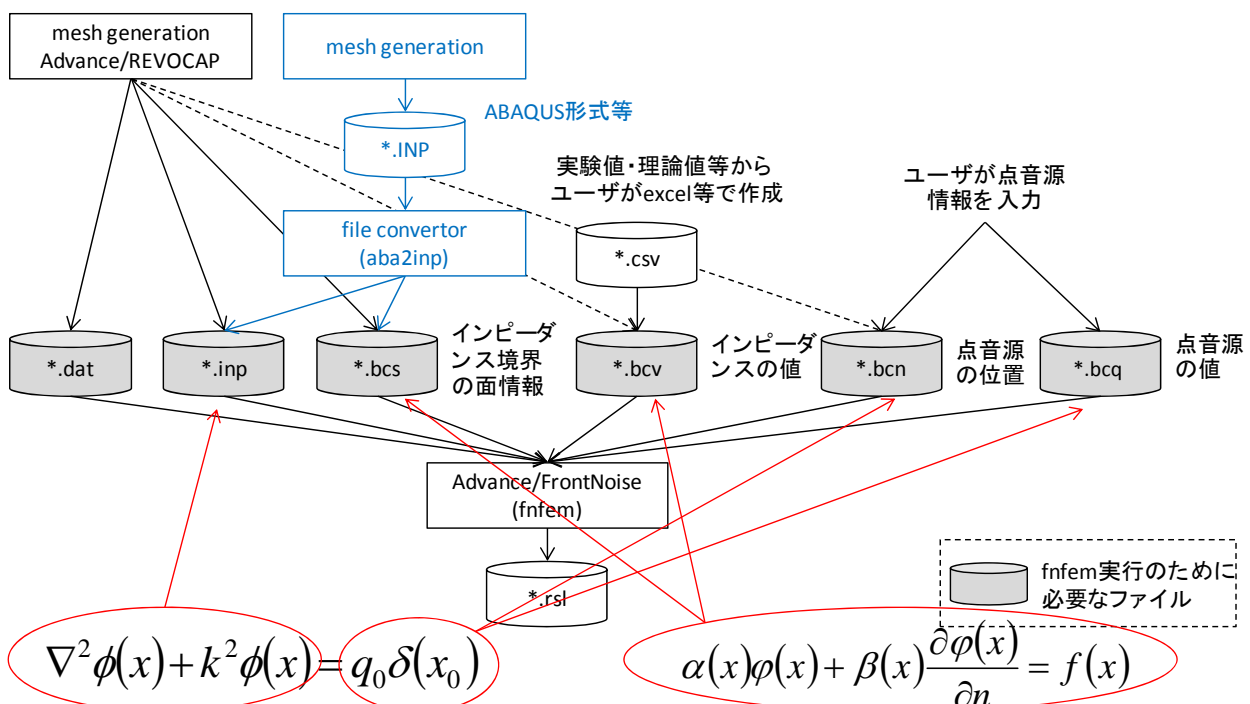
項目	ファイル名	代表的なファイル作成方法
メッシュ	*.inp	メッシュ作成ソフト(Advance/Revocap)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
境界条件 (面音源を含む)を面に与える場合	*.bcs	メッシュ作成ソフト(Advance/Revocap)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
	*.bcv	実験値・理論値・文献値からexcel等で条件を作成して、csvでexportしたファイルを*.bcvファイルとする。
点音源を節点に与える場合	*.bcn	メッシュ作成ソフト(Advance/Revocap)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

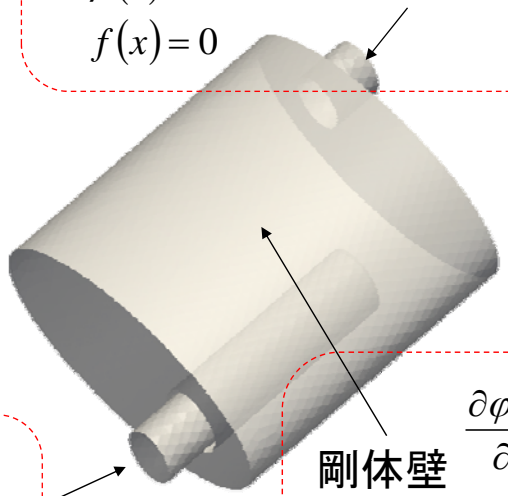
$$Z_r = 1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} + i \frac{H_1(2ka)}{ka}$$

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

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

$$f(x) = 0$$

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

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

$$\alpha(x) = 0$$

$$\beta(x) = 1$$

$$f(x) = 0$$

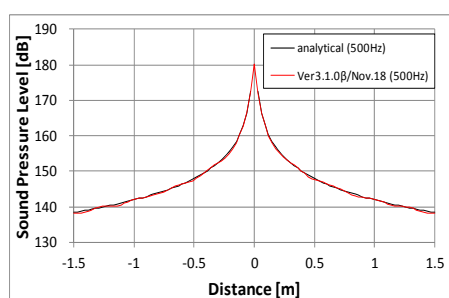
FEMではデフォルトが剛体壁

## 【参考】格子データの作成、格子幅の基準

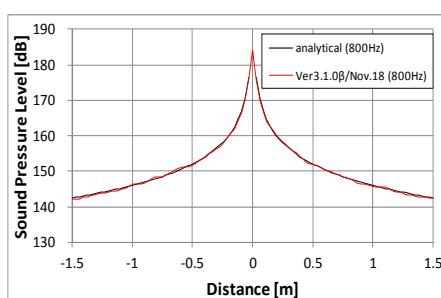
- Advance/REVOCAPでメッシュを作成する。
- 四面体1次要素で格子データを作成する。
- FrontNoise形式でexportし、Advance/FrontNoiseの入力データとする。
- 使い方はやや面倒になるが、REVOCAP以外のメッシュも利用することは可能である。その場合には、特定の形式で出力し、FrontNoise形式に変換する。

周波数 [Hz]	波長 [m]	推奨 $\Delta x$ [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

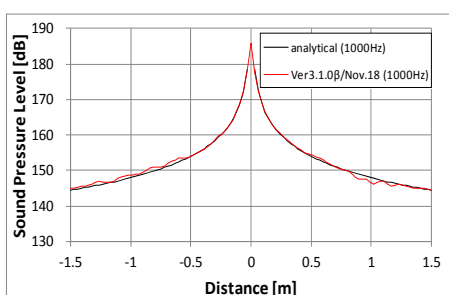
## 【参考】格子幅と精度（理論解と計算結果比較）



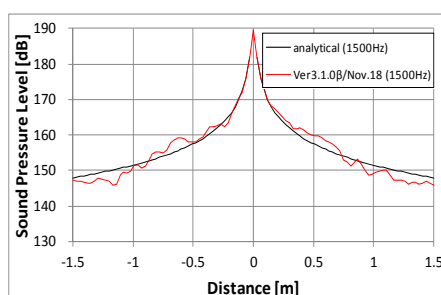
$\Delta x$ が波長の1/12



$\Delta x$ が波長の1/8



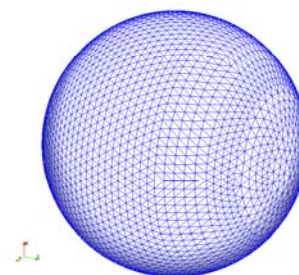
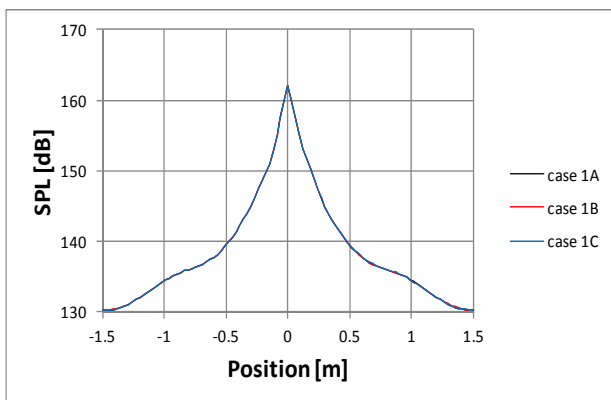
$\Delta x$ が波長の1/6



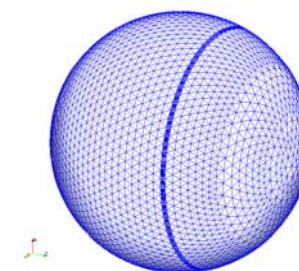
$\Delta x$ が波長の1/4

# 【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 $\alpha$	$\alpha(x) = 1$	$\alpha(x) = i\omega\rho$
係数 $\beta$	$\beta(x) = 0$	$\beta(x) = -Z$
係数 $f$	$f(x) = 1$	$f(x) = 0$

# 境界条件の値 \*.bcv

周波数	$\alpha$ 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	1.000E+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	$\alpha$ 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)

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

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

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

$$f(x) = 0$$

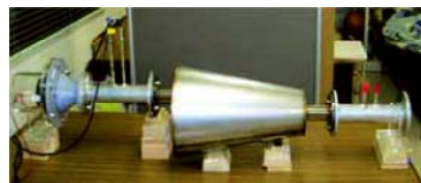
## 【参考】ダクトからの放射境界条件について

### 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

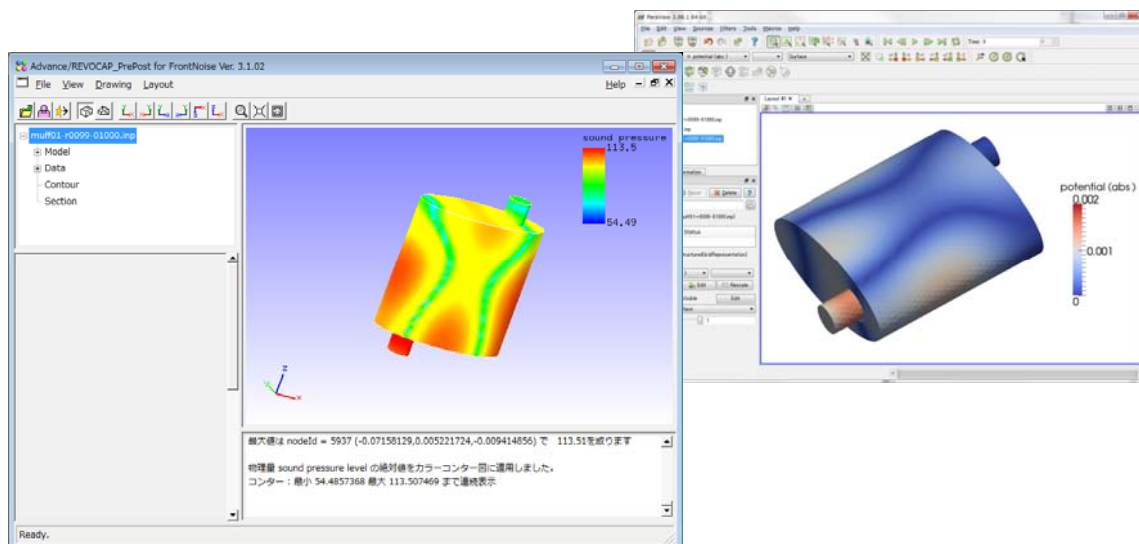
- ここまでで説明したソルバ(fnfem)と、本節で説明するツール群から構成されます。
- ソルバは、先に説明したファイルを読み込み、周波数毎に音響速度ポテンシャルを計算し、その結果を周波数毎にバイナリ形式でファイルに出力します。
- ツール群はつぎの2つから構成されます。
  - 入力ファイル作成のためのツール群
  - ポスト処理(可視化、結果の取り出し等)のためのツール群
- Advance/FrontNoiseのソルバとツール群を組み合わせ、各種の利用方法が可能です。ソルバは効率の高い計算に特化し、ツール群はお客様の使い勝手の向上のために整備する方針で開発を進めております。

## 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
	リスタートファイル作成ツール	rsl2res
出力支援	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)

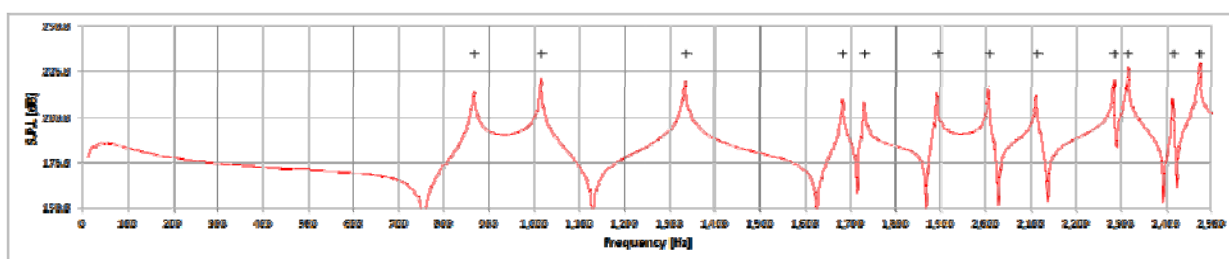
- 解析結果群から、ツールにより解析結果を抽出可能です。
- 例えば、出口付近節点の音圧レベルを全ファイルから抽出し、csvファイルに出力することが可能です。
- csvファイルはMS excel等で処理可能です。

`% 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

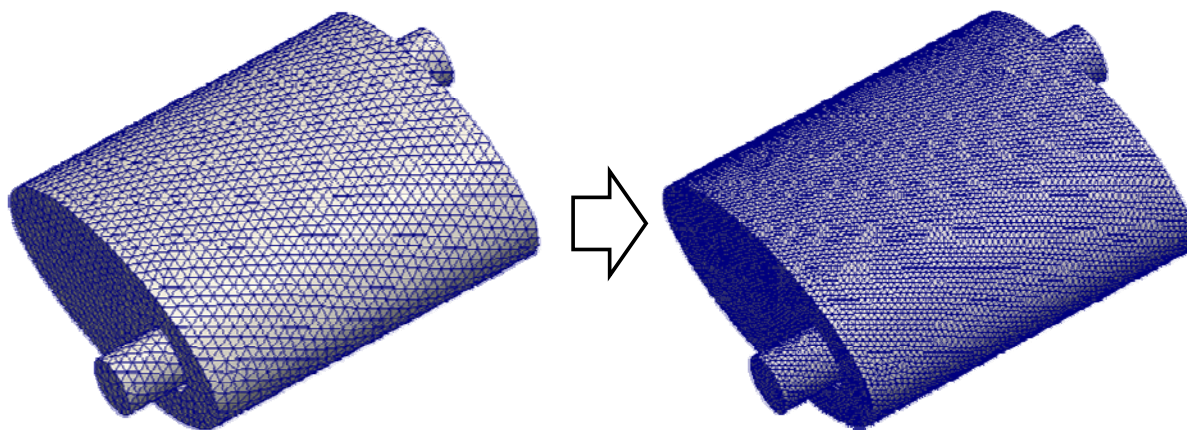
結果抽出場所

メッシュファイル



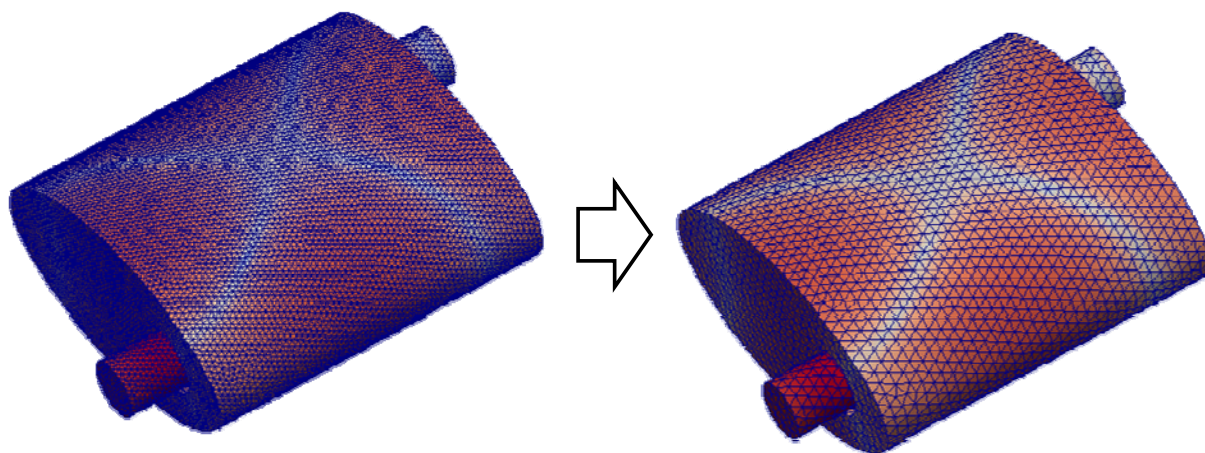
## メッシュ細分化ツール(コマンド: refine)

- 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。

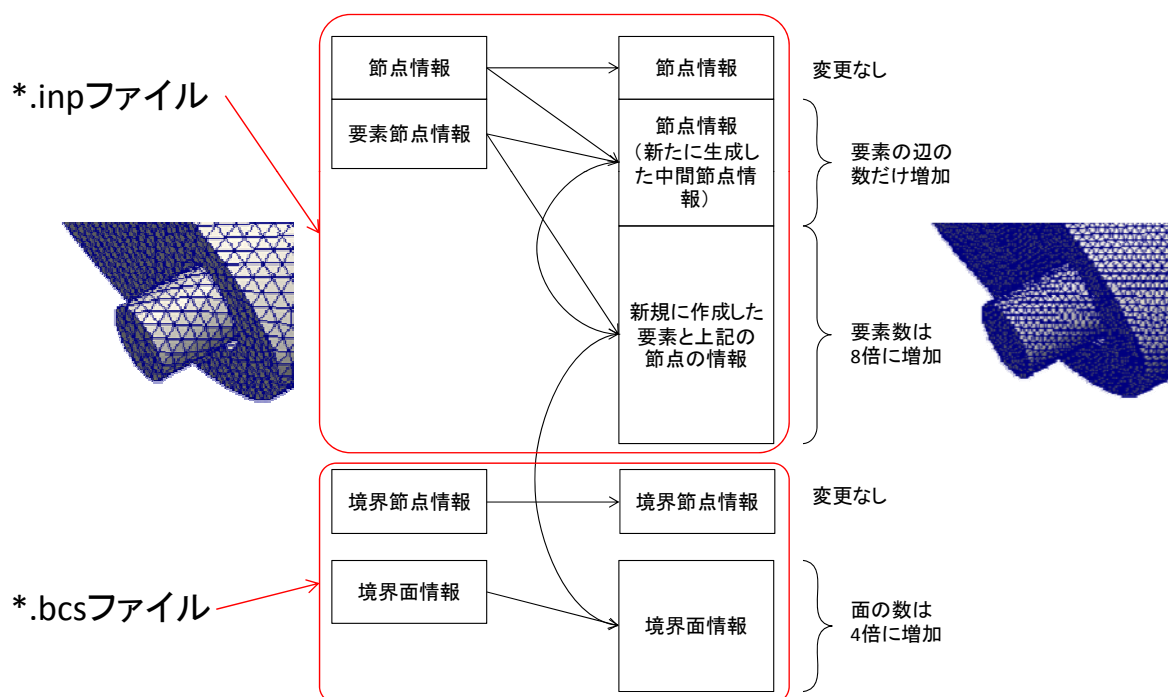


## 計算結果粗視化ツール(コマンド: coarse)

- 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利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。



# 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseのための プリポストプロセッサ Advance/REVOCAPのご紹介

第1事業部 徳永 健一

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

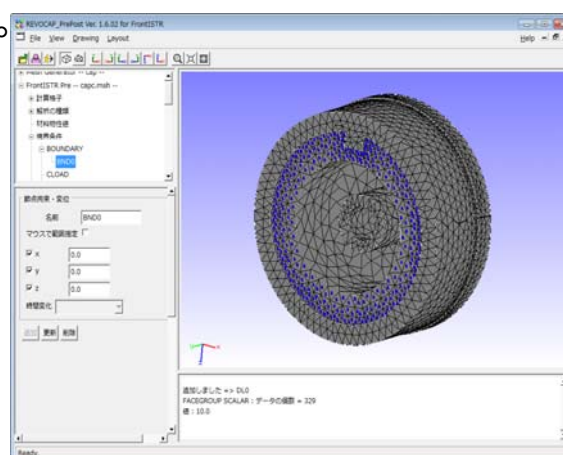
## Advance/REVOCAP\_PrePost の概要

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。

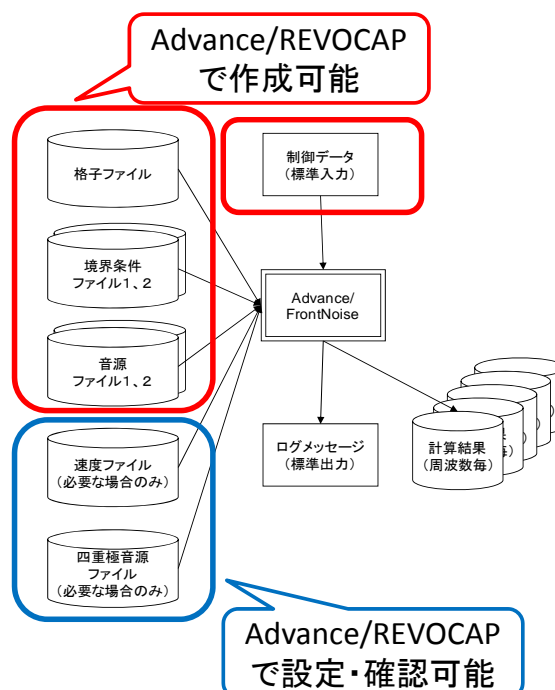


# Advance/REVOCAPの開発経緯

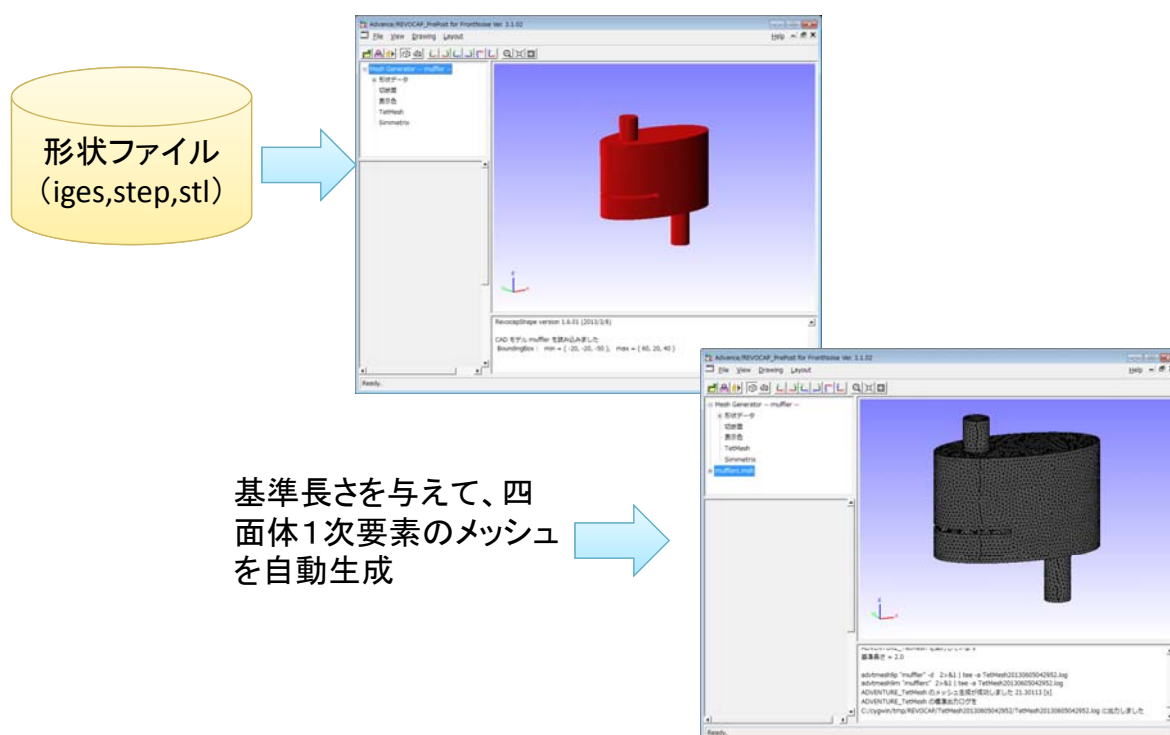
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
革新PJ REVOCAP_Mesh REVOCAP_Visual	→ 連成解析用プレポストプロセッサ											
イノベーションPJ REVOCAP_PrePost			→ 大規模アセンブリ構造対応 プレポストプロセッサ									
アドバンス版 Advance/REVOCAP					△ 7月 v2.0 FFr版	△ 7月 v2.2 FSTR版	△ 8月 v2.3 FFr版 FSTR版	△△ 7月 V3.0 FFr版 FSTR版	△△ 12月 V3.1 FSTR版 シェル	△ 2月 V3.2 FFr版 FOCUS版 Noise版	△ 9月 V4.0 FFr版 FSTR版 Noise版 FOCUS版	

# Advance/REVOCAP for FrontNoiseの特徴

- Advance/FrontNoiseのファイル形式に対応(コンバータ不要)
- 4面体自動メッシュ生成機能
- 境界条件編集機能
- 解析モデル出力機能
- 結果ファイルの可視化機能



# 手順その1: 形状ファイルからメッシュ生成

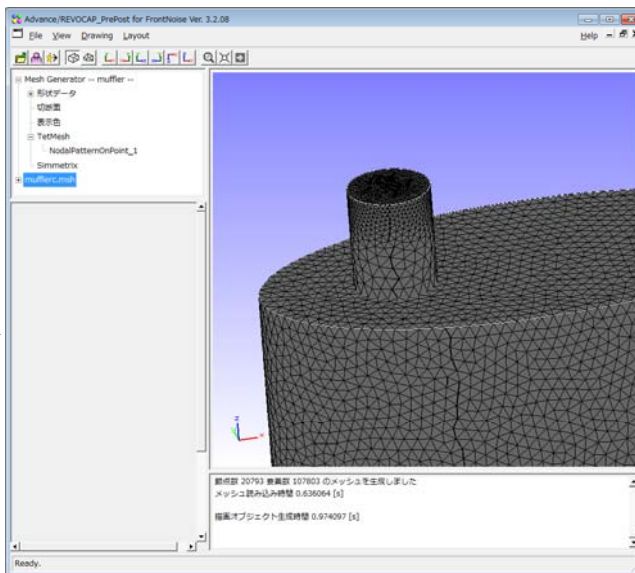
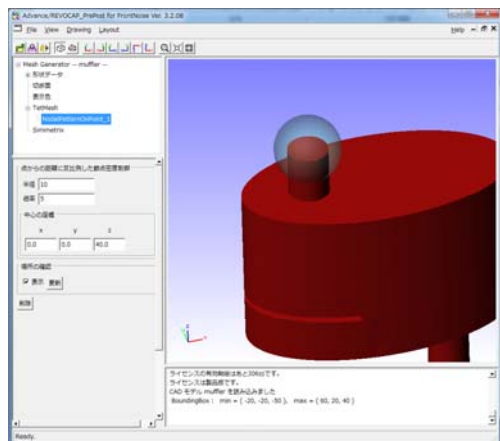


# メッシュ生成パフォーマンス

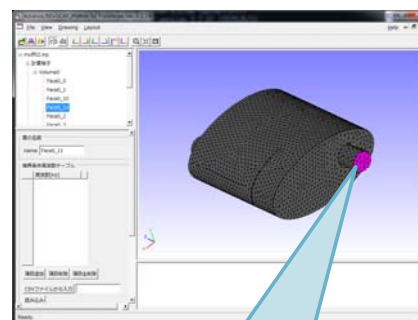
- ADVENTURE\_TetMeshとSimmetrixの2つのメッシュ生成エンジンを内包
- ADVENTURE\_TetMesh
  - 大規模メッシュの生成が可能
- Simmetrix
  - Robustなオートメッシュ生成
- パフォーマンス
  - Windows7 64bit Core i7 3.6GHz 16GB
  - 200万要素約2分で生成
  - 2000万要素を約20分で生成
  - (64GBメモリ環境で)1億要素のメッシュ生成も可能!

# 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



②境界条件の数値データ(csvファイル)を選択して入力する  
または無反射境界条件を生成する

**[新機能]**pc境界をExcelを使わずにプリポストで自動的に生成できるようになりました

# 手順その3:境界条件を確認する

面の名前  
name Face0\_11

境界条件周波数テーブル

周波数	
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

項目追加 項目削除 項目全削除

CSVファイルから入力

読み込み

確認

Advance/REVOCAP\_PrePost for FrontNoise Ver. 3.1.02

Mesh Generator -- muffler --

muffler.msh

計算格子

Volume1

Face0\_0

Face0\_1

Face0\_10

Face0\_11

Face0\_2

FrontNoise Boundary Condition

周波数	o実部	o虚部	B実部	B虚部	実部	虚部
50.0	0.0	-0.9108	8.252e-05	0.0109	0.0	0.0
75.0	0.0	-1.266	0.0001857	0.01636	0.0	0.0
100.0	0.0	-1.822	0.0003301	0.02181	0.0	0.0
125.0	0.0	-2.277	0.0005158	0.02726	0.0	0.0
150.0	0.0	-2.732	0.0007427	0.03271	0.0	0.0
175.0	0.0	-3.188	0.0010111	0.03817	0.0	0.0
200.0	0.0	-3.643	0.00132	0.04362	0.0	0.0
225.0	0.0	-4.099	0.001671	0.04907	0.0	0.0
250.0	0.0	-4.554	0.002063	0.05452	0.0	0.0
275.0	0.0	-5.009	0.002496	0.05998	0.0	0.0
300.0	0.0	-5.465	0.002971	0.06543	0.0	0.0
315.0	0.0	-5.92	0.003487	0.07088	0.0	0.0
350.0	0.0	-6.376	0.004044	0.07633	0.0	0.0
375.0	0.0	-6.831	0.004642	0.08179	0.0	0.0
400.0	0.0	-7.287	0.005281	0.08724	0.0	0.0
425.0	0.0	-7.742	0.005962	0.09269	0.0	0.0
450.0	0.0	-8.197	0.006684	0.09814	0.0	0.0
475.0	0.0	-8.653	0.007447	0.1036	0.0	0.0
500.0	0.0	-9.108	0.008252	0.109	0.0	0.0
525.0	0.0	-9.564	0.009098	0.1145	0.0	0.0
550.0	0.0	-10.02	0.009985	0.12	0.0	0.0

適用する キャンセル 元に戻す すべてクリア

# 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

Advance/REVOCAP\_PrePost for FrontNoise Ver. 3.1.02

Mesh Generator -- muffler --

muffler.msh

計算格子

物理設定

速度設定

温度設定

条件設定

入力値

速度場

ファイルから入力

読み込み

温度分布

実行

可視化設定

詳細部 9928 詳細部 49226 のメッシュを生成しました  
メッシュ読み込み時間 0.216022 [s]  
解算プロジェクト生成時間 0.552055 [s]

# 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

②実効密度、複素音速の数値データ(csvファイル)を選ぶ

③実効密度、複素音速の数値の編集と確認

周波数	実効密度実部	実効密度虚部	複素音速実部	複素音速虚部
100.0	1.0	0.23	300.0	-40.0
200.0	1.0	0.23	300.0	-40.0
300.0	1.0	0.23	300.0	-40.0

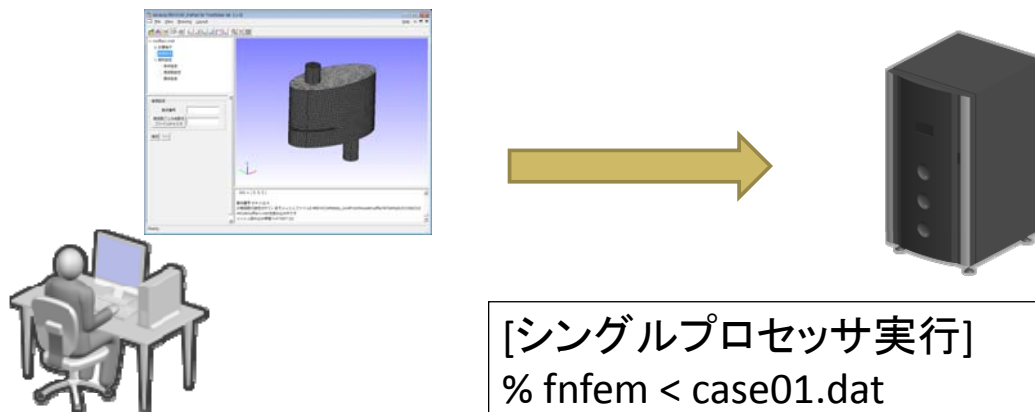
# 手順その8: 解析モデルを出力する

①モデルの保存

- 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
```

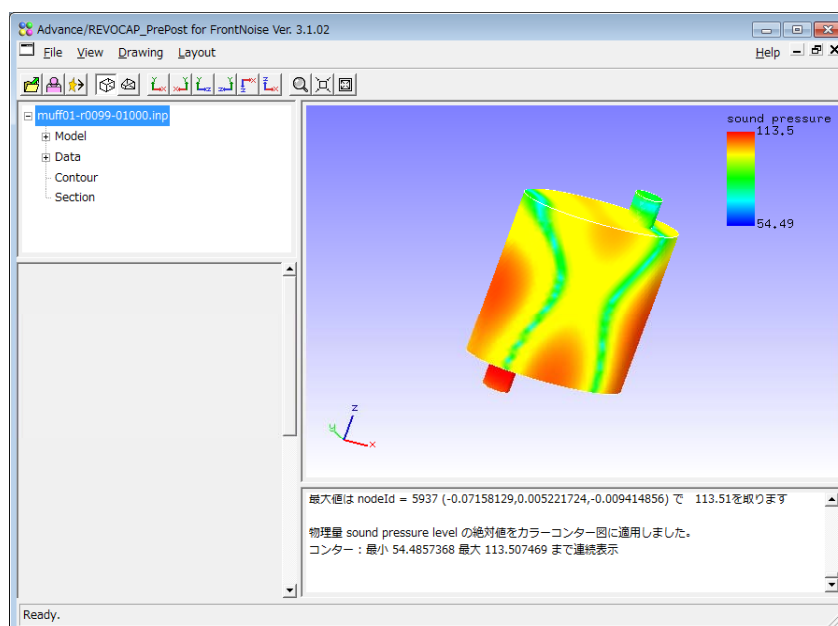
[並列実行]

```
% mpiexec -n 4 fnfem < case01.dat
```

## 手順その9: 結果を可視化する

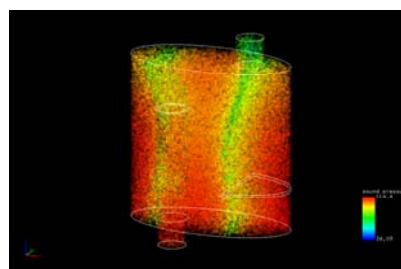
計算機サーバーでの計算結果をPCにコピーして可視化します。

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

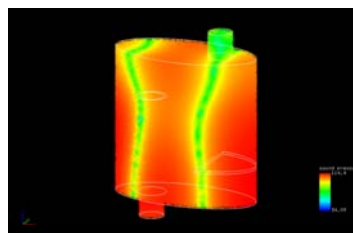


## 新規可視化機能:ボリュームレンダリング

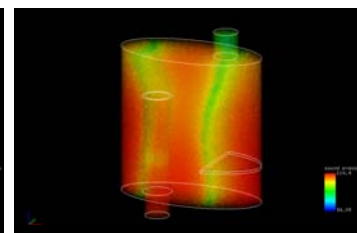
- 連続体を不透明で自己発光する粒子群で表現します(PBVR)。
  - ポリゴンではなくて、点を描画します。
  - 描画点の個数は制御可能であるため、大規模なモデルの可視化手法として有効です。
- 従来多くの可視化ソフトでなされてきた空間の物理量の分布を不透明度で表すものとは別の方法です。



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



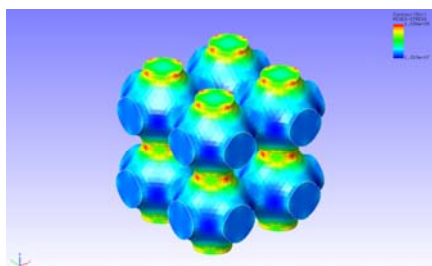
粒子数を変えずにレポートレベルを増やすといわゆるボリュームレンダリング的な可視化が可能

## Advance/REVOCAPの基本情報

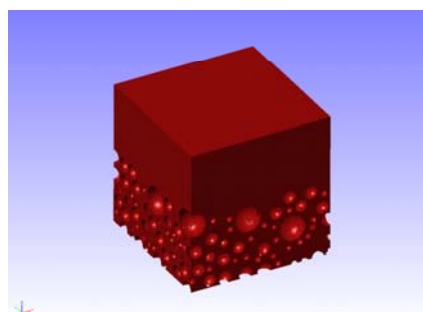
動作環境	Windows7 (32bit, 64bit)、Windows8.1 その他の OS についてはお問い合わせください
形状モデル読み込み	IGES(5.3)、STEP、STL
メッシュ生成	四面体自動メッシュ生成、押し出しメッシュ生成、2次要素対応、粗密制御対応
計算格子読み込み	FrontNoise メッシュ形式、ADVENTURE_TetMesh形式、 (その他各種のフォーマットに対応いたします。詳細はお問い合わせください。) 四面体、六面体、三角柱、四角錐
プリ処理	境界条件周波数テーブル設定機能、音源設定機能、速度場設定機能、 温度場設定機能、周波数設定機能、媒体設定機能
ポスト処理	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)

# メッシュ生成の新たな取り組み

- 従来のCAD形状ファイルから生成するアプローチに加え、空間内の分布からメッシュを作成する機能を追加
  - 二相流解析の結果として得られる固相分布
  - 数式で与えられる結晶構造
  - 半径 $r$ の球体を与える場合は $d(x,y,z)=x^2+y^2+z^2-r^2$
  - CAD形状に対しても、表面からの距離の情報に変換すればよい



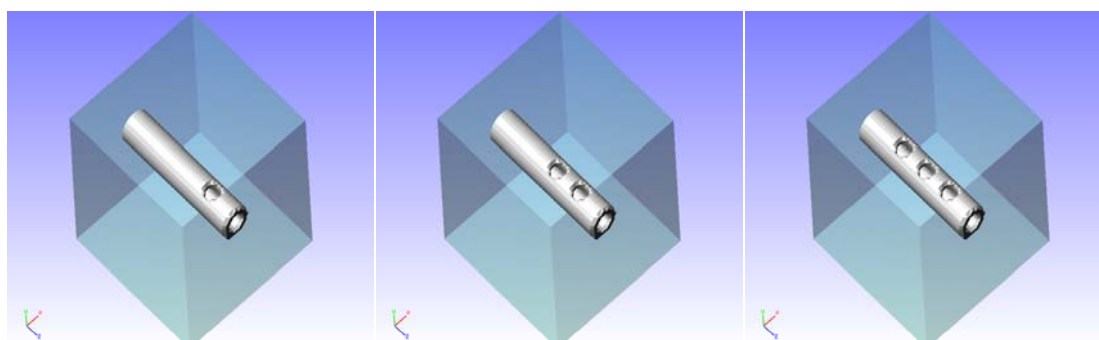
材料科学の分野で現れる三重周期極小曲面の一種SchwarzP曲面



球体をランダム充填した外側の領域

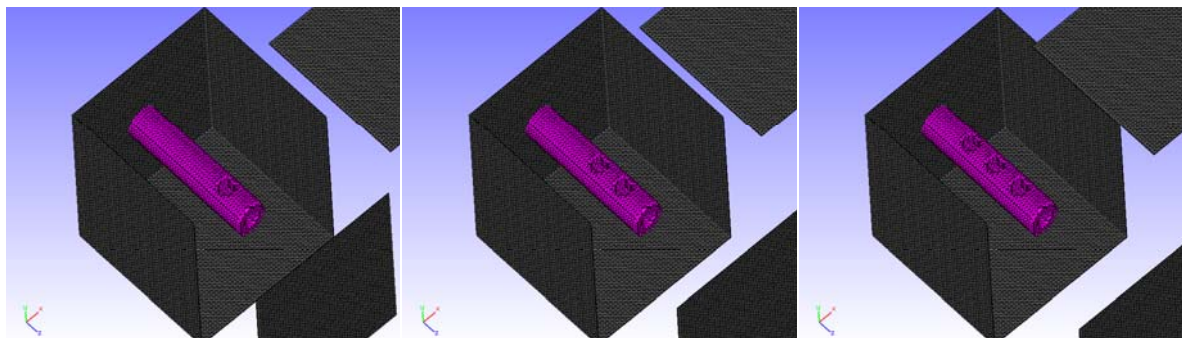
# 事例紹介

- 空間内の分布をもとにメッシュを作成して Advance/FrontNoiseで音響解析を行う例を紹介します
- 笛を模擬した解析
  - 形状は円管に穴を1個から3個空けたもの



# 解析条件

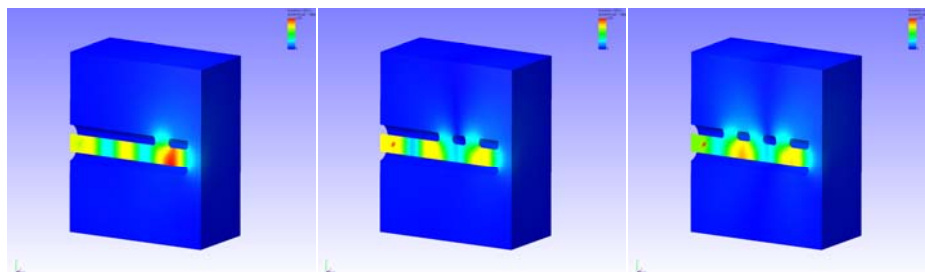
- 空間内の分布からメッシュを生成
  - 音源は円管の入り口に周波数分布一定の点音源を与える
  - 計算領域は円管内部とその周りの空間領域
  - 空間領域の境界は無反射境界



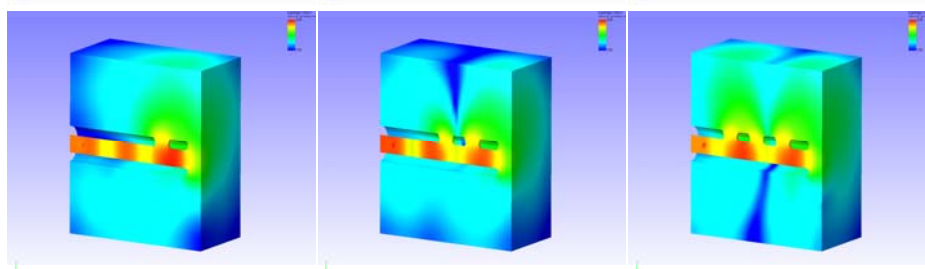
# 解析結果(その1)

- 周波数6000[Hz]の時の円管の断面図

ポテンシャル  
(絶対値)

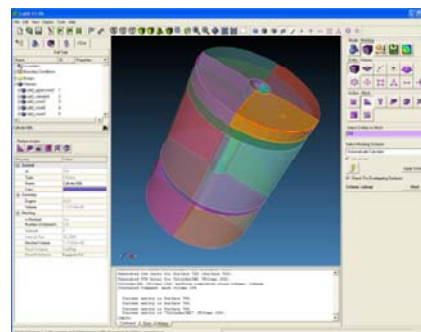


音圧[dB]

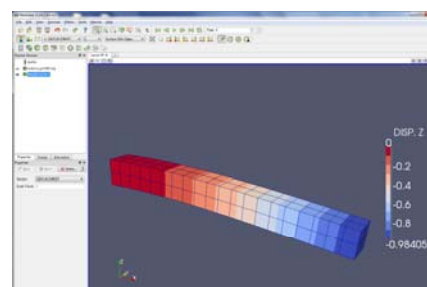


# その他のサービス

- 六面体メッシュ作成ツールキット  
Cube-it
  - ジオメトリ(形状)作成
  - 自動メッシュ生成、マニュアルメッシュ生成



- 可視化ソフトウェア ParaView
  - 可視化に特化した高品位なポスト処理が可能







**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。