

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの新機能

代表取締役社長 松原 聖

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

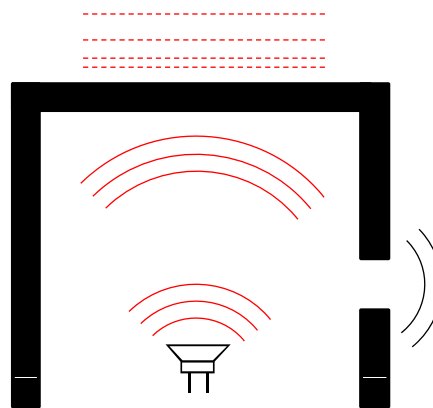
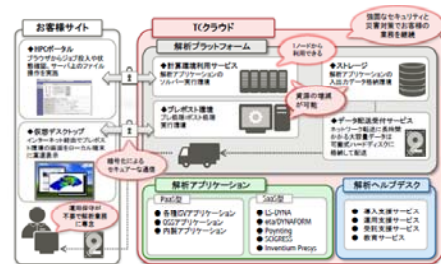
2014年4月30日にVer. 4.3 リリース

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

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

外部計算機での利用環境

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

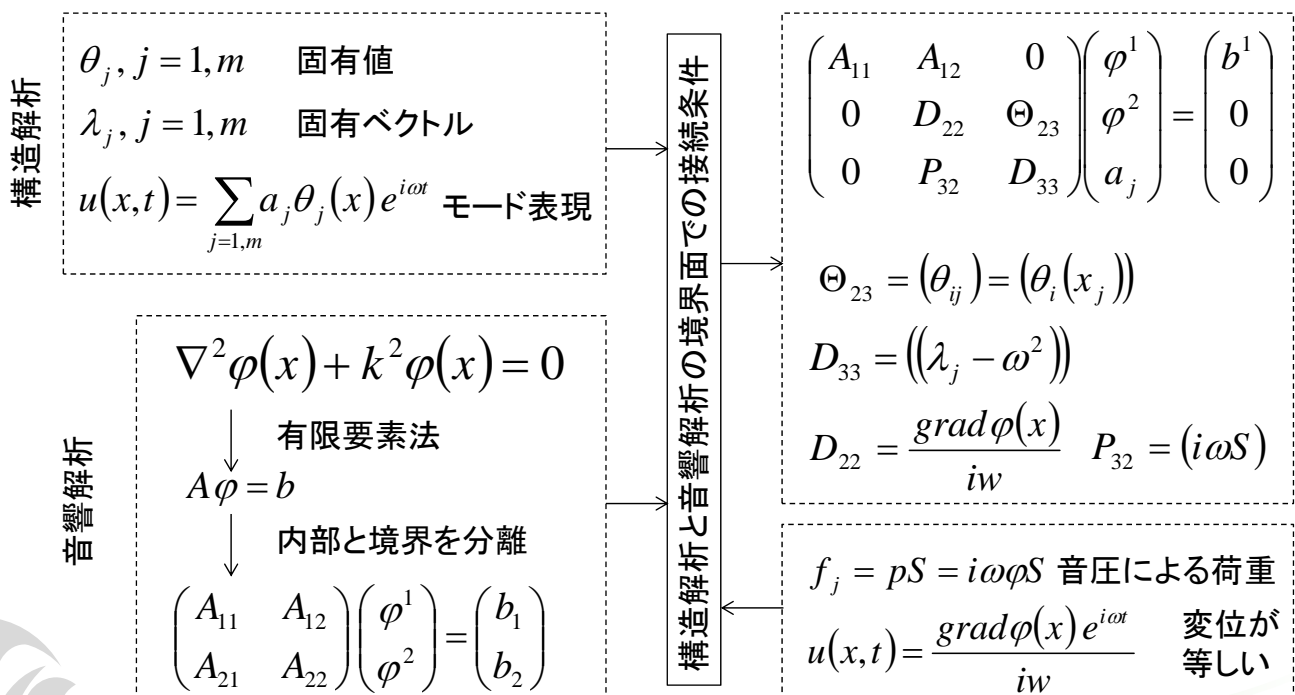


【新機能紹介】 固有値を利用した構造音響連成機能

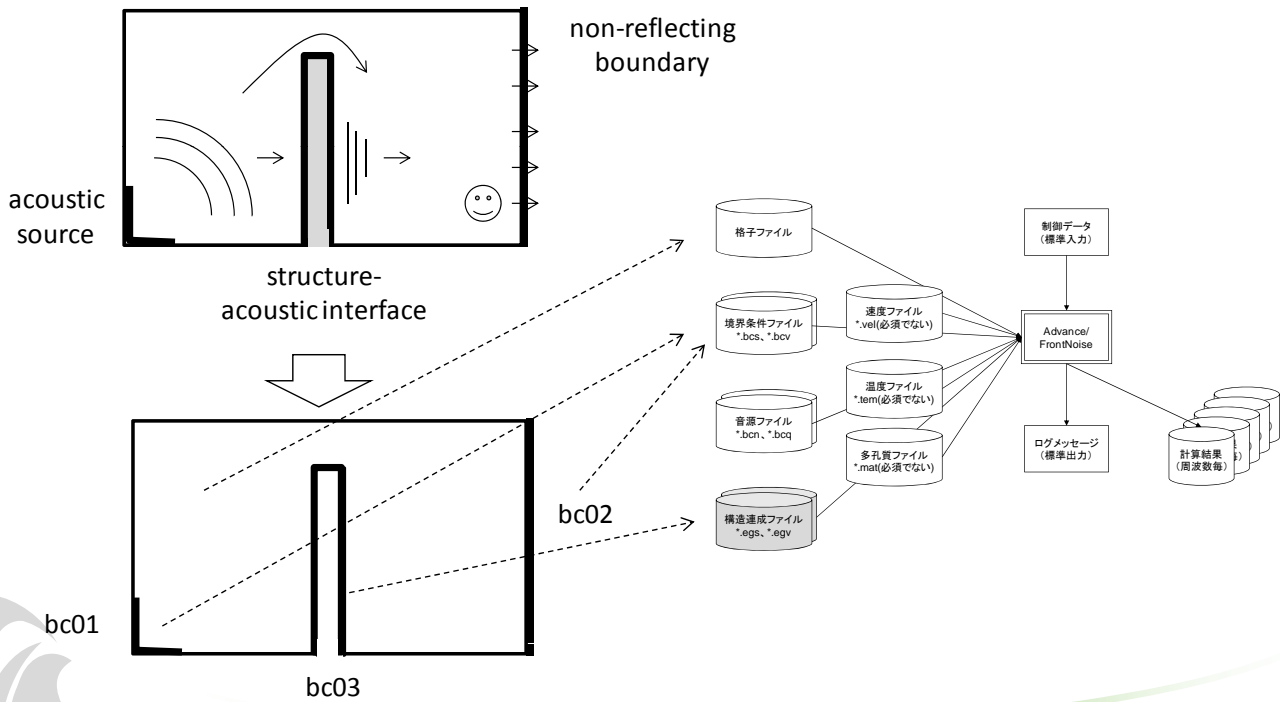
固有値を利用した構造音響連成機能

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

固有値を利用した構造音響連成機能で採用した数値解法

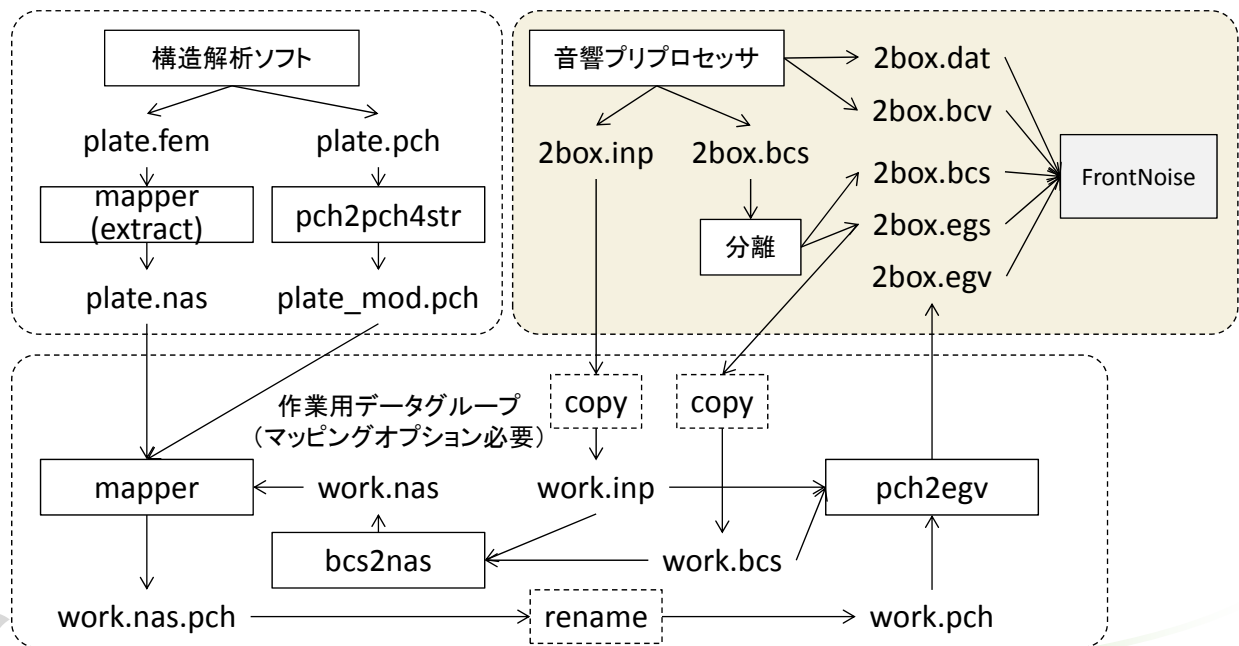


固有値を利用した構造音響連成機能の利用方法



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

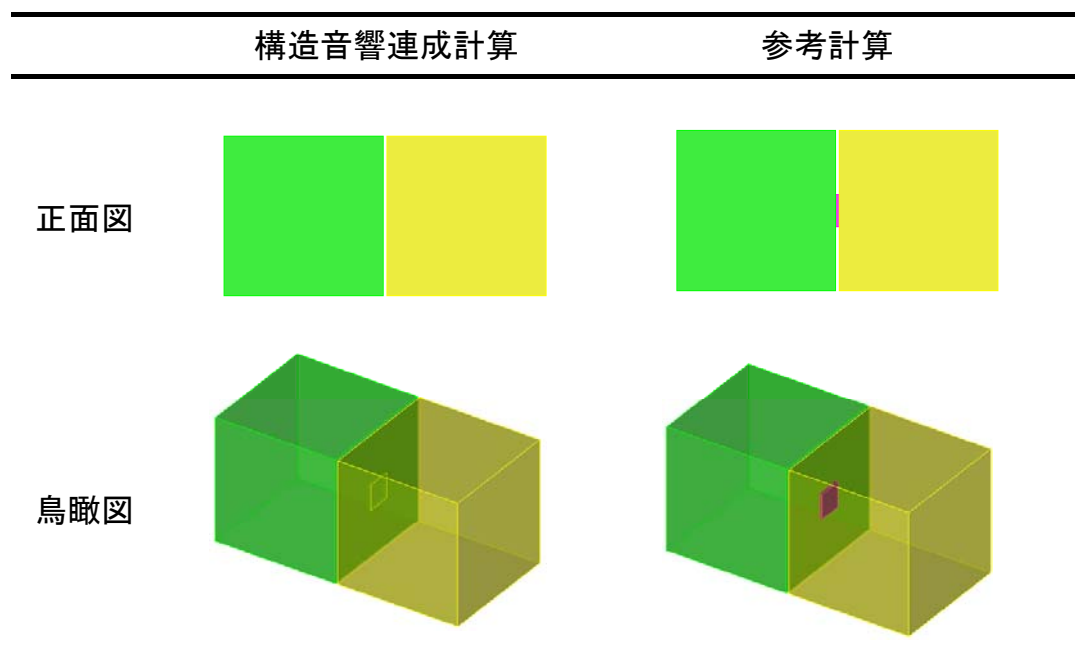
構造解析用データグループ (マッピングオプション必要) 音響解析用データグループ (標準機能)



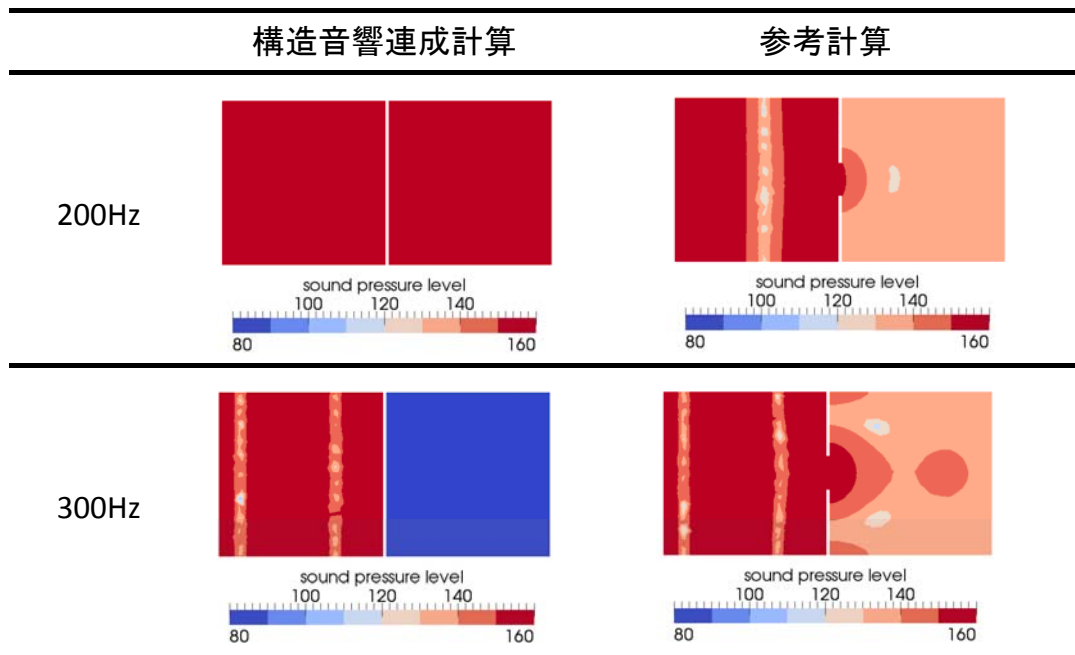
構造音響連成機能の例題

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

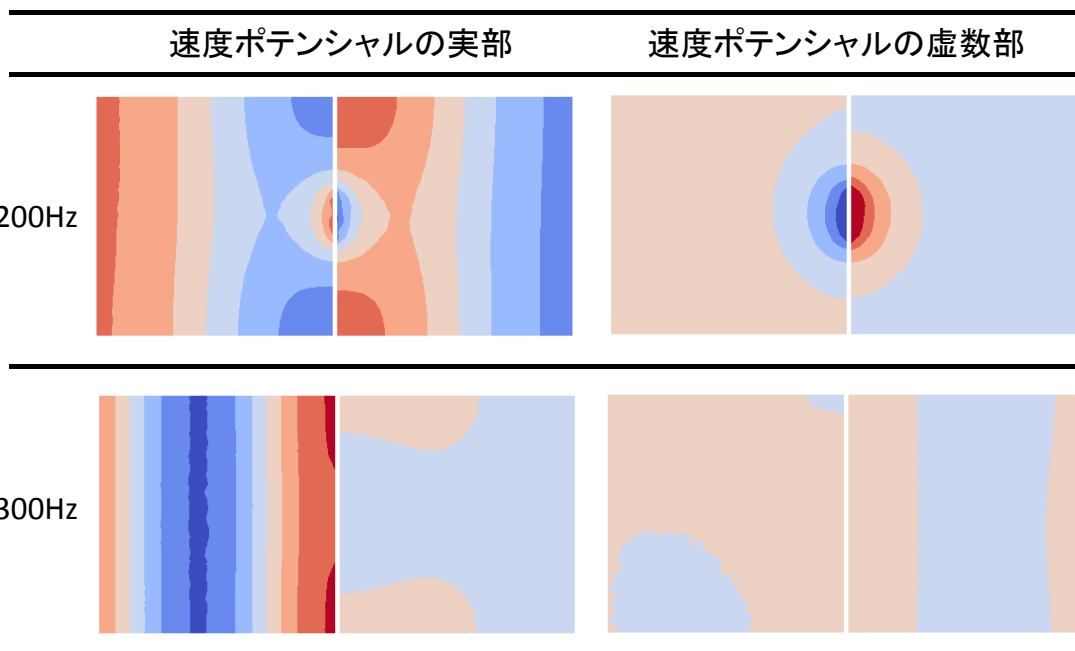
解析例題と参考計算(解析形状)



解析例題と参考計算の結果比較 (解析結果; 音圧レベル)

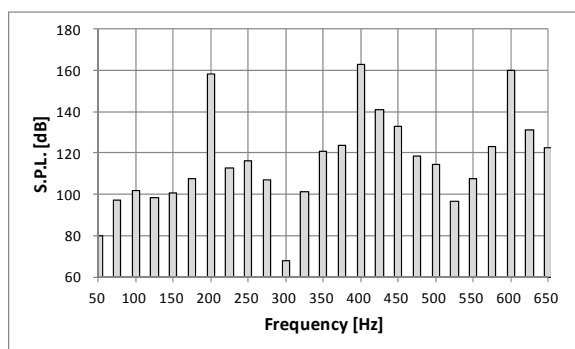


本機能の解析例題の結果 (解析結果; 速度ポテンシャル)

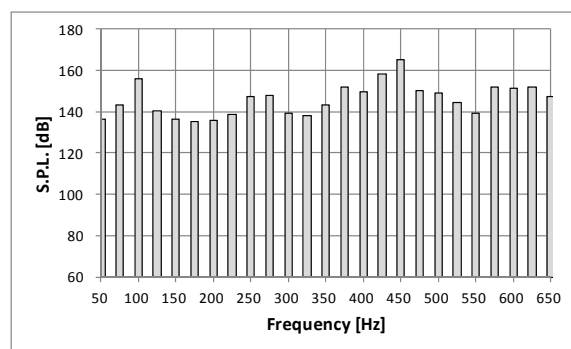


本機能の解析例題と参考計算の比較 (解析結果; 観測点の音圧レベル)

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



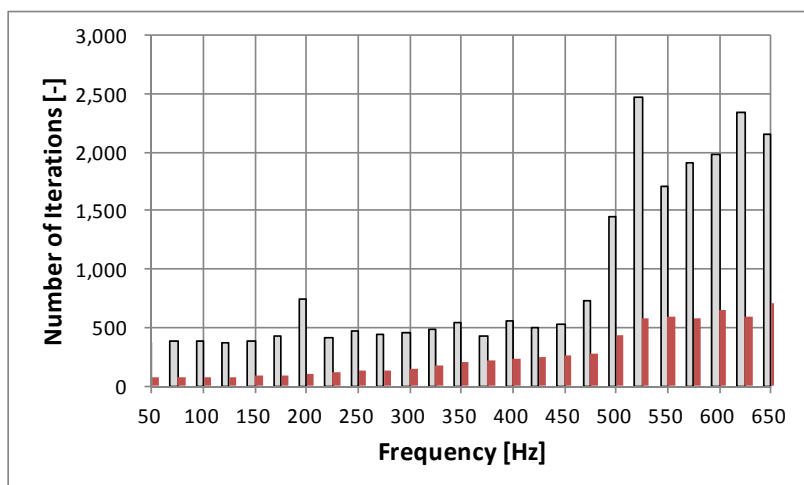
構造音響連成計算



参考計算

本機能の解析例題と参考計算の比較 (解析結果; 観測点の音圧レベル)

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





<http://www.artofmanliness.com>

【新機能紹介】 多孔質媒体の解析機能

多孔質媒体の解析機能

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

関連する基礎式

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

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

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

Mikiモデル (利用を想定しているモデル)

- Mikiモデルは、さまざまな実験結果から、流れ抵抗 σ 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。

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

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

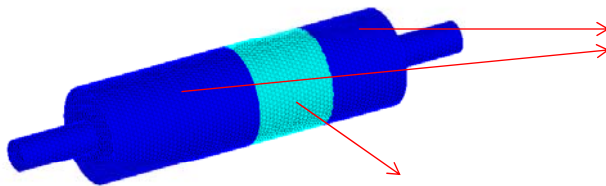
$$X(f) = -0.107 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.632} \quad \beta(f) = \frac{\omega}{c} \left\{ 1 + 0.109 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.618} \right\}$$

- 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 γ を、複素音速と実効密度に変換して利用します。

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

Advance/FrontNoiseにおける 多孔質媒体の使用方法

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



$$\rho = 1.21 \quad \text{空気}$$

$$c = 343$$

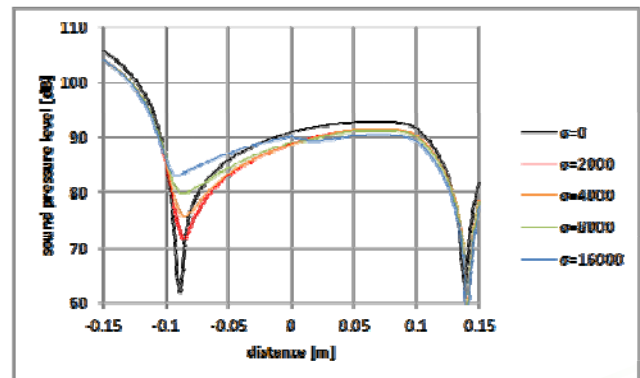
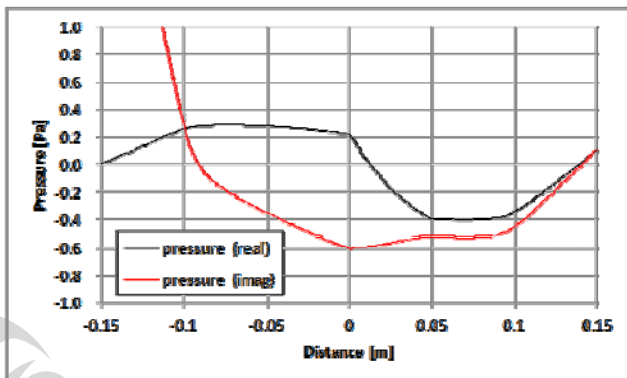
$$\rho^* = 1.6591 - 0.92344i$$

$$c^* = 250.41 + 75.092i$$

$$\left(\begin{array}{l} \sigma = 2000 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \\ f = 500 \text{ Hz} \end{array} \right)$$

多孔質媒体の計算例

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



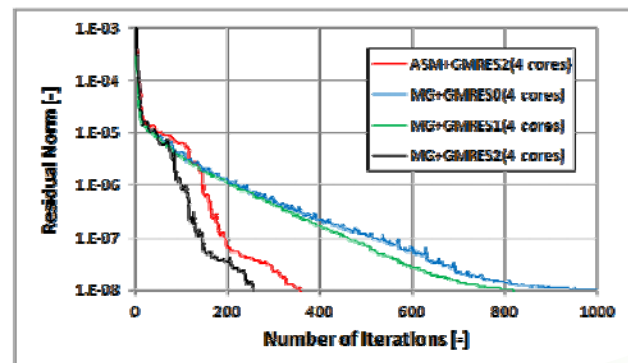
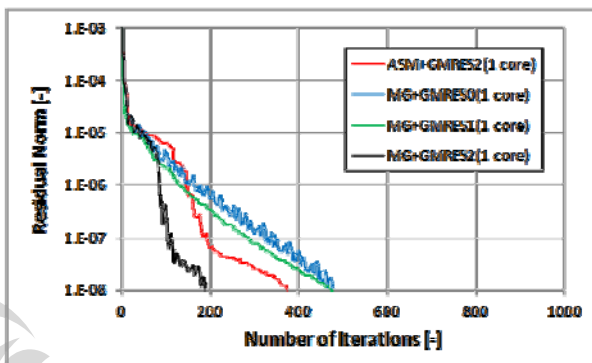


<http://www.j-focus.or.jp/focus/>

【新機能紹介】 マルチグリッド前処理の適用

マルチグリッド前処理の効果

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



利用可能な連立方程式ソルバ

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

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

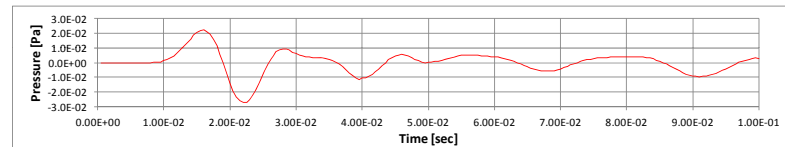
[1] Y.Saad and M.H.Schultz, "GMRES: A generalized minimal residual algorithm for solving nonsymmetric linear systems", SIAM J. Sci. Stat. Comput., 7:856-869, 1986

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

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

まとめ

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



【新機能紹介】 時間領域解析機能

時間領域解析機能のリリース

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

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

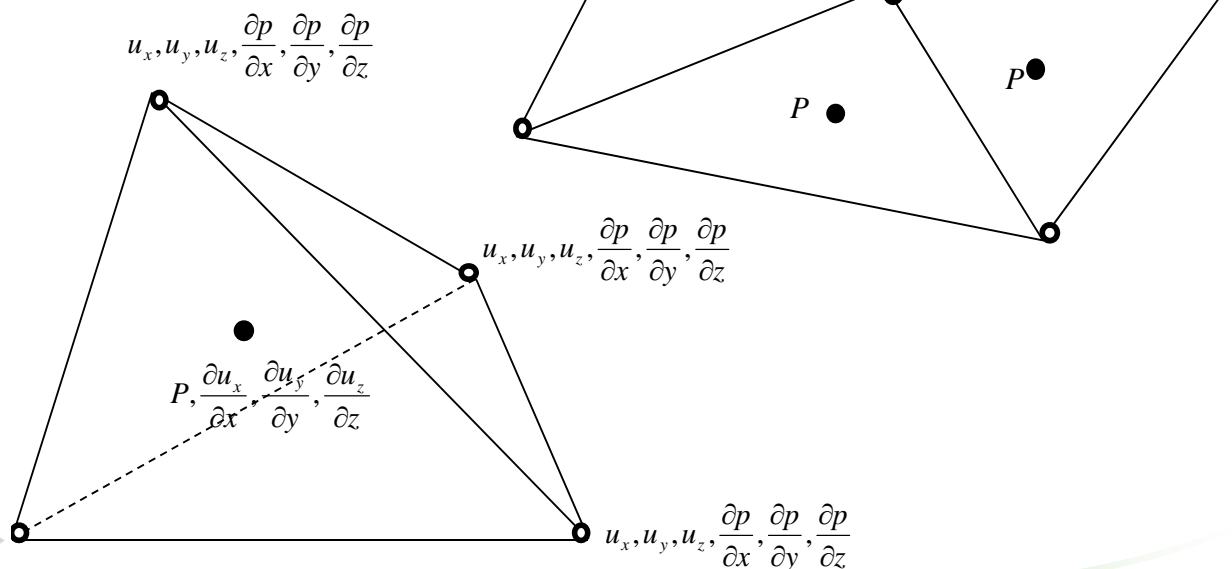
基礎方程式(時間領域解析機能)

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

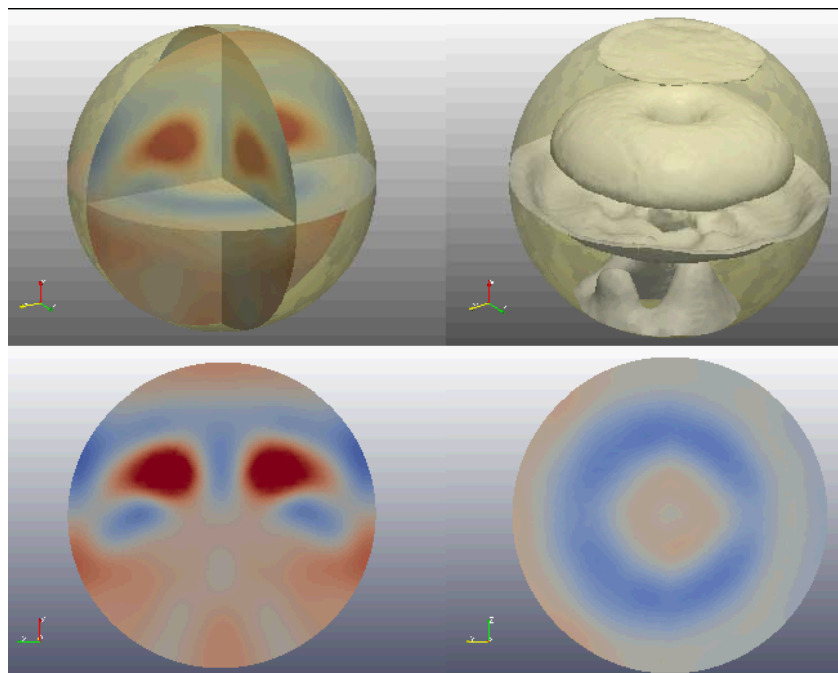
$$\frac{dP}{dt} + \kappa \cdot \text{div}(u) = 0 \quad \kappa = \rho c^2$$

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

物理量の定義点 (時間領域解析機能)

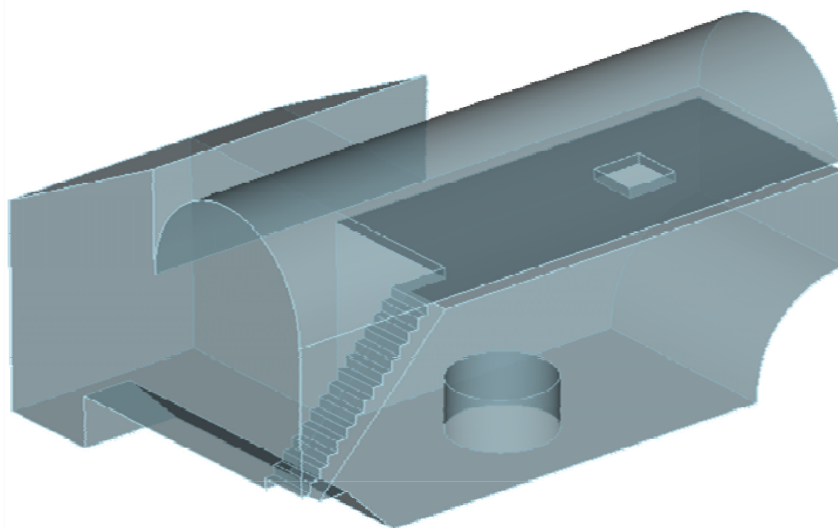


基本機能の確認(時間領域解析機能) 完全反射球内の時系列音響伝播

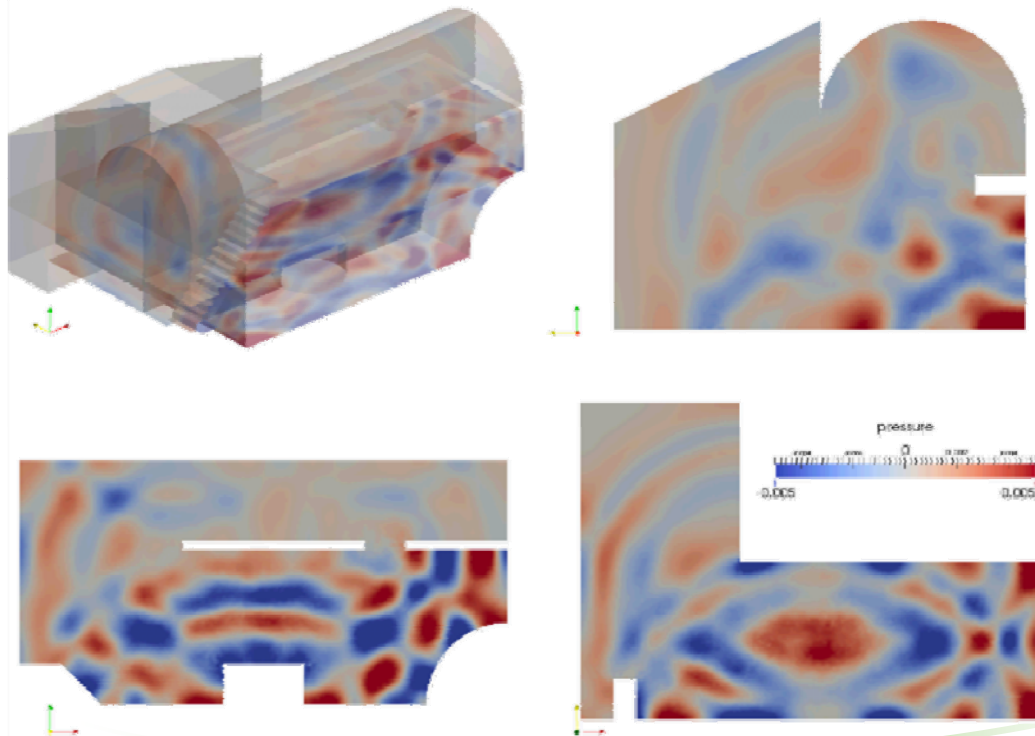


複雑形状における時間領域解析

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

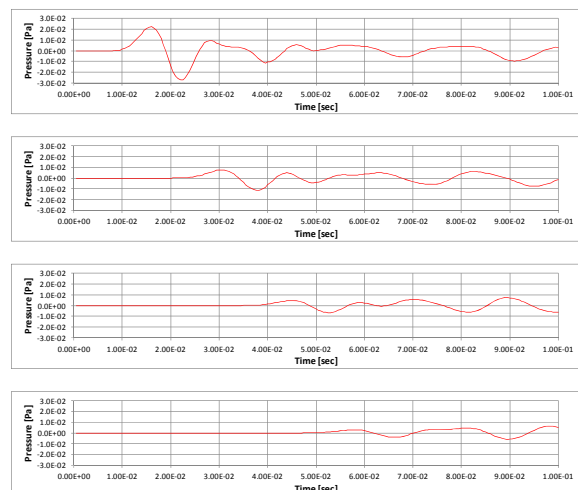
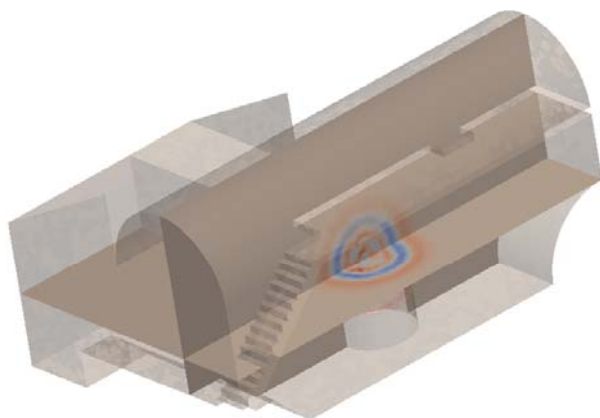


動画による結果表示 (時間領域解析機能)



スナップショットと時系列グラフ (時間領域解析機能)

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



解析規模と処理時間・メモリ等 (時間領域解析機能)

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

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

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