

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise 最新動向セミナー

2013年6月13日(木)開催
アドバンスソフト株式会社

本日のプログラム

- 13:30～13:35 主催者挨拶
- 13:35～14:25 音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoiseの機能
- 14:25～14:55 流体・構造解析と音響解析との連成解析
- 14:55～15:10 休憩
- 15:10～15:55 音響解析ソフトウェアの使用方法和適用事例
- 15:55～16:10 汎用プリポストプロセッサAdvance/REVOCAP
for Advance/FrontNoiseの概要
- 16:10～16:30 価格及び関連サービス紹介、質疑応答

アドバンスソフト株式会社のご紹介

営業本部 本部長 内藤 秀晴

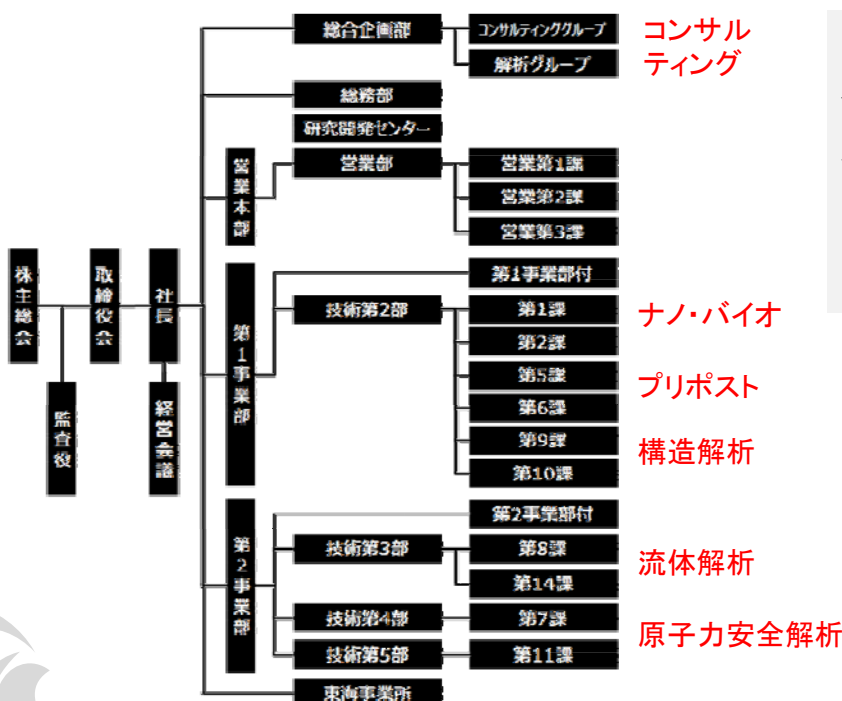
音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise

最新動向セミナー

2013年6月13日(木)開催

アドバンスソフト株式会社

会社概要



名称 アドバンスソフト株式会社

社員数 70名(2013年6月10日現在)

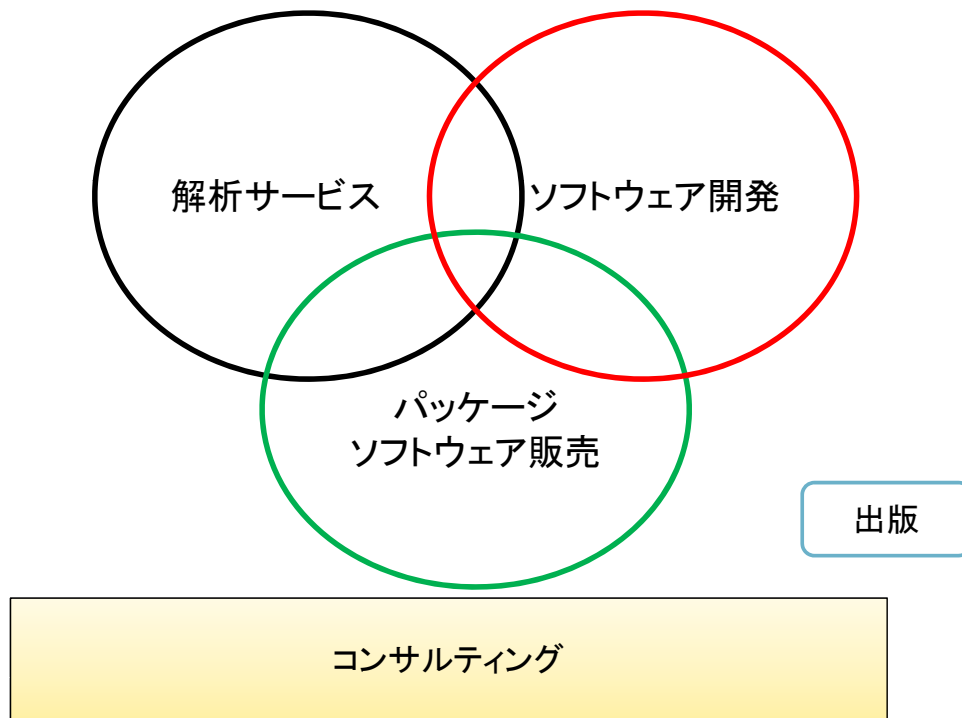
本社 〒107-0052
東京都港区赤坂1丁目9番20号
第16興和ビル南館7階
TEL: 03-5570-1680
FAX: 03-5570-1684

新たな
チャレンジ!

<2013年7月より>

千代田区神田駿河台4-3
新御茶の水ビル17階西

事業内容



事業分野



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	音響解析ソフトウェア
Advance/REVOCAP	構造解析・流体解析プリポストプロセッサ
Advance/PHASE	第一原理バンド計算ソフトウェア
Advance/DESSERT	半導体デバイスシミュレータ

※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は弊社HPをご参照ください。

トピックス

米国Sandia国立研究所等で開発されたソフトウェアの取扱を開始
(2013年8月末取扱開始予定)

メッシュ作成ツールキット

< *Cube-it* >

年間ライセンスの販売(代理店)
利用サポートサービス

可視化アプリケーション

< *ParaView* >

利用サポートサービス

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の概要

第1事業部長 松原 聖

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise

最新動向セミナー

2013年6月13日(木)開催

アドバンスソフト株式会社

ご説明内容

- はじめに
- 開発の経緯
- 基礎方程式
- 境界条件
- 音源
- 数値解法
- まとめ

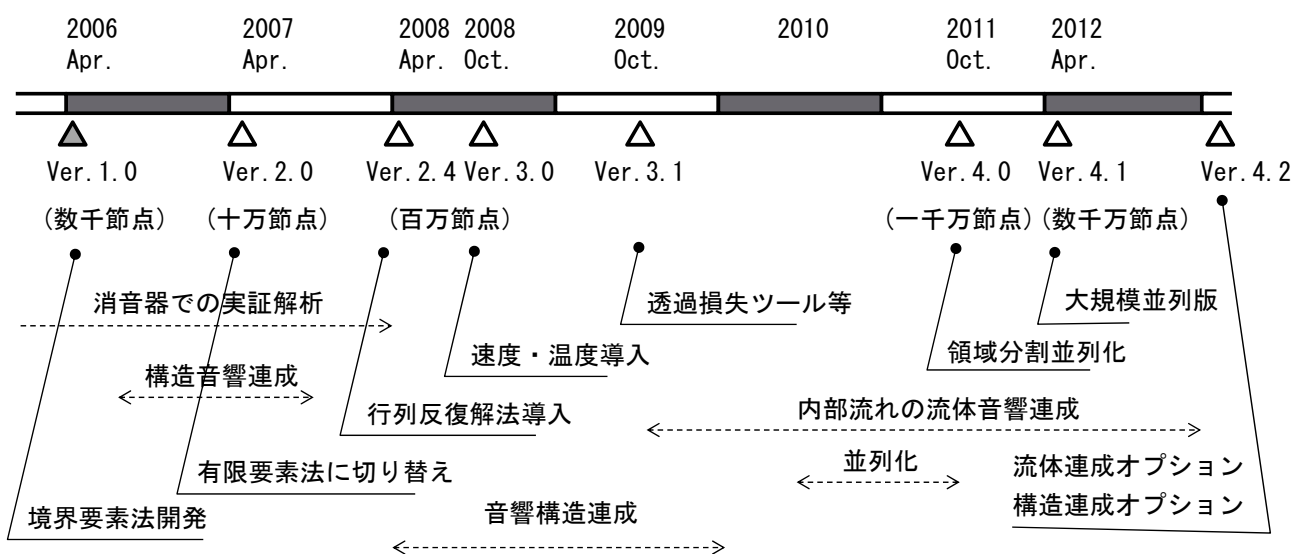
1. はじめに

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。
- その領域を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。**

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

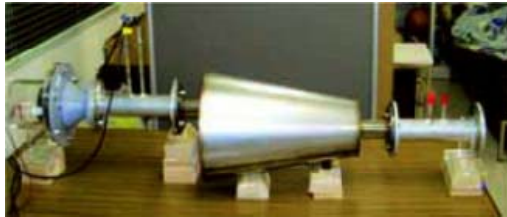
鳥取大学 工学部 機械工学科
西村正治教授

消音器の解析

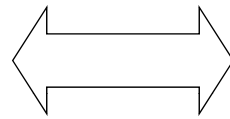
■ 物理モデル

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

■ 実験



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



アドバンスソフト

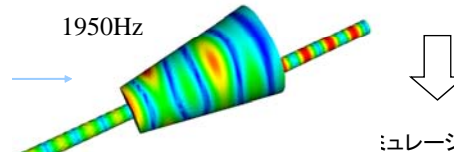
■ シミュレーションモデル

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

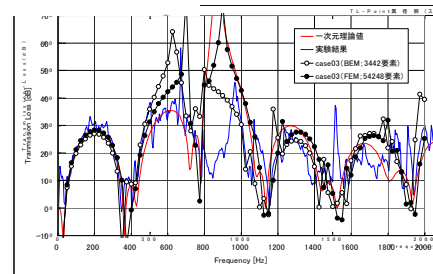
$$\frac{D_0}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_0 \cdot \nabla$$

■ 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

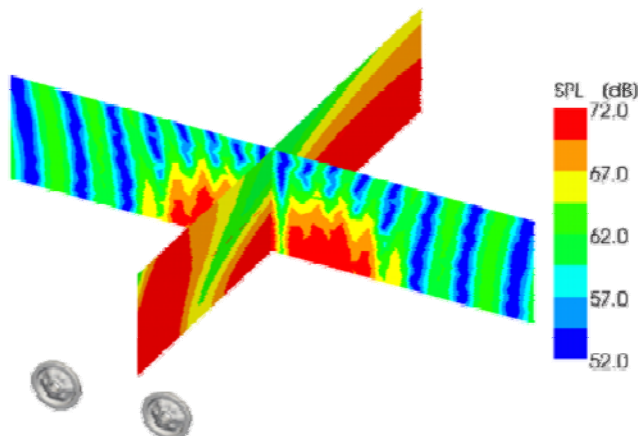
検討・評価

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

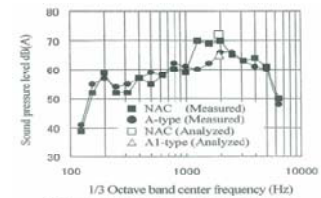
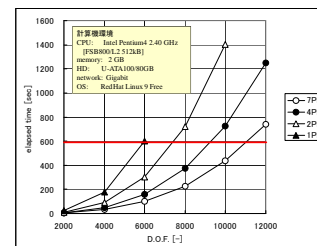
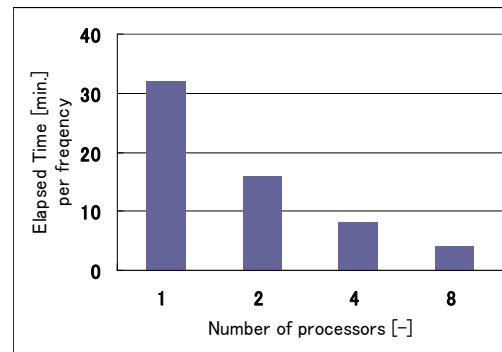
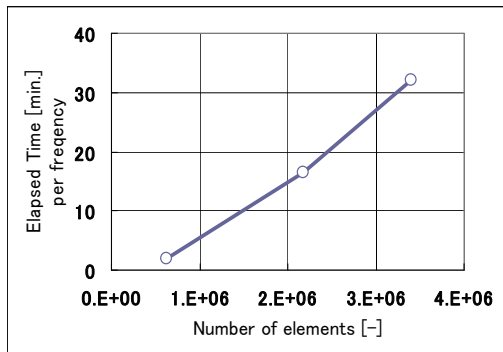
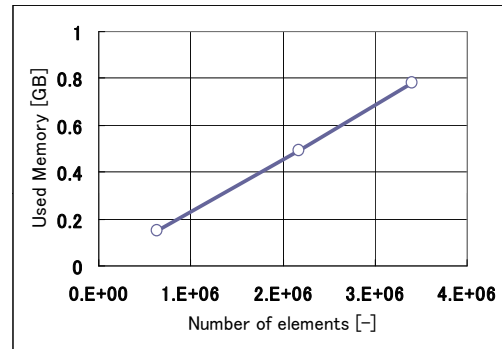


Fig.14 Comparison of spectrums of noise



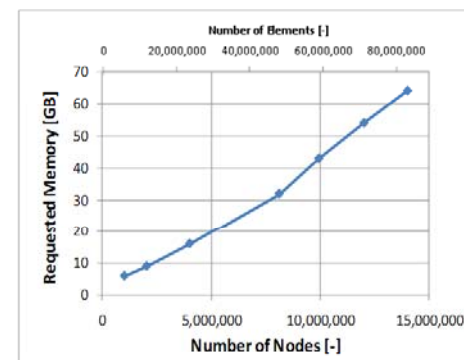
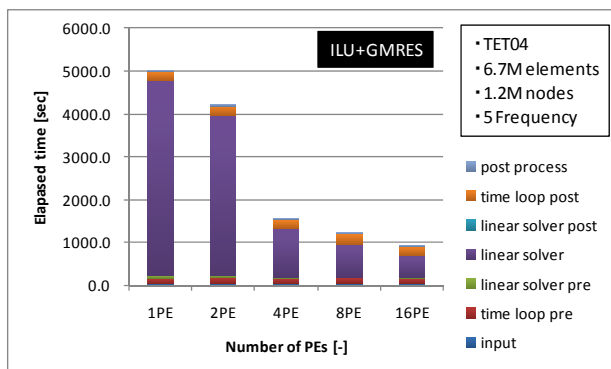
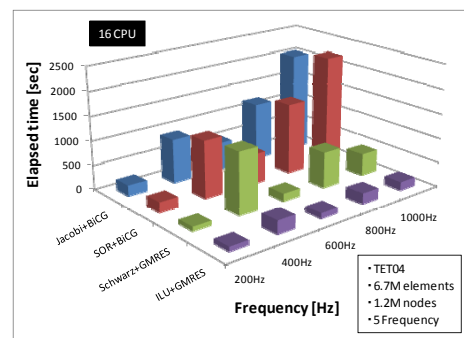
Advance/FrontNoise Ver. 2.0 FEM版

- 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. 3.0 FEM版領域分割並列版

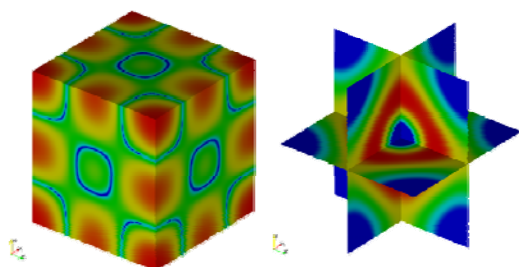
- 四面体一次
- 8000万要素、1500万節点
- 領域分割での並列化
 - メモリ節約し大規模解析可能
 - 並列化効率



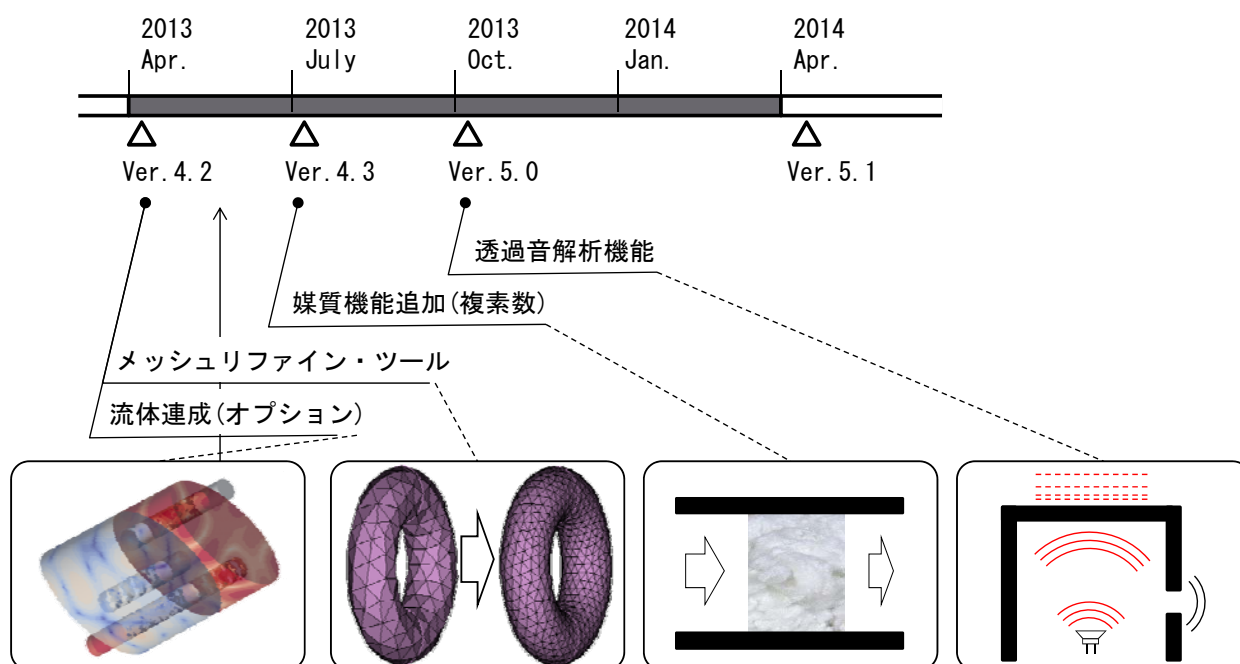
Advance/FrontNoise Ver. 4.0 FEM 大規模解析対応並列版

- 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



今後のバージョンアップ予定



- 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

Advance/REVOCAP for Advance/FrontNoise

- これまでは、市販のメッシュ等との接続をユーザ様に依頼しており、非常に不便をおかけしました。
- 特に境界条件の設定が面倒でした。

↓ これを解決しました

- Advance/FrontNoiseと一体化したプリポストをリリースします。
- 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。

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)

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

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

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

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(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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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	$i\omega\rho$	ρc	0	ρc 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。

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

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

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

加速度も同様に下記の通り。

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

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 ∞ 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

ρc 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。

$$Z = \rho c$$

※ ρc 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

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

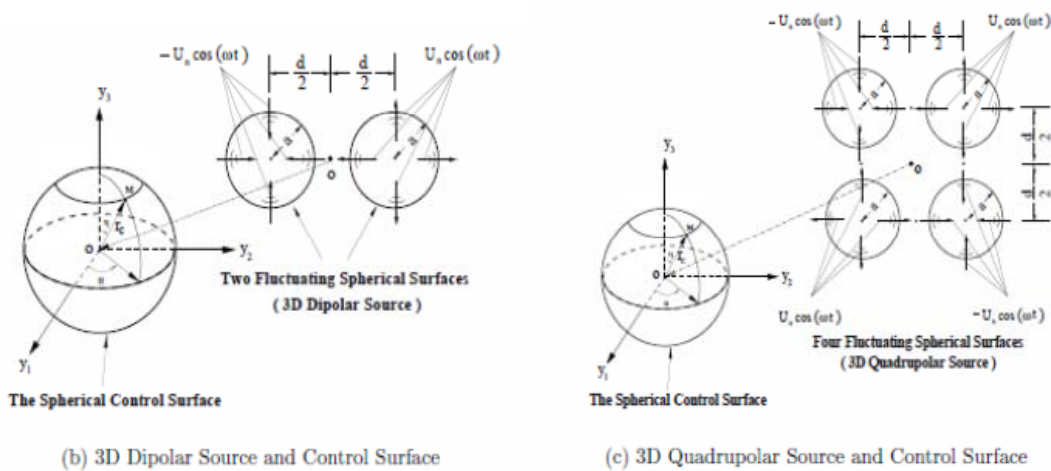


$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x - x_0)$$

q_0 は体積速度であり、単位は m^3 / 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



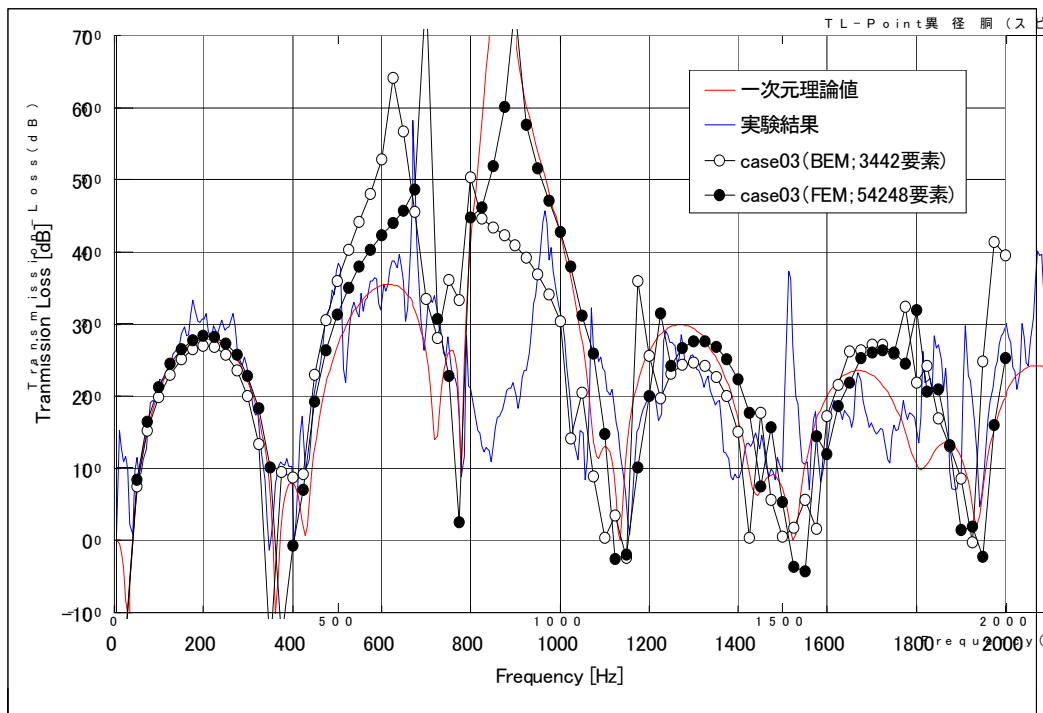
K.Tang; "Numerical Simulation of Flow-Induced Noise by Means of the Hybrid Method with LES and Aeroacoustics Analogy," D論, Fachbereich Maschinentechnik der Universität Siegen(2004)より抜粋

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の開発経緯について示すことにより、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されたソフトウェアである。
 - 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 の解析機能

第1事業部長 松原 聖

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise

最新動向セミナー

2013年6月13日(木)開催

アドバンスソフト株式会社

ご説明内容

- Advance/FrontNoiseの機能
- 解析例(内部問題)
- 解析例(外部問題)
- まとめ

1. Advance/FrontNoiseの機能

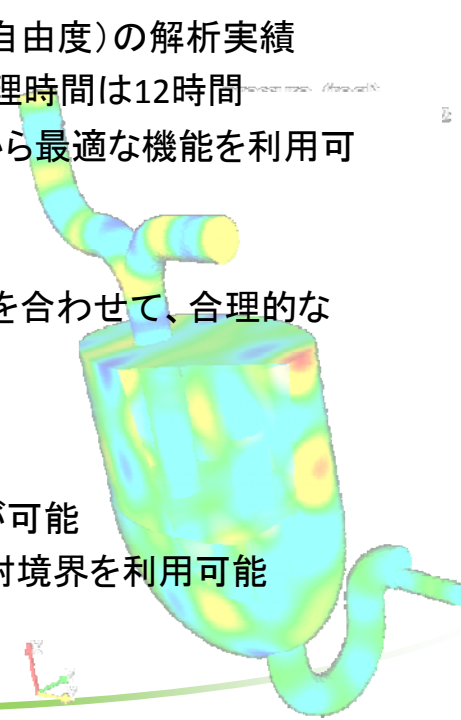
Advance/FrontNoiseで「できないこと」

- 【①プリポストなし】これまでは、Advance/FrontNoiseに対応する専用のプリポストがなかった。
- 【②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の音響ポテンシャルです。
- 【③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。
- 【④ポスト処理ができない】ユーザ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。



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をご提供
 - 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 ρc 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、 ρc 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 Advance/FrontNoiseをご利用ください。お持ちのプリポストとの接続については、ご相談ください。

お客様のニーズにより開発を進めています

□【プリポスト】

- ✓ Advance/FrontNoise用プリポストAdvance/REVOCAP for Advance/FrontNoiseを2013年7月にリリースします。

□【出力機能】

- ✓ 解析結果については、Advance/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 Advance/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。

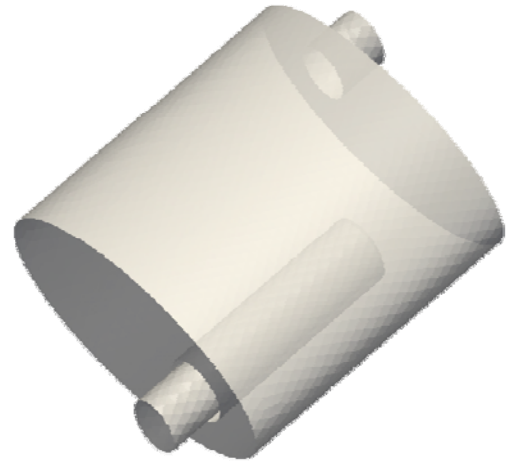
□【ポスト処理】

- ✓ 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。

2. 解析例(内部問題)

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。

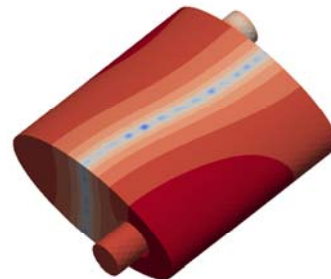
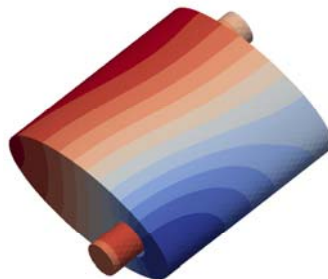


簡易排気系の解析結果

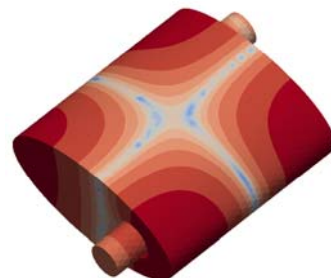
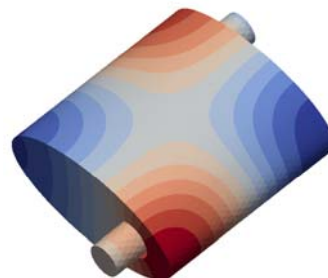
音響速度ポテンシャル

音圧レベル

600Hz

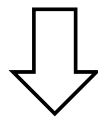
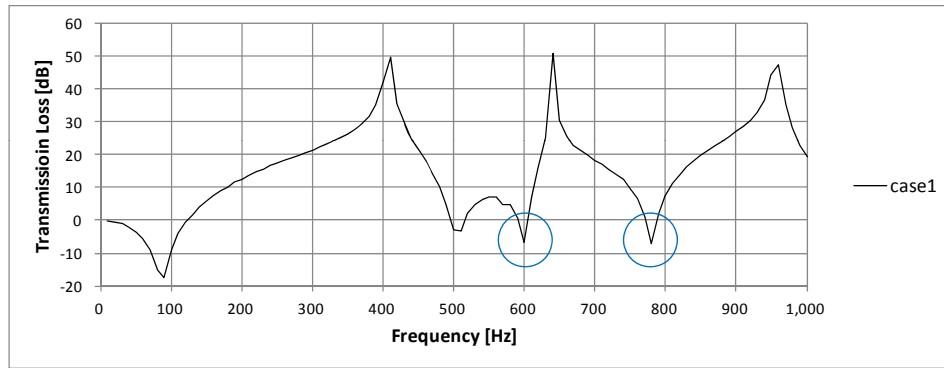


780Hz

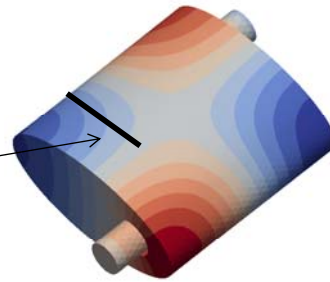


簡易排気系の解析結果(透過損失)

透過損失

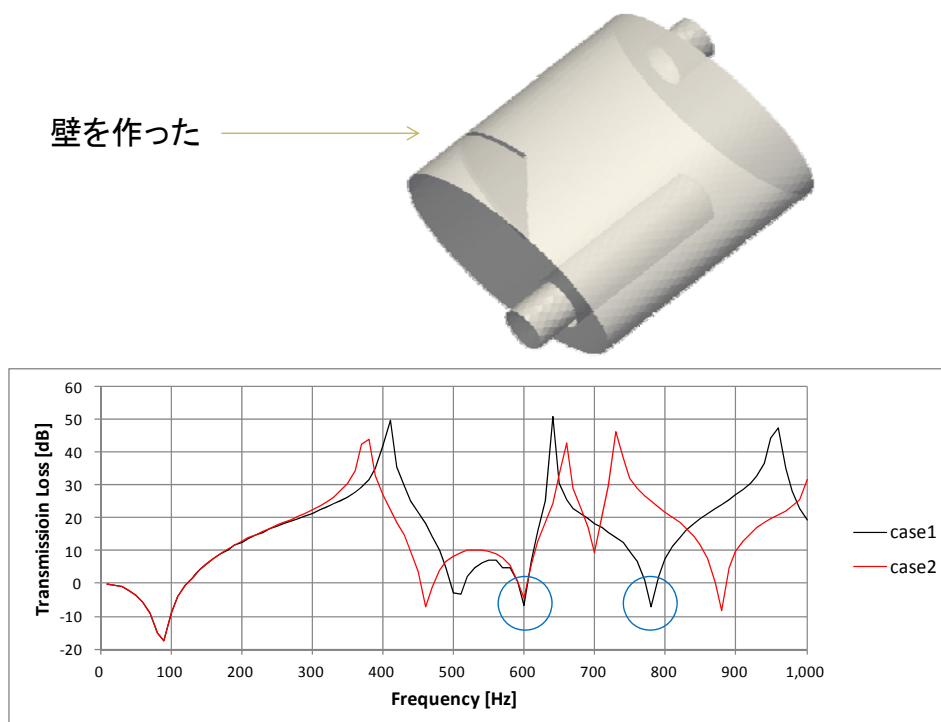


壁を作ったらどうなるか？



簡易排気系の透過損失(内壁あり)

透過損失



壁を作った →

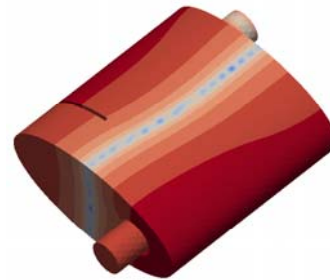
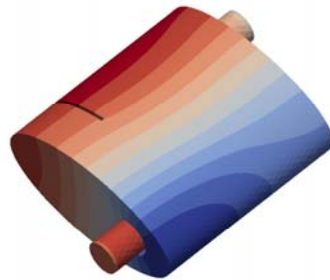


簡易排気系の解析結果（内壁あり）

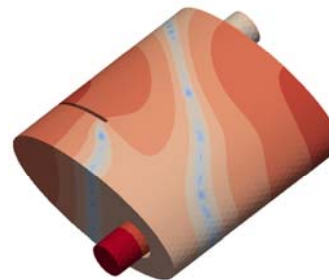
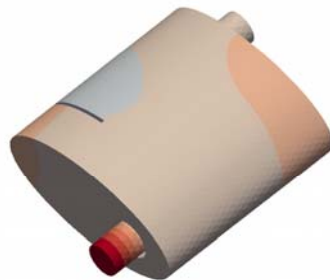
音響速度ポテンシャル

音圧レベル

600Hz

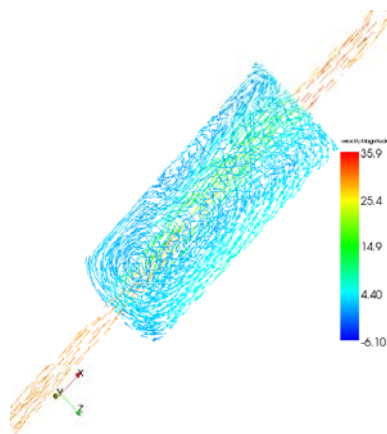


780Hz

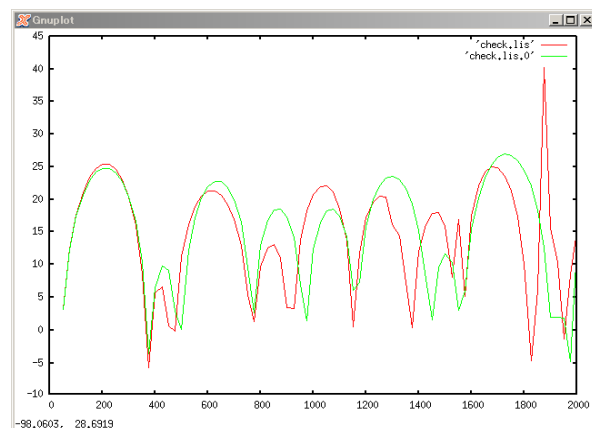


排気系の解析結果（流れあり）

- 空気の流れがある場合、流れが無い場合に比べて、透過損失のピークが高周波数領域で低周波数側へシフトする。

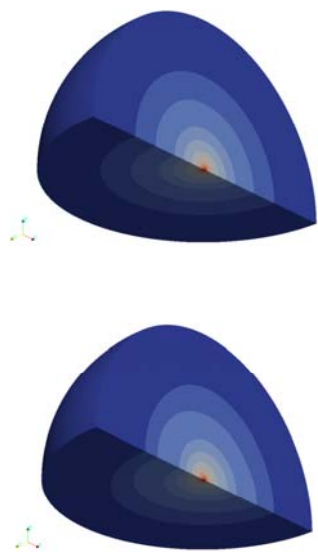
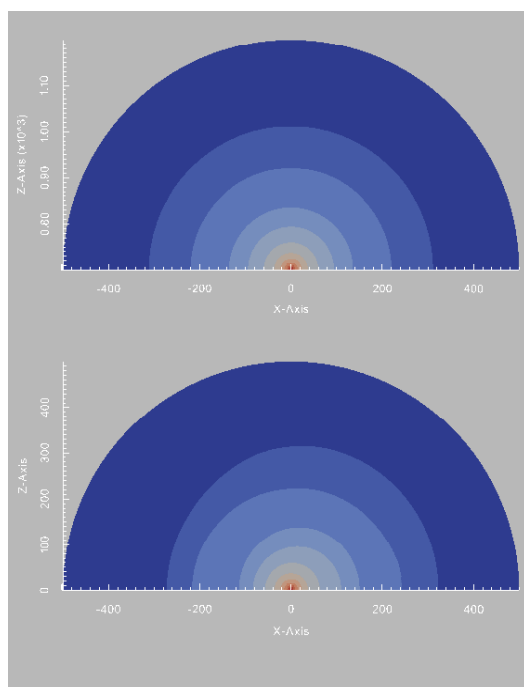


流体計算により得られた流れ場



透過損失（緑：流れなし、赤：流れあり）

音響解析結果への流れの影響



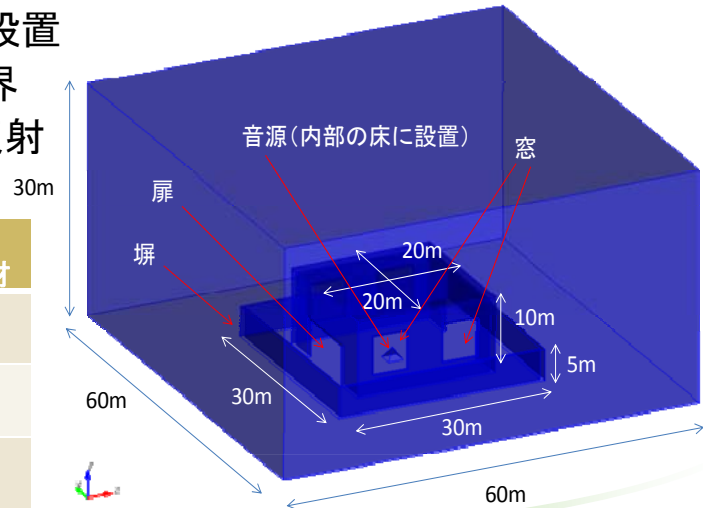
3. 解析例(外部問題)



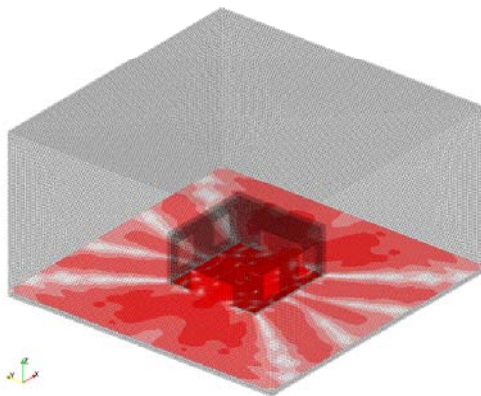
環境騒音の解析

- 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

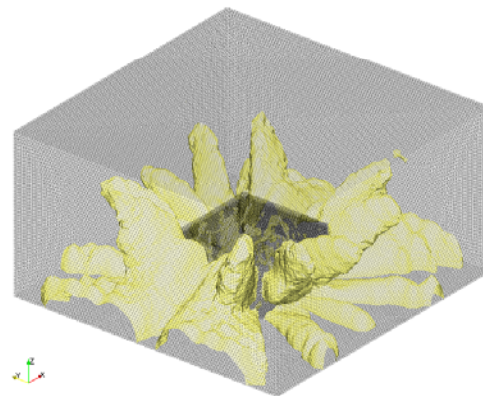
ケース名	塀	塀吸音材	内壁吸音材
ケース2A	NO	NO	NO
ケース2B	YES	NO	NO
ケース2C	YES	NO	YES



環境騒音の解析 (塀のないケース)

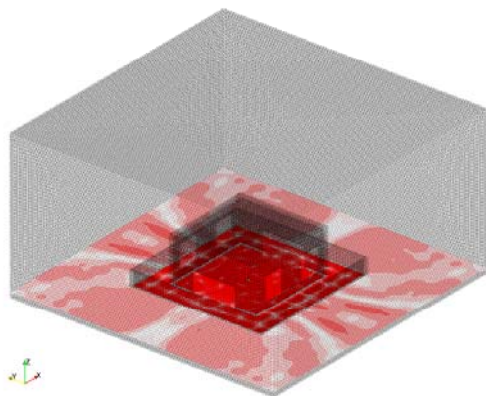


床上1mの騒音レベル

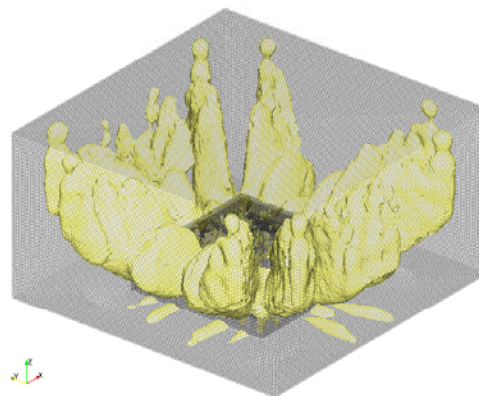


80dBの等値面

環境騒音の解析(塀を設置)

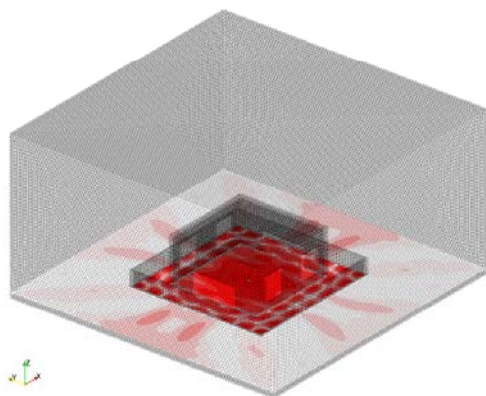


床上1mの騒音レベル

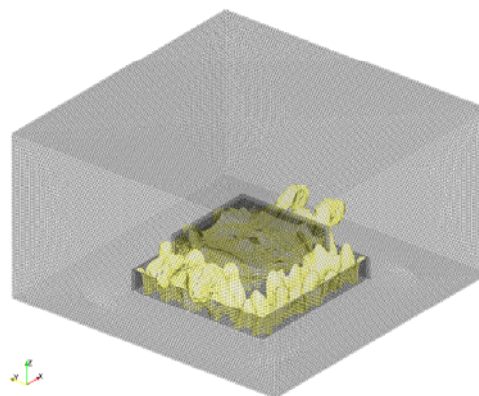


80dBの等値面

環境騒音の解析(壁に吸音材)

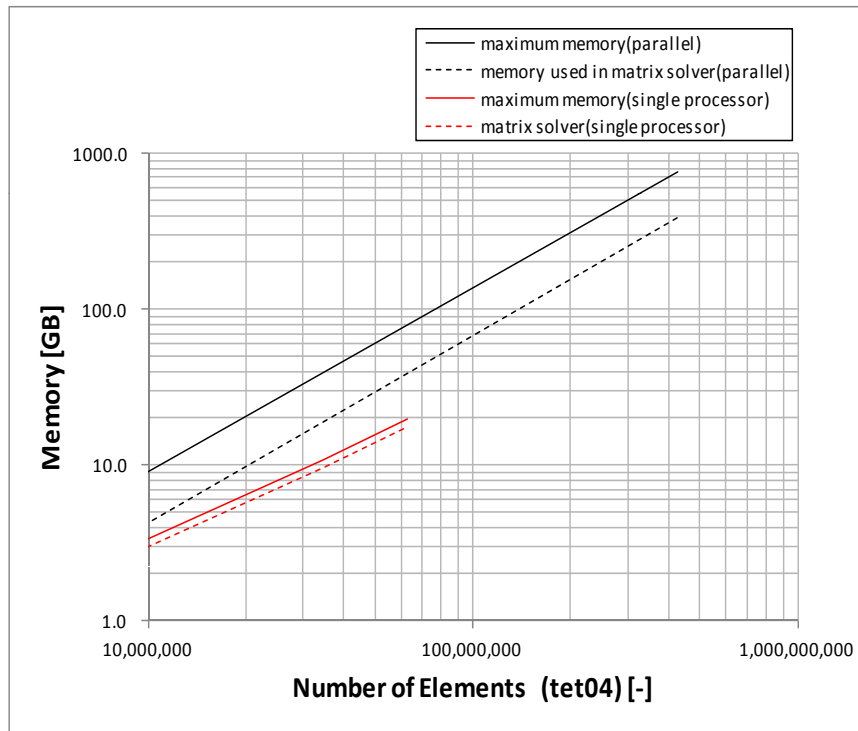


床上1mの騒音レベル

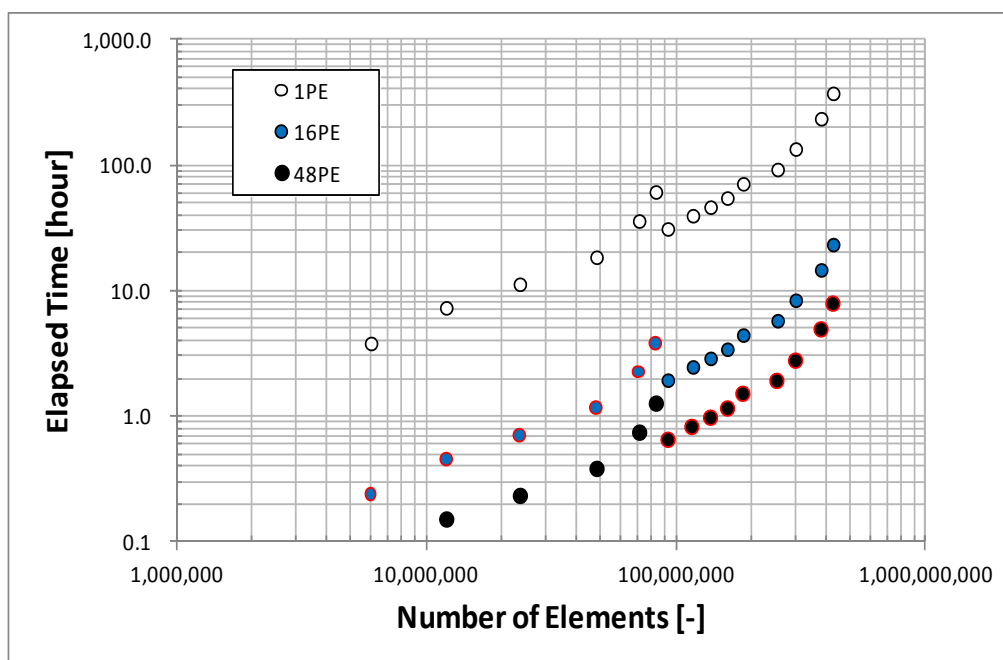


80dBの等値面

大規模解析の使用記憶容量



大規模解析の処理時間



4. まとめ

Advance/FrontNoise解析機能のまとめ

- Advance/FrontNoise では、音源の位置と大きさ等を入力として、解析領域内の音圧レベルを求めます。数値解法には有限要素法を利用しています。要素は形状適合性の高い4面体要素を使用しています。
- Advance/FrontNoise の特長は、①大規模解析が可能、②低コストのソフトウェア、③メンテナンス体制です。大規模解析では、4億要素、7000万節点の解析実績があります。
- Advance/FrontNoiseでは、騒音・音響解析の最小限度必要なコア部分のみを安価で提供いたします。複数CPUでの稼動も同一料金です。さらに、自社開発ソフトのため十分なサポート体制がとれます。また、特定のニーズにカスタマイズが可能(別途料金)です。

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise を利用した連成解析

第1事業部長 松原 聖

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise

最新動向セミナー

2013年6月13日(木)開催

アドバンスソフト株式会社

目次

- はじめに
- マッピング
- 構造音響連成解析
- 流体音響連成解析
- その他の事例
- まとめ

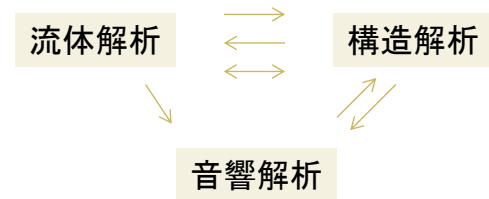
1. はじめに

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。

連成解析に利用する主なソフトウェア

- 当社で開発・販売しているソフトウェア
 - 構造解析: Advance/FrontSTR
 - 流体解析: Advance/FrontFlow/red
 - 流体解析: Advance/FrontFlow/FOCUS
 - 音響解析: Advance/FrontNoise
 - その他、物理量のマッピングソフトを利用
- 共通する特徴
 - 大規模並列計算を得意とする
 - 1ライセンス1ジョブで並列数無制限



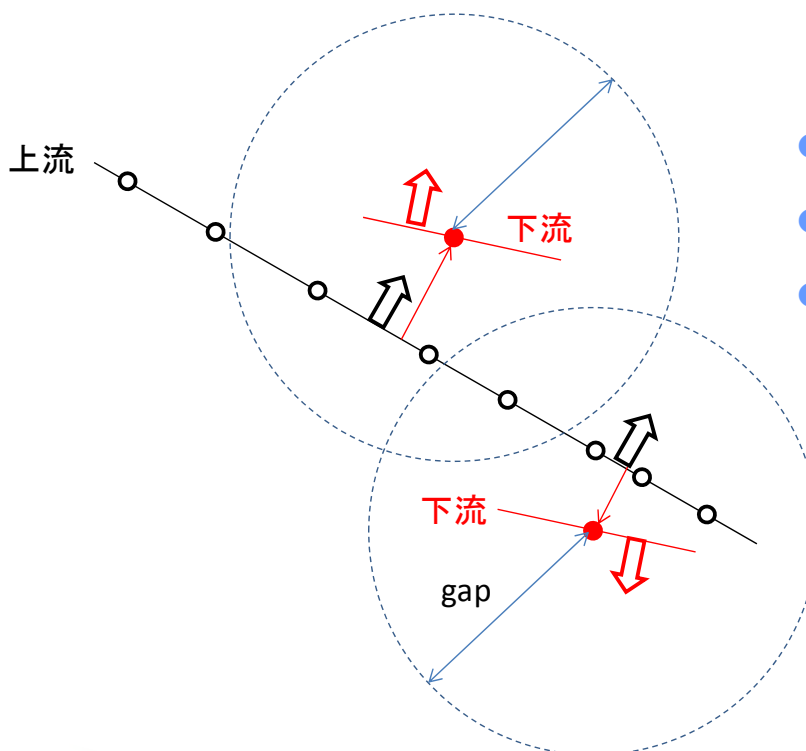
2. マッピング



連成解析での物理量のやりとり

- 格子系から異なる格子系に物理量を補間して渡す(マッピングと呼んでいる)
- 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/しないの選択可能
- 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

マッピングのアルゴリズム



- 上流・下流
- ギャップ
- 法線方向

3. 構造音響連成解析

構造音響連成解析

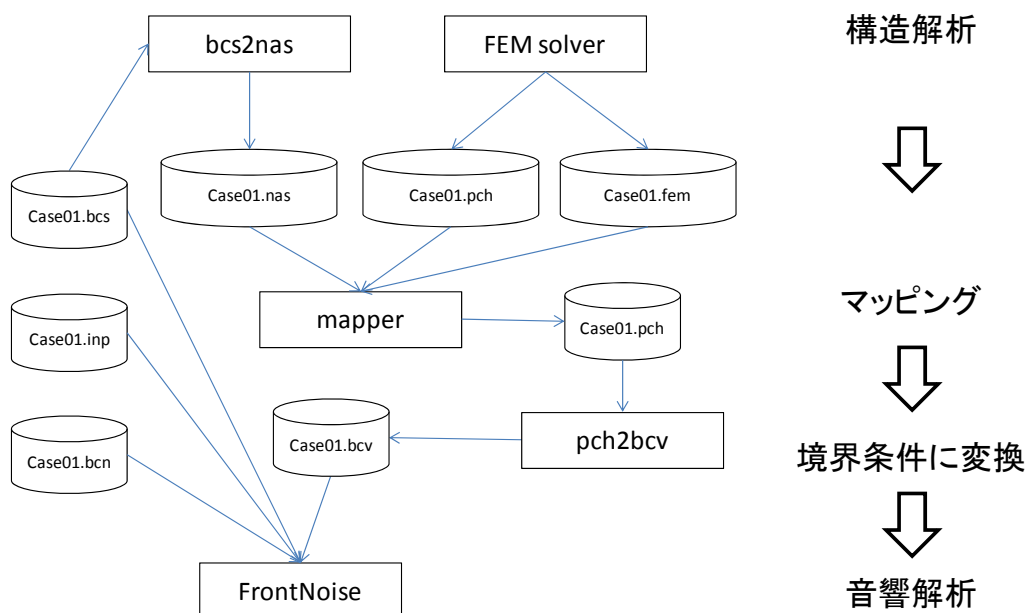
- 構造解析で求めることができた構造物表面の振動を周波数領域に変換し音響解析の音源とします。
- 一般には、構造解析領域の外側を音響解析の解析領域となります。
- 構造物中の透過音を求める機能は現在開発中です。

構造解析結果の利用(含予定)

- i. 構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTR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。
- ii. 解析結果をフーリエ変換する。
- iii. 構造メッシュから音響メッシュに物理量をマッピングする。
- iv. 係数を乗じて、境界条件を作成する。
- v. 音響解析を実施する。

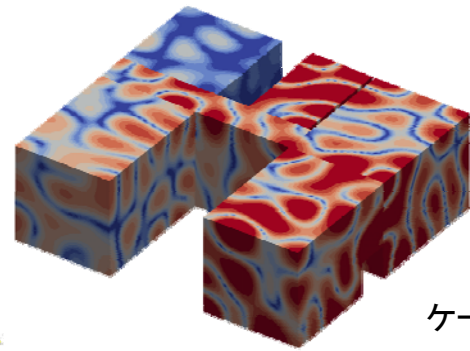
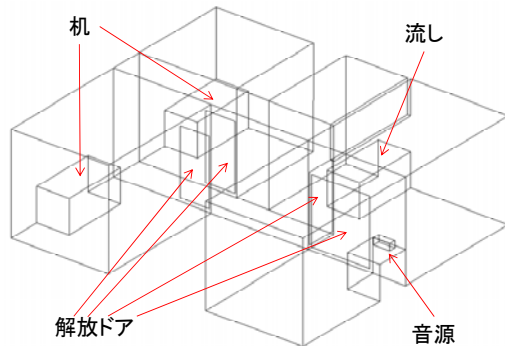
上記項目のうち、iii)~v)はすでにリリース済である。ただし、i)とii)については未リリース。

構造音響連成解析のフロー

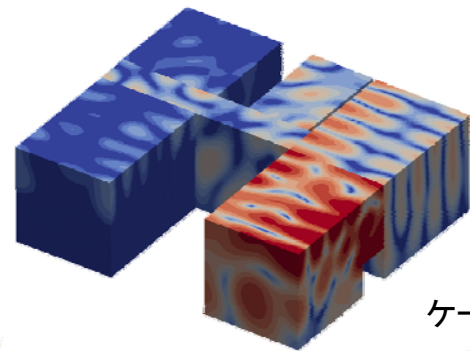


構造解析結果を音源とした音響解析例

● 室内の音圧レベルの解析



ケース1



ケース2

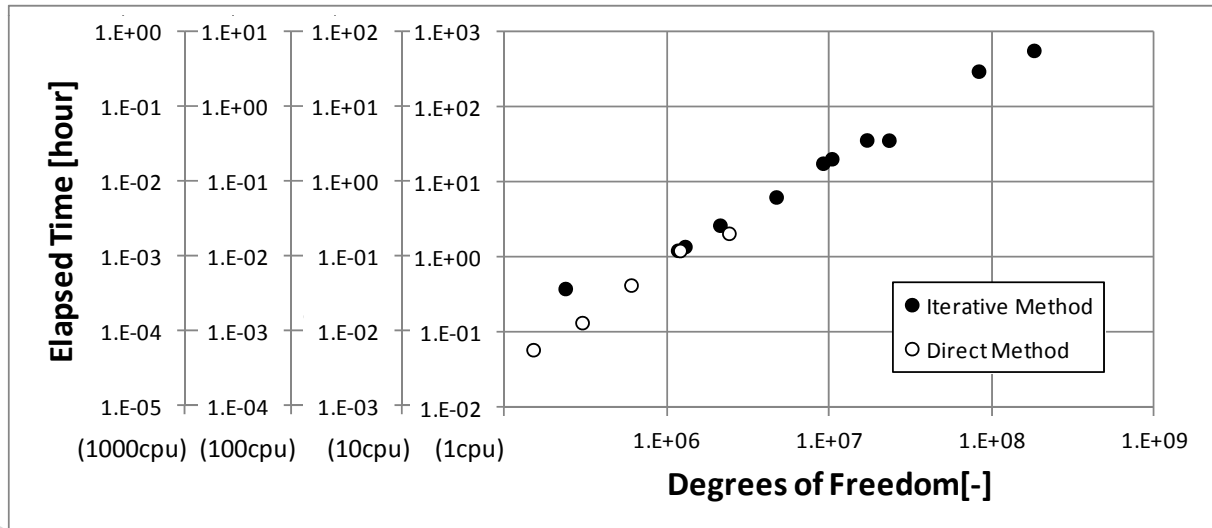
ケース名	音源	床	壁
ケース1	構造解析	完全反射	完全反射
ケース2	構造解析	完全吸収	完全反射

Advance/FrontSTRの特長

- 大規模並列計算が可能で、高い並列効率
→ 例えば、静解析1ステップの2億自由度を1000コアで30分
- 多くのCPU(コア)を利用しても、追加料金がかからないシンプルな価格体系
- 低価格で、必要な機能を提供
→ 例えば、接触解析、アセンブリ構造、リファイナーを装備
- 開発者によるサポートおよびカスタマイズサービスを提供

Advance/FrontSTRによる高速な処理

- 1ライセンスで並列数無制限実行可能
- 高いスケーラビリティ



4. 流体音響連成解析

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

- 固体表面の流体圧力変動による音源

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

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



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



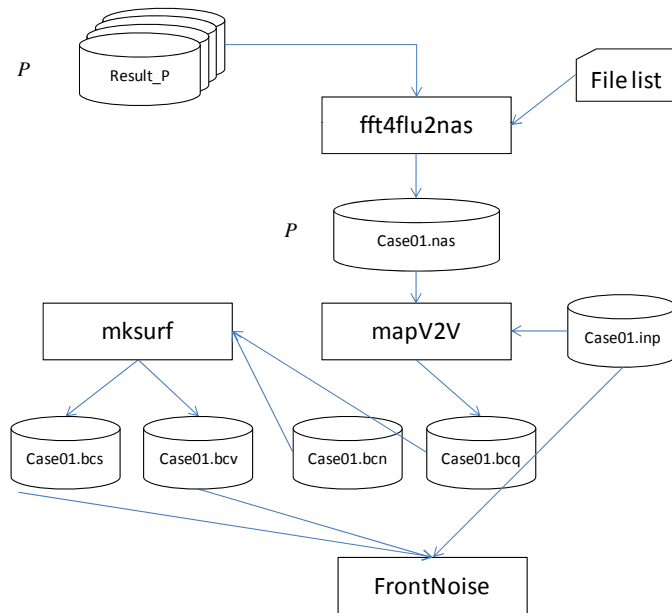
$$\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x) \frac{\partial \varphi(x)}{\partial n} = f(x)$$

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

$$\beta(x) = 0$$

$$f(x) = -p_i(x)$$

二重極音源設定のフロー



流体解析圧力
↓
FFTで周波数に変換
↓
マッピング
↓
境界条件に変換
↓
音響解析

四重極音源の取扱い(方程式)

N-S eq.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right)$$

Euler eq.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i}$$

Lighthill's eq.

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \rho}{\partial t} - c^2 \nabla^2 \rho = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial p}{\partial x_i} = -c^2 \nabla^2 \rho$$

$c = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_s}$
 isentropic

$$-\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -c^2 \nabla^2 \rho$$

四重極音源の取扱い(音源項)

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c^2 \nabla^2 \rho = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}, \quad T_{ij} = \rho v_i v_j \quad \text{or} \quad T_{ij} = \rho u_i u_j + \delta_{ij} \left((p - p_0) - c^2 (\rho - \rho_0) \right)$$

$$-\frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right)$$

$$p - p_0 = c^2 (\rho - \rho_0)$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \nabla^2 p = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

$$P = -\rho \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

$$\frac{\rho}{c^2} \frac{\partial^3 \Psi}{\partial t^3} - \rho \nabla^2 \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

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

$$\frac{\rho}{c^2} i \omega^3 \varphi - \rho \nabla^2 (-i\omega) \varphi e^{-i\alpha t} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

$$\rho i \omega \left(\frac{\omega^2}{c^2} \varphi + \nabla^2 \varphi \right) = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

$$k = \frac{\omega}{c} \left(= \frac{2\pi\nu}{c} \right)$$

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

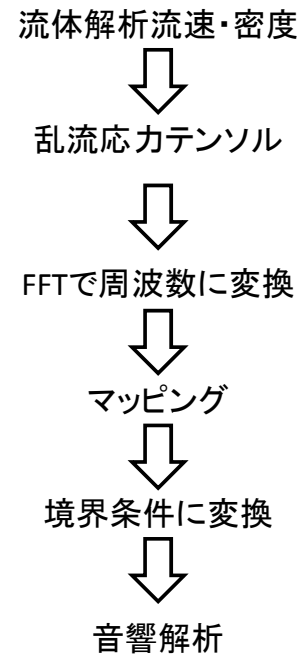
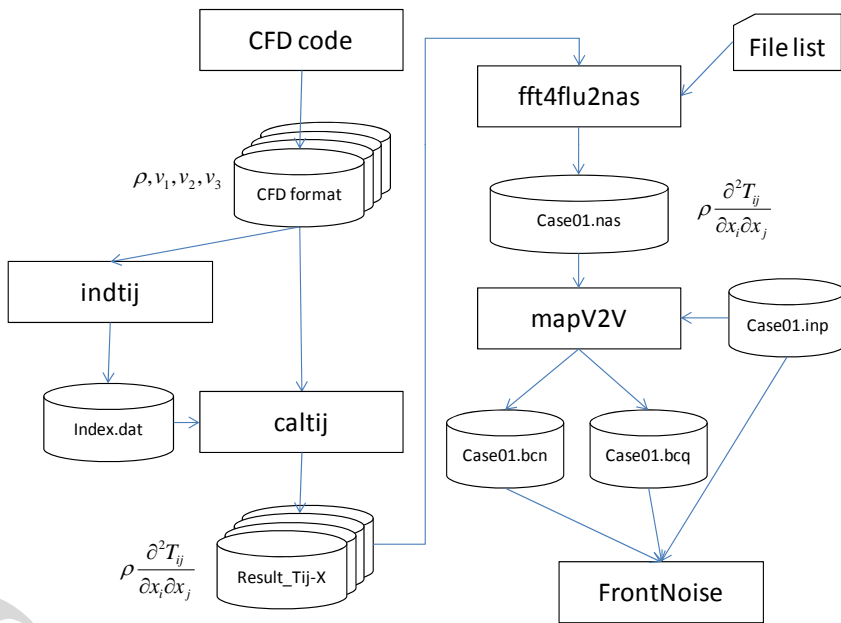
Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

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の乱流応力カテンソルを求める T_{ij}
- iii. 乱流応力カテンソルの2階微分を求める。 $\frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$
- iv. 乱流応力カテンソルの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。

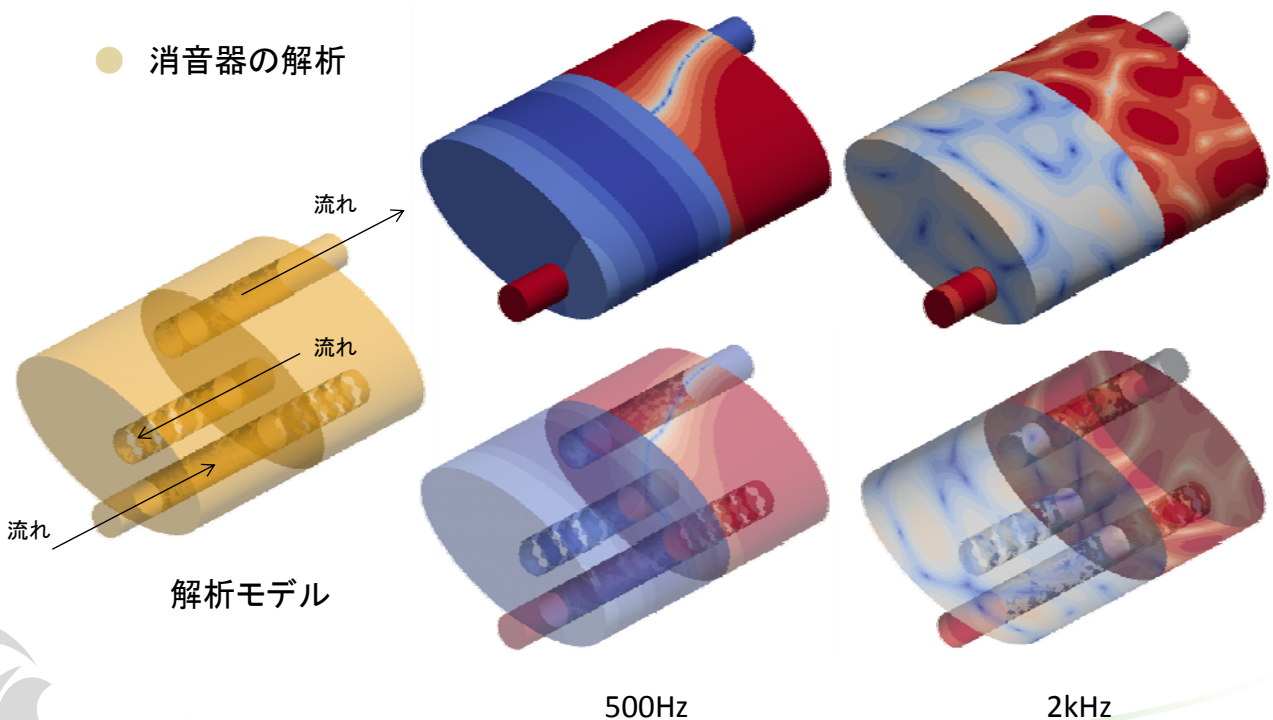
$$\nabla^2 \varphi + k^2 \varphi = -i \frac{1}{\rho c k} \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$
- vii. 音響解析を実施する。

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



5. その他の解析事例

列車の車輪振動による環境騒音

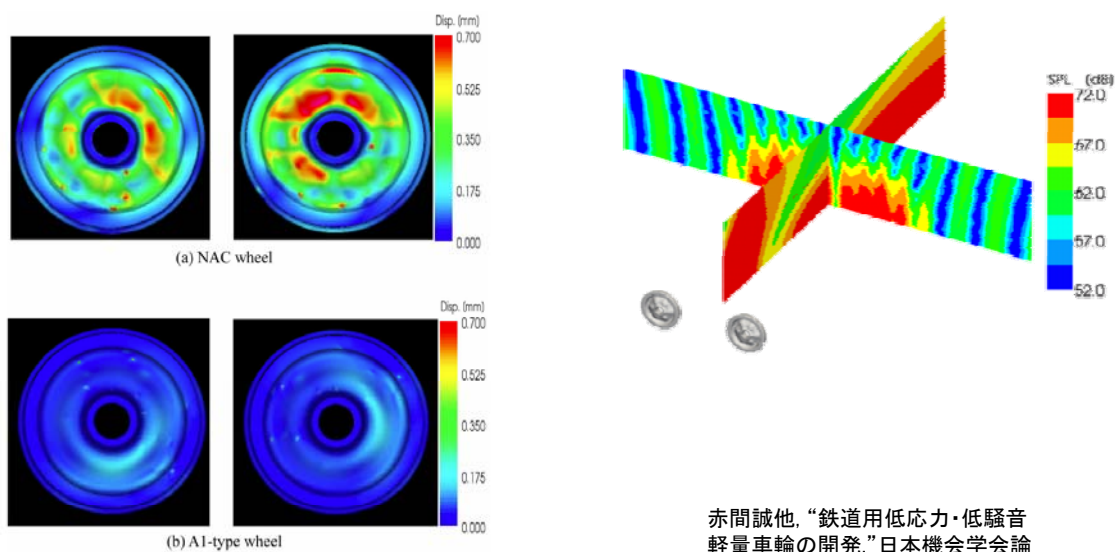


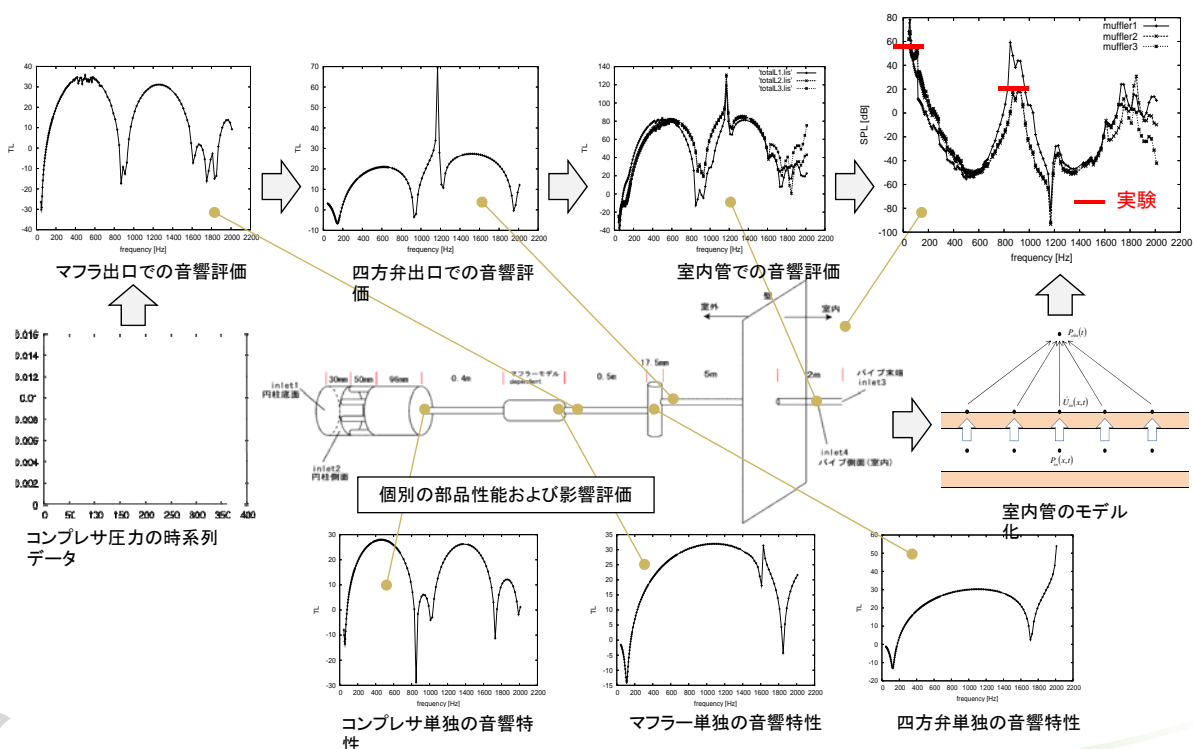
Fig. 10 Distributions of the vibration displacement (wheel load, 59 kN; train speed, 100 km/h)

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

空調機の騒音評価

- 空調機による室内騒音の評価を実施した。ここでは、コンプレッサを音源として空調機管内を伝播し、室内に到達することが原因で、騒音が発生する
- 実験から得られたコンプレッサの時系列のガス圧脈動データを音源とした。
- 途中機器の形状を詳細にモデル化することにより、音響特性を評価した。
- 管内の音響結果を用いて、管の内面から外面への音響伝播と管表面からの解析解による音響放射を適用して、室内における騒音レベルを評価した。
- 室内での騒音レベルを、実験と比較し、非常によく一致する結果を得た。

空調機の騒音評価



6. まとめ

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。

- 構造解析: Advance/FrontSTR
- 流体解析: Advance/FrontFlow/red
- 音響解析: Advance/FrontNoise

- プリポスト: Advance/REVOCAP



参考文献

- 音響
 - P.Morse, K.Ingard, "Theoretical Acoustics," Princeton(1968)
 - M.Howe, "Theory of Vertex Sound," Cambridge(2003)
 - 西村正治ら, "機械音響工学," コロナ社(2004)
 - 城戸健一, "基礎音響工学," コロナ社(1977)
- 流体
 - C.Wagner, "Large-Eddy Simulation for Acoustics," Cambridge(2007)
 - その他、論文
- 数値解法
 - S.Kirkup, "The Boundary Element Method in Acoustics," Integrated Sound Software(1998)



音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の使用方法

第1事業部長 松原 聖

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise
最新動向セミナー
2013年6月13日(木)開催
アドバンスソフト株式会社

ご説明内容

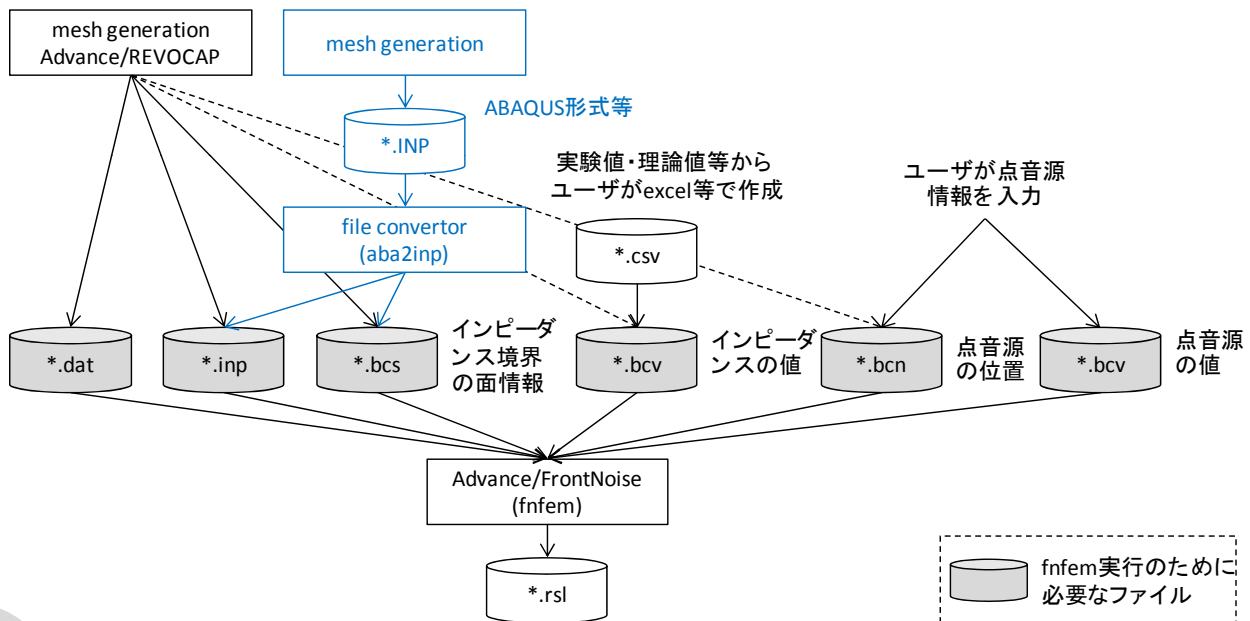
- Advance/FrontNoiseの使い方
- ツールの使い方
- まとめ

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)

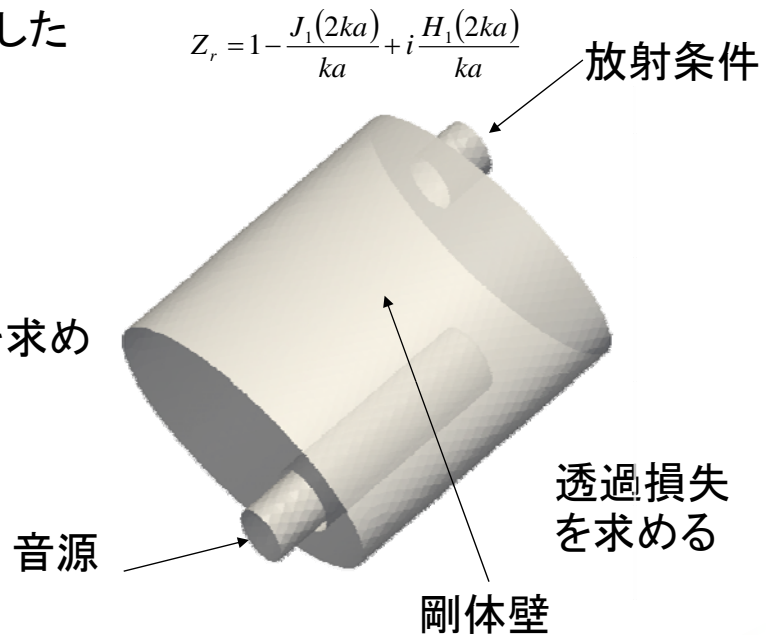


解析手順

- 格子を作成する。
 - 四面体一次要素
- 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。

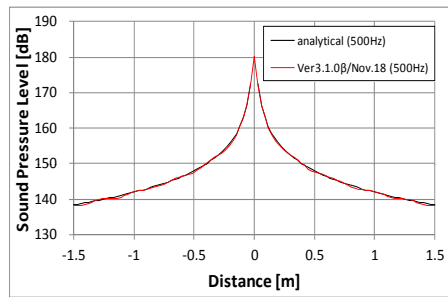


格子データの作成、格子幅の基準

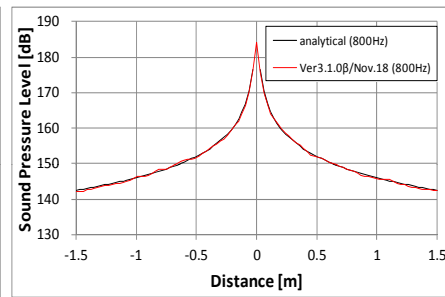
- Advance/REVOCAPでメッシュを作成する。
- 四面体1次要素で格子データを作成する。
- FrontNoise形式でexportし、Advance/FrontNoiseの入力データとする。
- 使い方はやや面倒になるが、REVOCAP以外のメッシュも利用することは可能である。その場合には、特定の形式で出力し、FrontNoise形式に変換する。

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

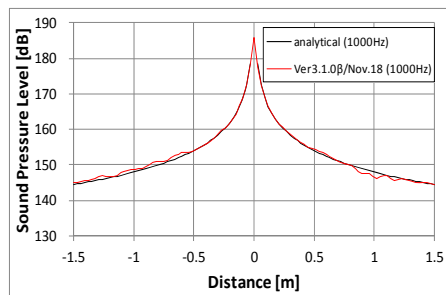
格子幅に対する精度



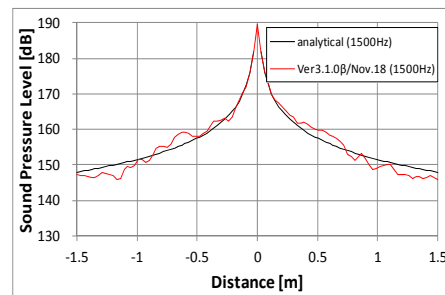
Δx が波長の1/12



Δx が波長の1/8



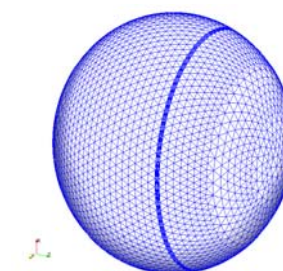
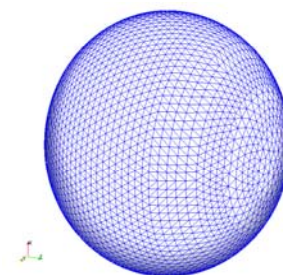
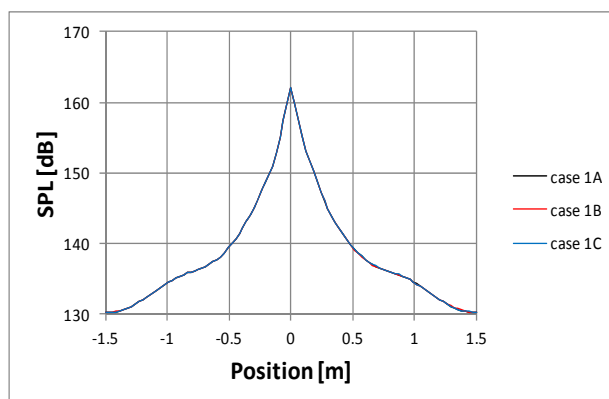
Δx が波長の1/6



Δx が波長の1/4

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。



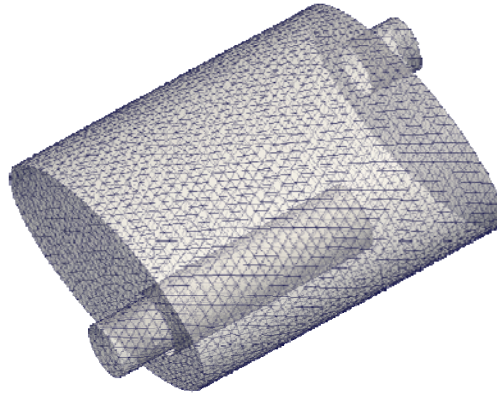
格子データ*.inpと境界条件*.bcs

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

境界条件ファイル2(.bcv)

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 ³]
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 Ver4.2
-----
April 1, 2013
-----
< 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]
-----

```

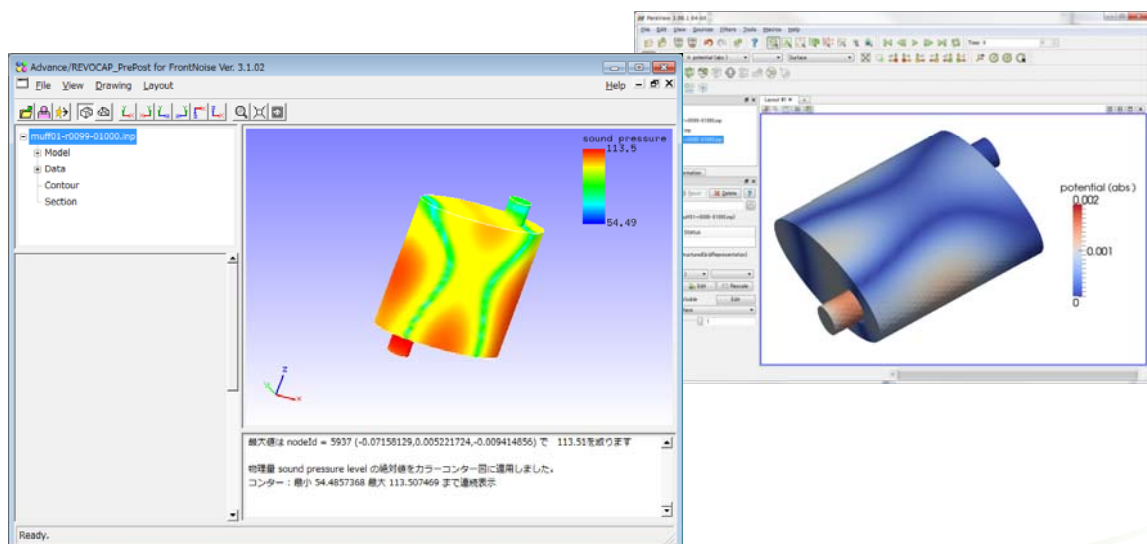
***** ACCOUNTING TABLE OF THE CPU-TIME *****

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

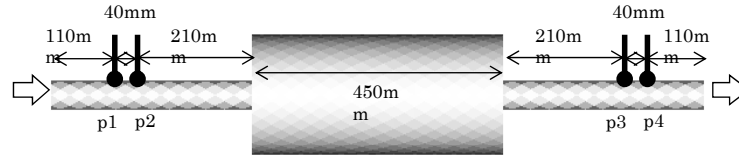
可視化ファイル(コマンド: rsl2inp)

- 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。



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

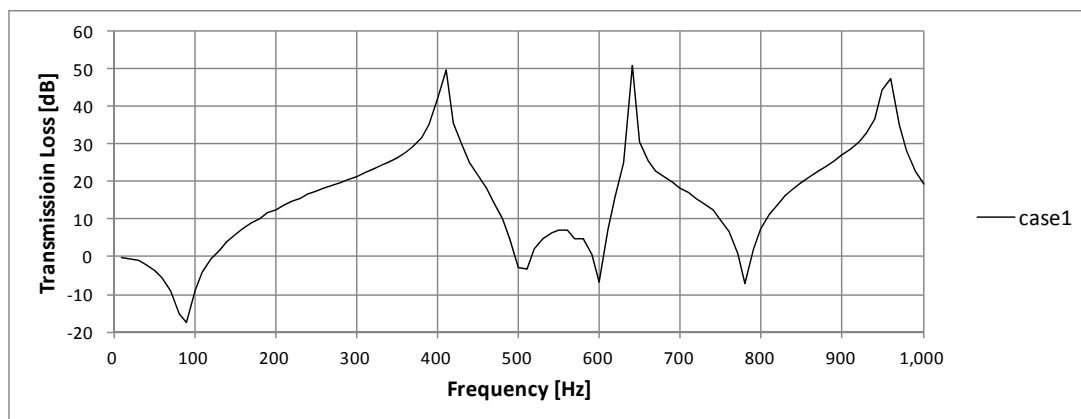
$$R_1 = -\frac{H_{12} - H_{12r}}{H_{12} - H_{12l}} \quad R_3 = -\frac{H_{34} - H_{34r}}{H_{34} - H_{34l}}$$

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

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

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



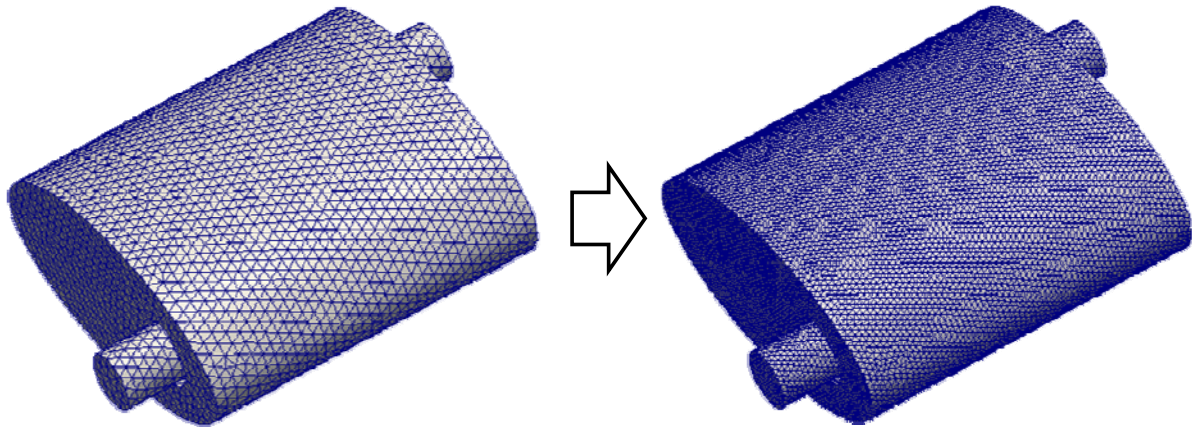
利用可能なツール

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	difrsl
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



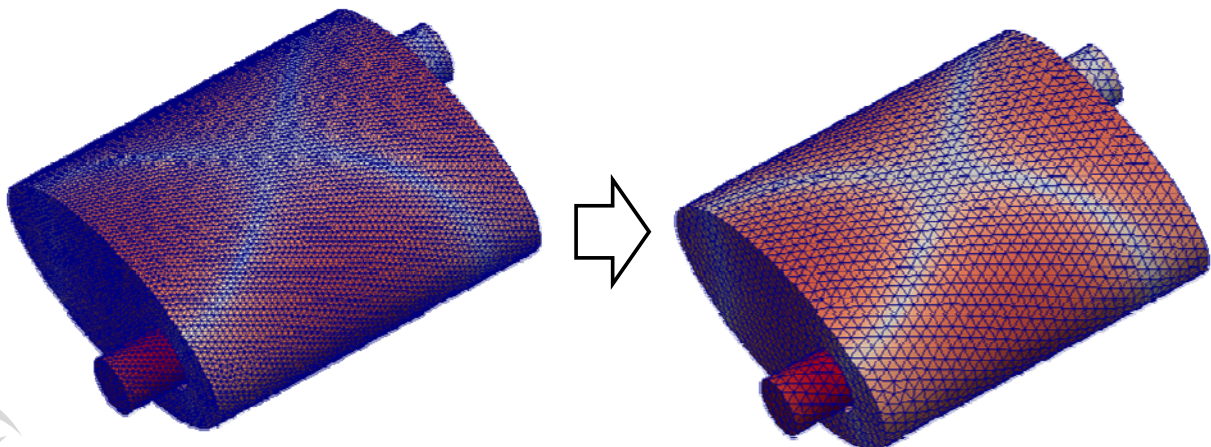
メッシュ細分化(コマンド: refine)

- 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。

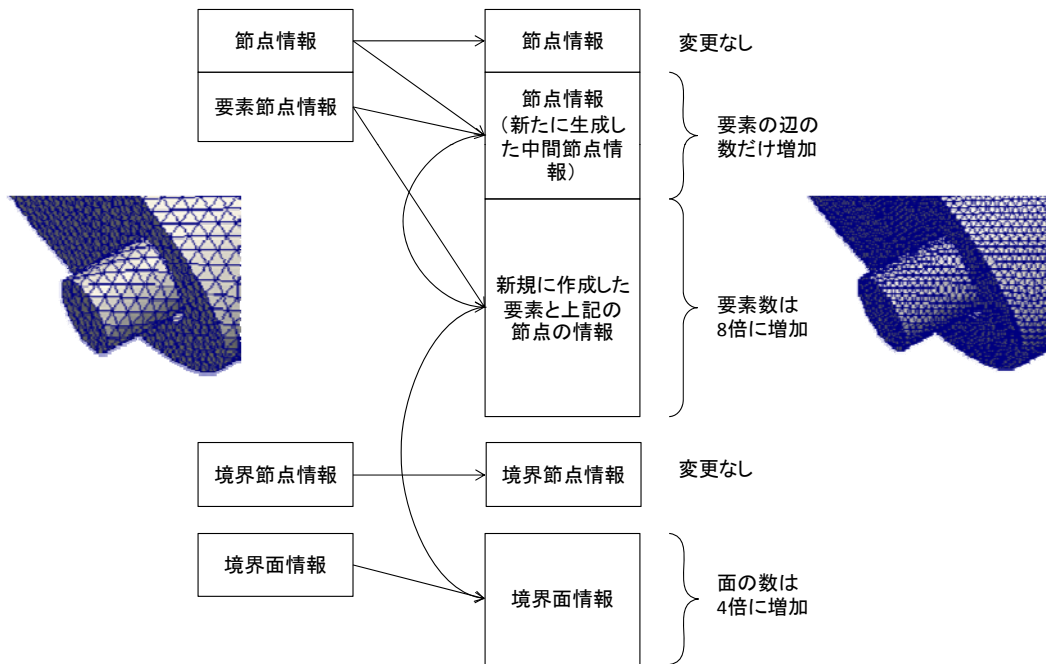


計算結果粗視化ツール

- 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。

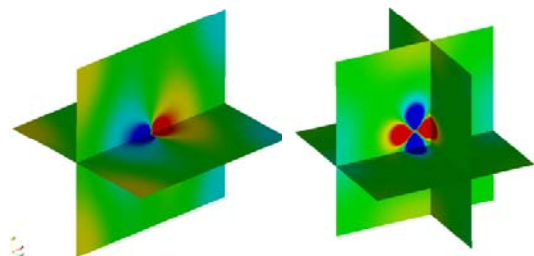
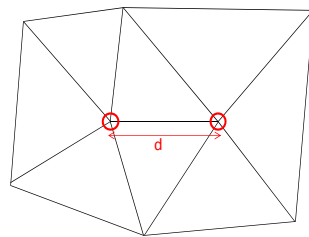


細分化と粗視化の関係



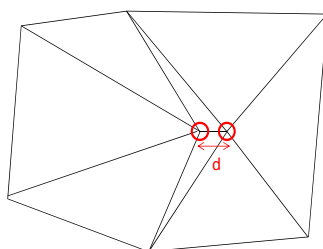
離散的二重極音源生成(コマンド: psgen)

メッシュの2点に十と一の音源を設定すればいい。



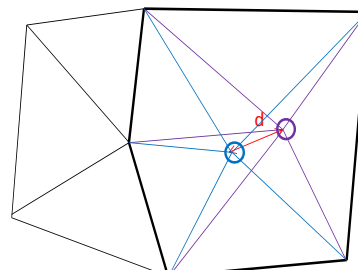
メッシュ幅より近い位置に2点を設定したい。
1点の位置を指定して自動的に設定したい。

×



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

Advance/REVOCAP for Advance/FrontNoise のご紹介

第1事業部 技術第2部 第5課長 徳永 健一

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise

最新動向セミナー

2013年6月13日(木)開催

アドバンスソフト株式会社

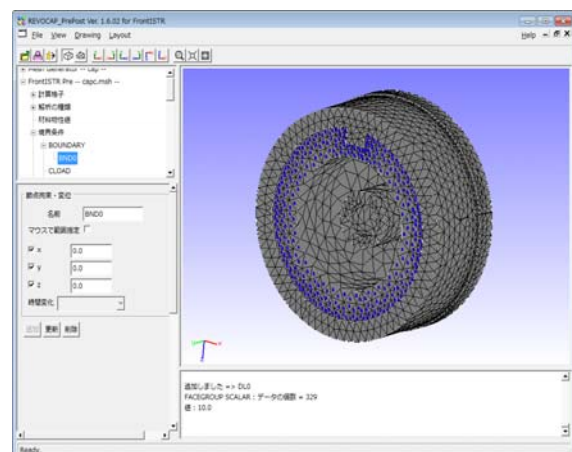
Advance/REVOCAPの概要

有限要素法、有限体積法を用いた構造解析ソフト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。

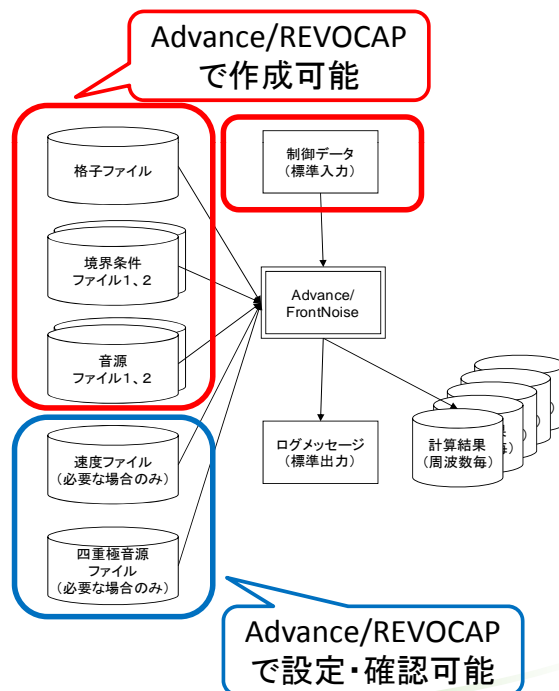
文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトで開発された、連成解析用のプリポストプロセッサ REVOCAP_Visual、および文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」で開発されたREVOCAP_PrePostをアドバンスソフトが機能を拡張して商品化したものです。



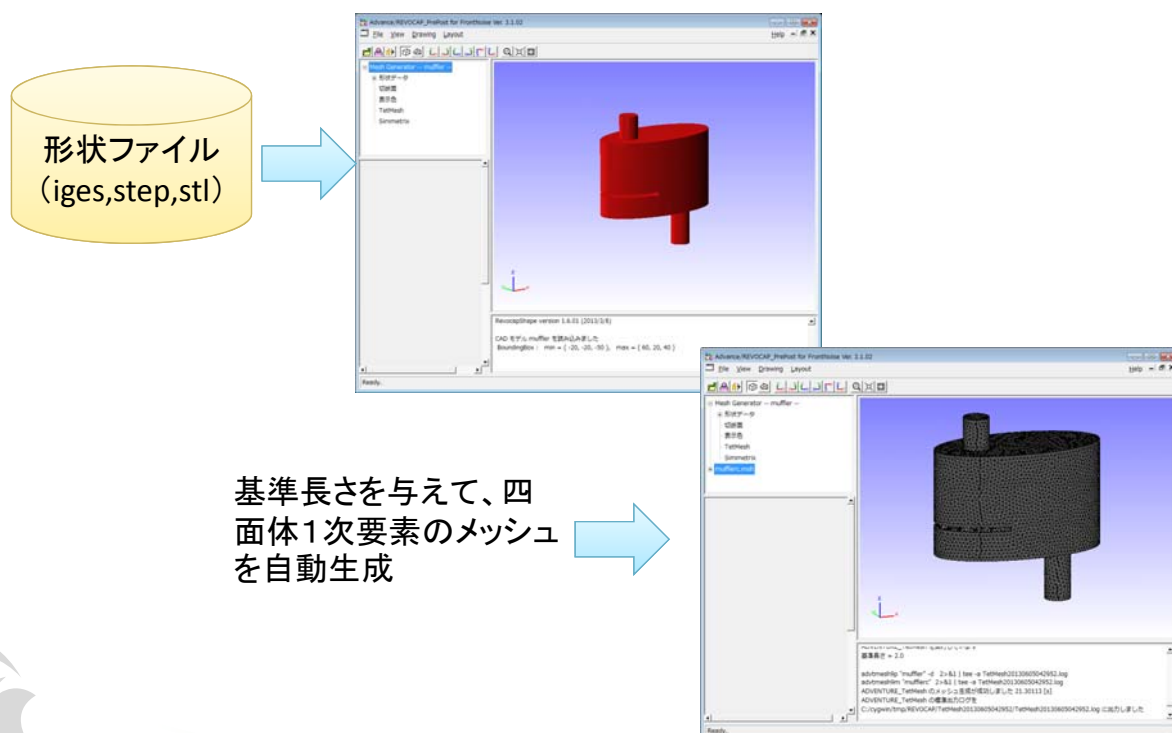
Advance/REVOCAP for Advance/FrontNoise

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！

手順その2:境界条件の付与

①面を選ぶ

面番号	境界条件指定データ
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

②境界条件の数値データ (csvファイル)を選ぶ

③出口の境界面すべてに与える

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

FrontNoise Boundary Condition

周波数	α両部	α左部	β両部	β左部	γ両部	γ左部
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
313.0	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

①確認ボタンを押す

②周波数テーブルの確認と編集が可能

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: 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

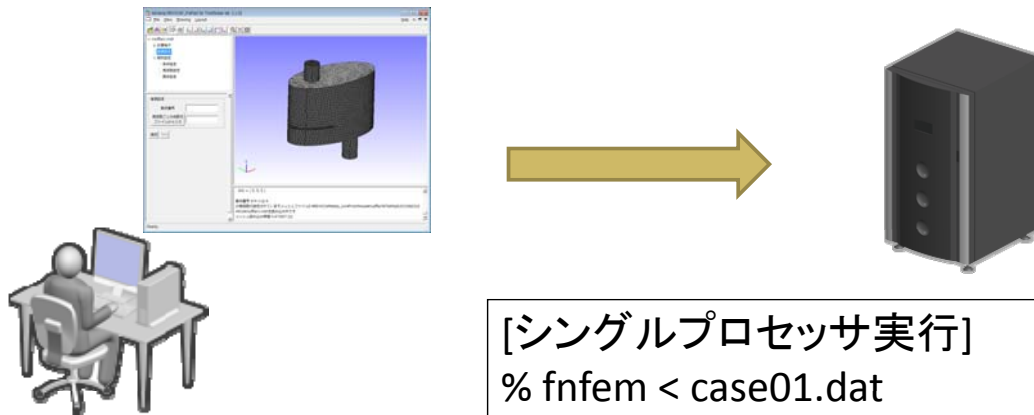
手順その6: 解析モデルを出力する

①モデルの保存

- 制御データファイル
- 格子ファイル
- 境界条件ファイル
- 点音源ファイル
- 速度ファイル
- 温度ファイル

手順その7: 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]

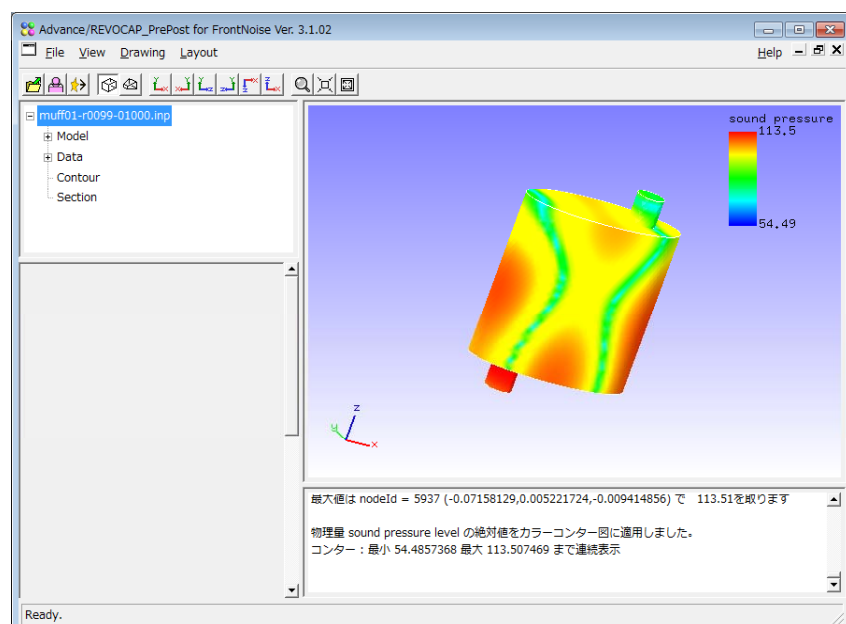
```
% mpiexec -n 4 fnfem < case01.dat
```



手順その8: 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



実際のデモをごらんください！

