

## 構造解析および流体解析ソフトウェアとの連成が可能な 音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise

2012年12月18日(火)開催  
第1事業部



### 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
- ここでは、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。



# 音響解析



3

## 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ポテンシャル(音圧、粒子速度)を求めることができます。
- 解析の後処理として、空間の音圧レベルや対象機器の透過損失等を求めることができます。
- 対象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には音響解析はできません。



4

# 音響解析の基礎方程式

## 基礎方程式

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

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

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

## 周波数領域での基礎方程式

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

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

## 境界条件(混合境界条件)

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



# 音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise

項目	内容
基礎方程式	(1) 音響ポテンシャルに関する波の方程式を周波数空間に変換した方程式 (2) 空間的に分布する場の流れおよび空間的に分布する音響伝播媒体を考慮可能
解析領域	内部領域、および、外部領域(外部領域での外部境界は $\rho c$ 境界で与える)
物性値等	速度 場の速度を指定可能(デフォルト:速度0) 温度 場の温度(音の伝播媒体)を要素毎に指定することが可能(デフォルトは均一媒体)
境界条件	面での音源 面(壁境界)に対して、周波数毎に音圧または粒子速度を設定可能
	点音源 節点に対して、単極子、双極子、または、四重極子のパラメータを設定可能
	音響インピーダンス 面(壁境界)に対して、周波数毎に音響インピーダンスを設定可能
外部境界	面(外部境界)に対して、 $\rho c$ 境界を設定可能(音響インピーダンスを与える機能)
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/FrontNoiseに対応したプリポストの正式リリース版はありません。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。



# 構造音響連成解析



## Advance/FrontNoiseでの境界条件の取り扱い

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

境界条件	$\alpha(x)$	$\beta(x)$	$f(x)$	備考
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	
完全反射	0	1	0	デフォルト
完全吸収	$i\omega\rho$	$\rho c$	0	$\rho c$ 境界



## 構造解析結果の音響解析への利用(含予定)

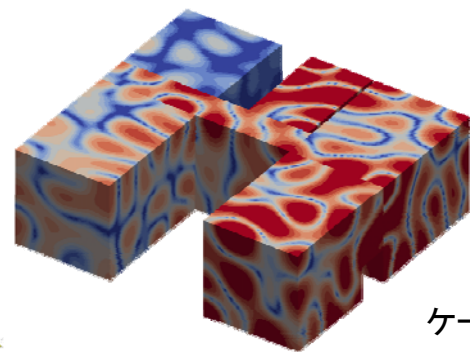
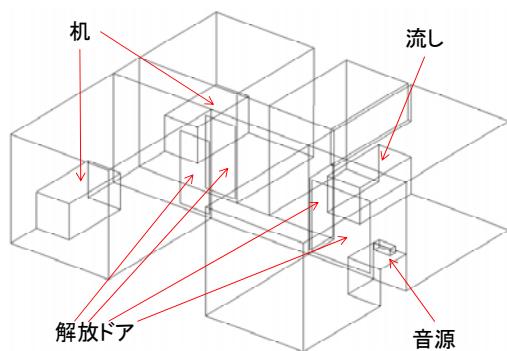
- i. 構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTRの時系列ファイルをもとに音源となる可能性のある場所から出力する。
- ii. 解析結果をフーリエ変換する。
- iii. 構造メッシュから音響メッシュに物理量をマッピングする。
- iv. 係数を乗じて、境界条件を作成する。
- v. 音響解析を実施する。

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。

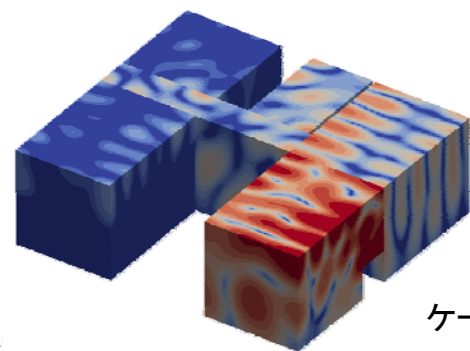


## 構造解析結果を音源とした音響解析例

### ■ 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



# 流体音響連成解析



## Advance/FrontNoiseでの音源の取り扱い

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。 【Ver.4.0以降】	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。 入力ファイルを変換するツールpsgenを提供する。 【Ver.4.0以降】	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。 境界条件として*.bcsファイル、*.bcvファイルを与える。 【Ver.1.0以降】
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。 【Ver.4.0以降】	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。 【Ver.4.2以降】



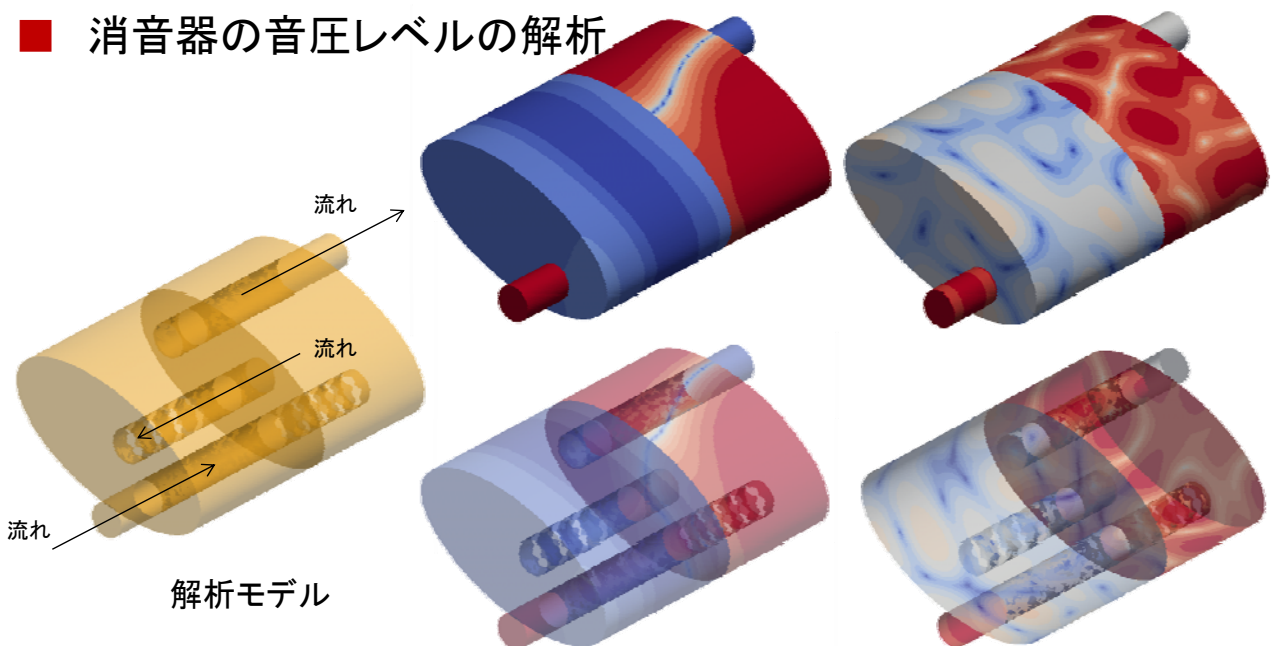
## 流体解析結果の音響解析への利用(四重極)

- 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は出力する。  
 $T_{ij} = \rho v_i v_j$
- ii. 速度からLighthillの乱流応力テンソルを求める。
- iii. 乱流応力テンソルの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。



## 流体解析結果を音源とした音響解析例

### ■ 消音器の音圧レベルの解析



500Hz

2kHz



## 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したいが、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