

# 構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTRの 大規模解析と連成解析への取り組み

第1事業部 技術第2部 第9課 大家 史

構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTR 最新動向セミナー  
2014年12月12日（金）  
アドバンスソフト株式会社

## 本日の内容

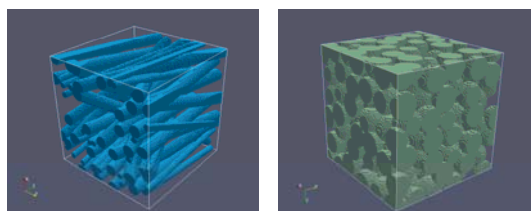
- 大規模解析への取り組み
  - 単に大きなモデルを扱うのではなく、その有用性について示す
- 連成解析への取り組み
  - 連成の組み合わせとその方法について紹介

# 大規模解析への取り組み

## 大規模解析の有用性

- CAD補正をシンプルに済ませる
  - 細かいパーツもそのままメッシュにする
- 解析上の応力集中を回避する
  - 溶接部分や面取り部分
- 微細モデルをそのまま解析する
  - 繊維モデルや粒状モデルの性質を検証

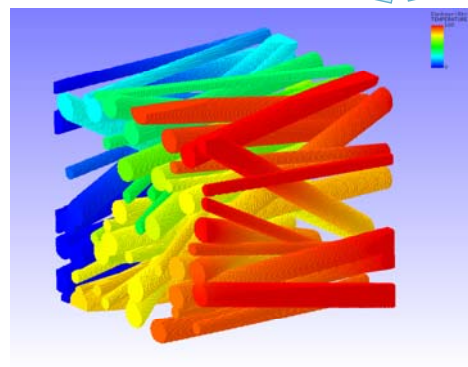
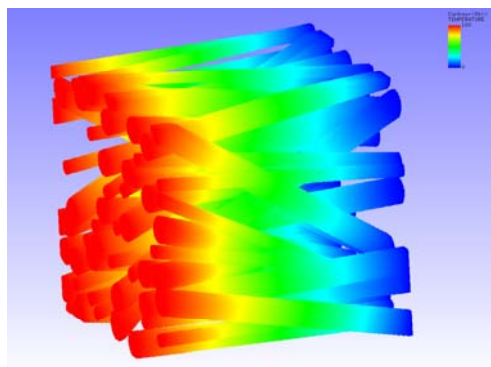
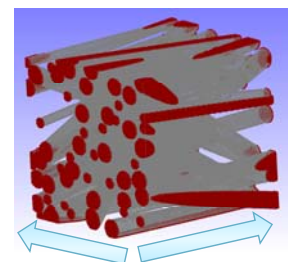
モデルの工夫より  
まず解いてみる



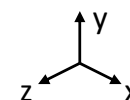
# 微細モデルの例 ファイバーモデル

## – ファイバーモデルの熱伝導解析

- 節点数 2837355, 要素数 2425850
- 両端面に0度と100度を設定した定常解析
- Z方向およびX方向の解析を行った



Z方向は均一な分布だが、X方向はつながりにより局所的な分布が表われる



# バラスト軌道の数値解析

## • 微細モデルの実例

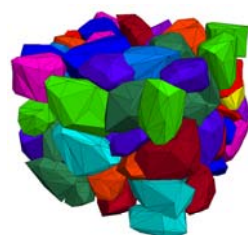
### – 目的

- バラスト劣化の解明

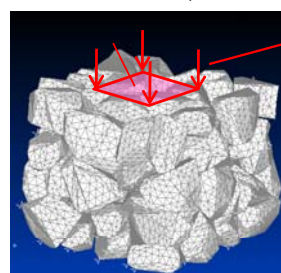
### – モデル作成

- 3次元デジタイザで複数の碎石形状取得
- DEMにより締め固めを行ったものをFEMモデル化

締め固め (DEM)



FEMモデル

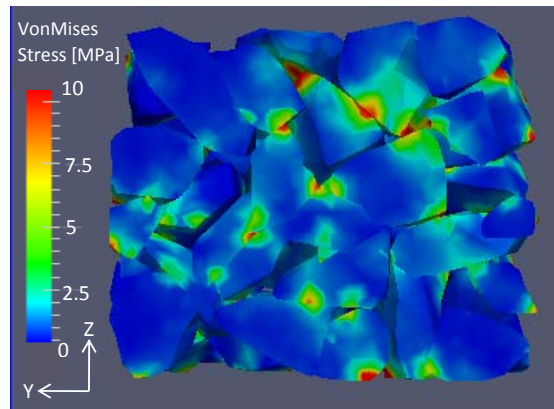
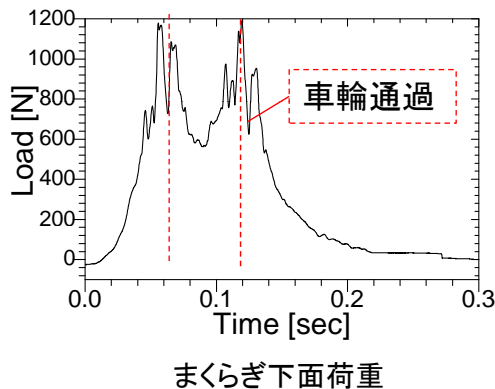


荷重点

# バラスト軌道の数値解析

## – 荷重条件と応力コンター

参考文献: A. Aikawa (鉄道総合技術研究所), Determination of Natural Modes of Ballast Layer, Proceeding of the Ninth International Conference on Engineering Computational Technology, Vol.9, paper No.19, pp.1-19, Civil-Comp Press, 2014.



ミーゼス応力コンター

応力解析により砕石稜角部に非常に大きな応力が作用する



モデルを大きくして検討

# 並列性能の計測(大規模)

## 解析対象

静応力解析(四面体二次要素)

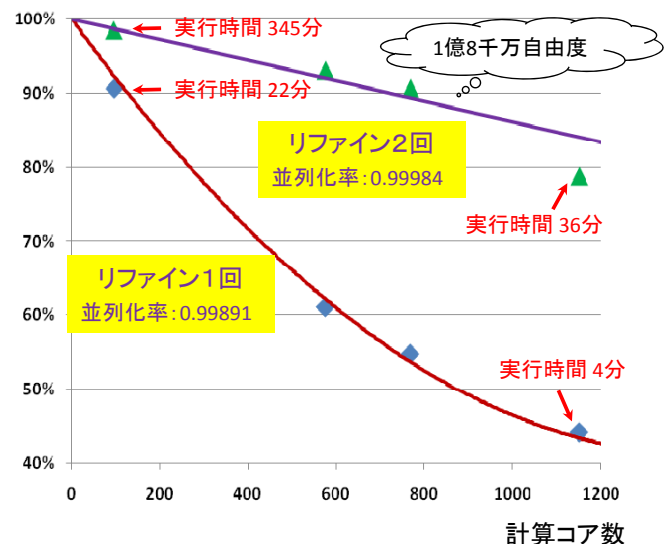
リファイン	要素数	節点数
なし	684,807	1,008,911
1回	5,478,456	7,707,758
2回	43,827,648	60,089,084

## 使用計算機

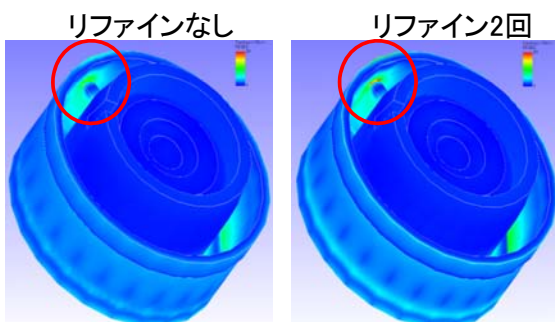
計算科学振興財団さま FOCUSスパコン

並列化効率( $T_1/(n \times T_n)$ )

◆▲ : 計測    - - : 近似

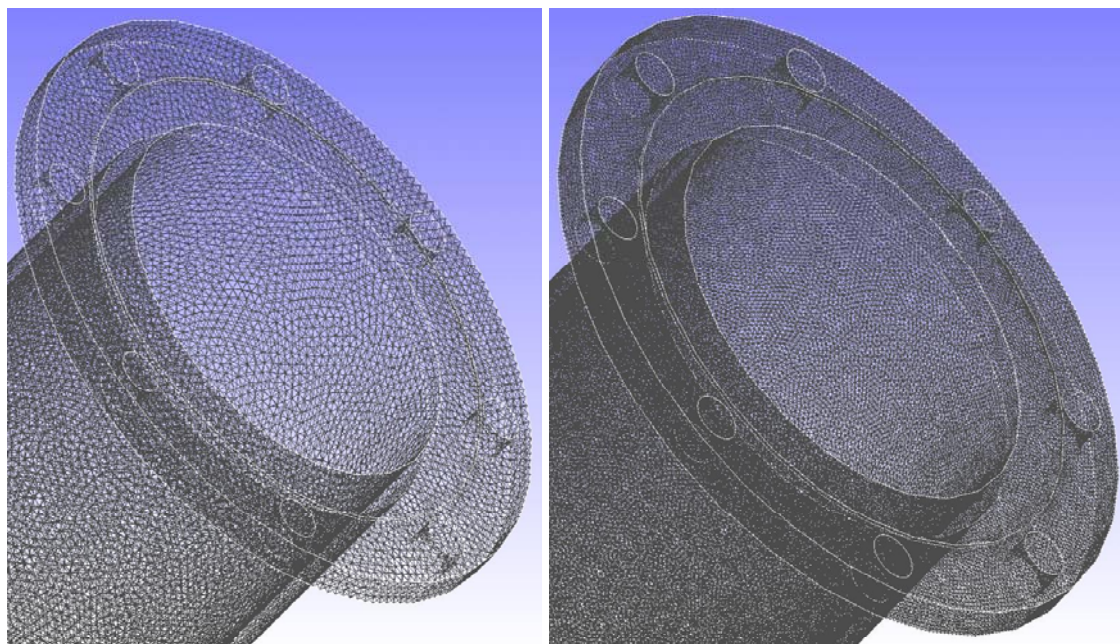


## 解析結果(ミーゼス応力分布)



# REVOCAP\_Refinerのメッシュ細分化

オリジナル → 8倍規模 リファイン



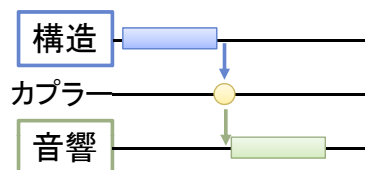
## 連成解析への取り組み

# 連成解析のバリエーション

流体、構造、音響解析間での連成解析

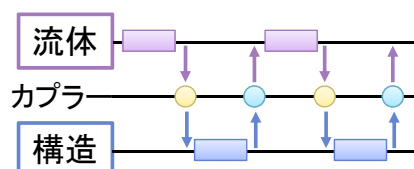
- 片方向連成

- データ受け渡しは一回のみ
- 構造⇒音響、流体⇒構造など



- 双方向連成

- データ受け渡しはステップごと
- 流体⇔構造など



- モード解析を利用した双方向連成

- 固有値解析＋流体or音響（モード解析モジュール組込）
- 流体⇔構造、音響⇔構造

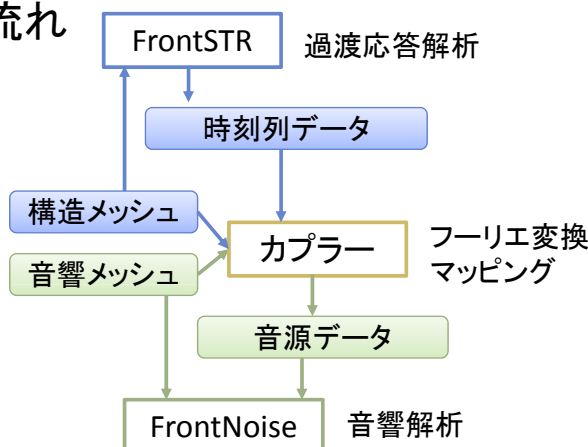
# 片方向連成

- Advance/FrontSTR⇒Advane/FrontNoise

- 概要

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

- 解析の流れ



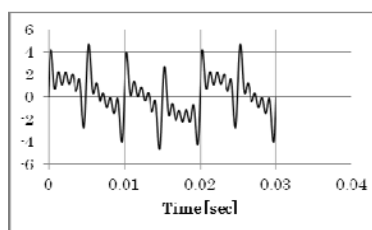
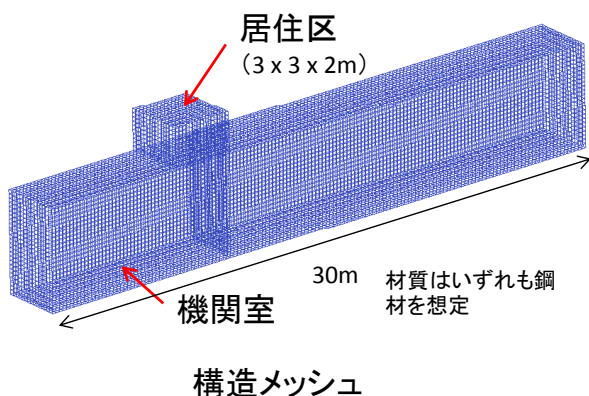
# 構造音響片方向連成 船舶居住区騒音

- 機関室の振動による居住区における騒音解析
  - 居住区における騒音を一定レベル以下へ⇒規約解析

要素タイプ	四角形1次要素
節点数	13884
要素数	13950

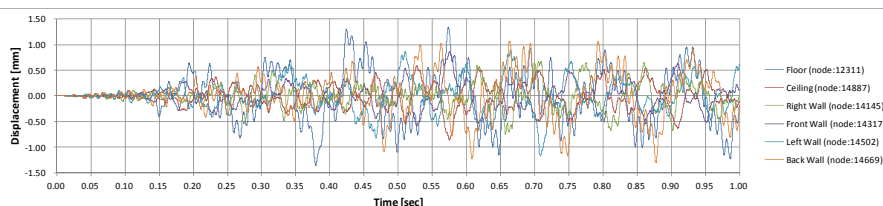
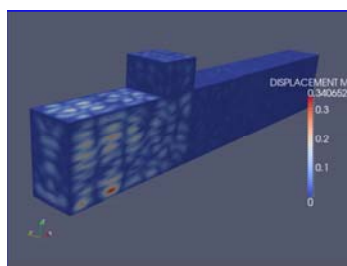
### 解析条件

- 結果: 過渡応答解析⇒FFT⇒音源へ
- 周波数上限1kHz
  - 金属中音速(5000m/sec)からメッシュサイズ決まる⇒0.2m
- 過渡応答解析の定常状態
  - 0.0-1.0(sec)の0.1(sec)を用いる
  - FFTで10Hz精度得るため0.1(sec)必要
  - FFT上限1kHzから $\Delta t=0.1(\text{msec})$

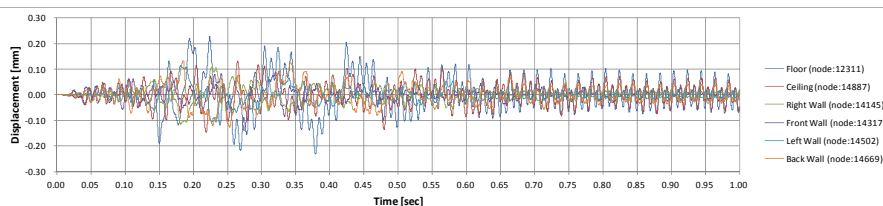
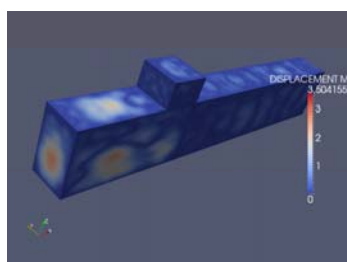


# 構造音響片方向連成 船舶居住区騒音

- 解析結果



変位コンターとグラフ: 減衰なし

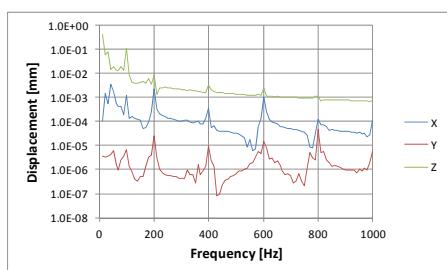


変位コンターとグラフ: 減衰あり(レーリー減衰 $\alpha=10.0, \beta=1.5e-5$ )

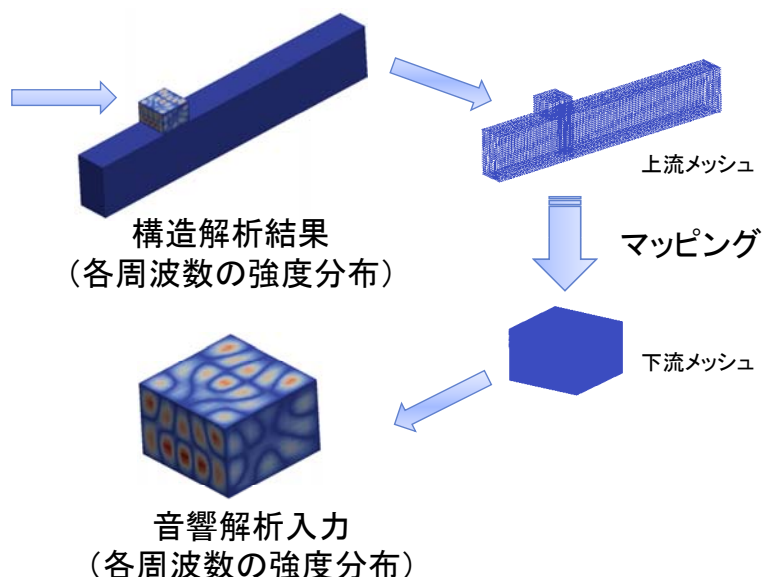
# 構造音響片方向連成 船舶居住区騒音

## マッピング

- 構造解析結果(過渡応答)をFFT
- メッシュの相違を吸収し、音源データとする。



各節点のFFT結果

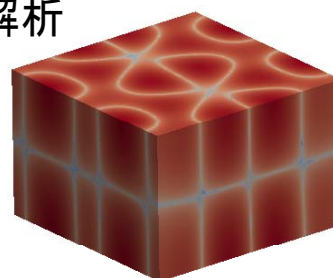


# 構造音響片方向連成 船舶居住区騒音

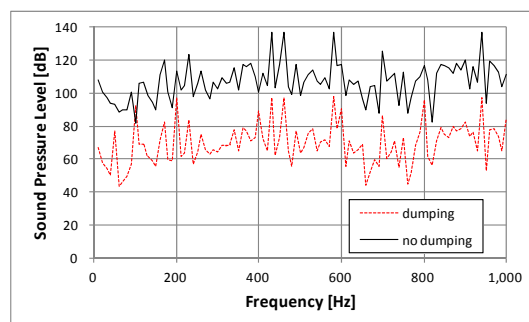
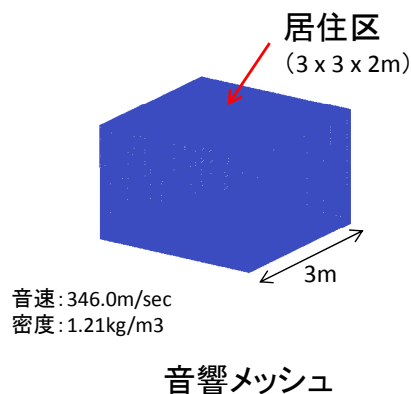
## 音響解析結果(Advance/FrontNoise)

- 10Hzから1kHzまで10Hz刻みで解析

要素タイプ	四面体1次要素
節点数	271000
要素数	1431041



300Hzの音圧レベルコンター

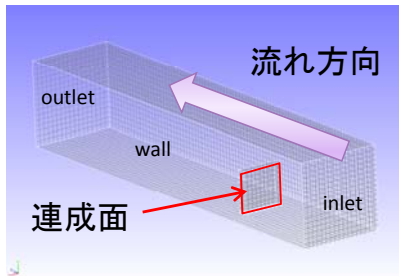


居室中央における音圧レベル(スペクトル)

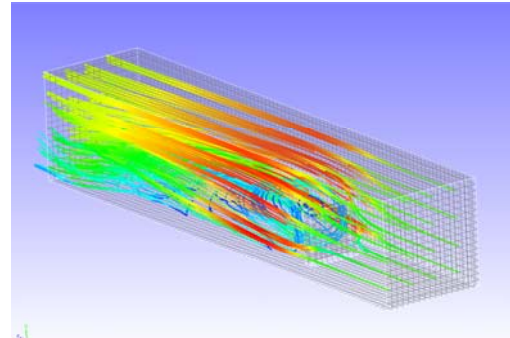
# 流体構造片方向連成

- Advance/FrontFlow/red ⇒ Advane/FrontSTR

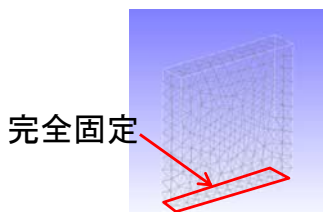
– 流れ内にある板の変形



流体メッシュ

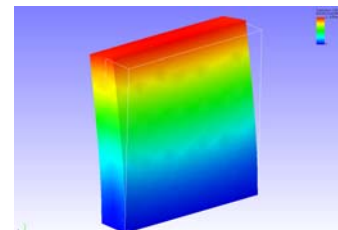


流体解析結果(流線:速度)



構造メッシュ

- FFr: ユーザーサブルーチン機能で連成面指定 ⇒ 連成用データ出力
- FSTR: 制御ファイルにて連成用データ指定



構造解析結果(変形図コンター)

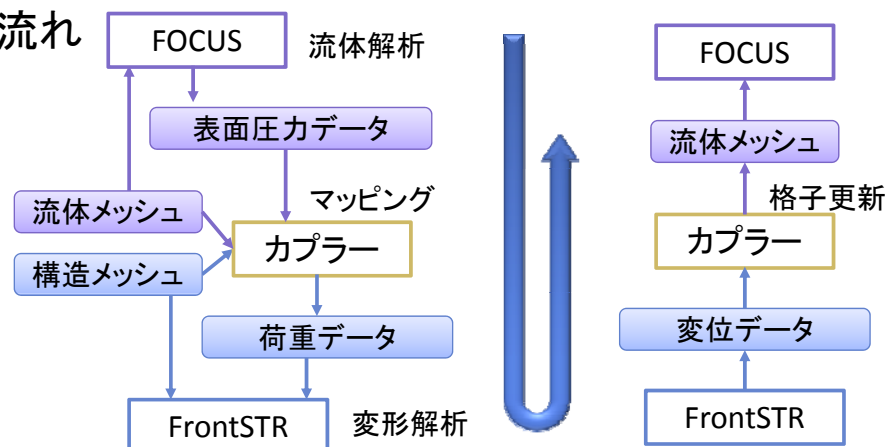
# 双方向連成の例 流体構造連成

- Advance/FrontFlow/FOCUS ⇔ Advance/FrontSTR

– 概要

- 流体解析で求めることができた構造表面の圧力をカプラーにより変換し、構造解析の荷重とし、変形解析を行う。
- 変形した表面の情報から、流体の格子情報を更新する。

– 解析の流れ

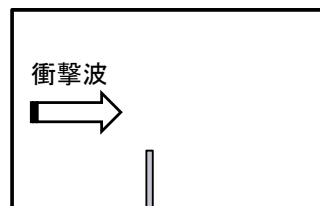


# 流体構造連成 モデル

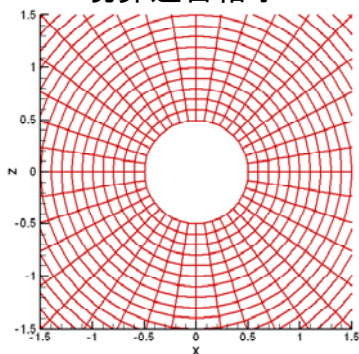
## • 解析モデル

- 衝撃波が通過し壁を変形させる

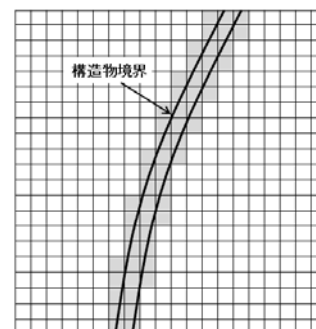
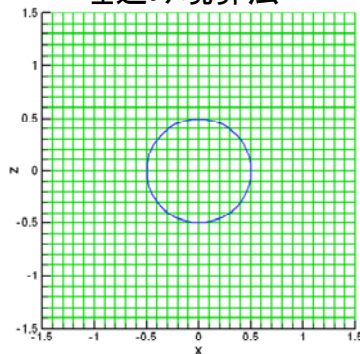
### – 境界条件の扱い



境界適合格子



埋込み境界法



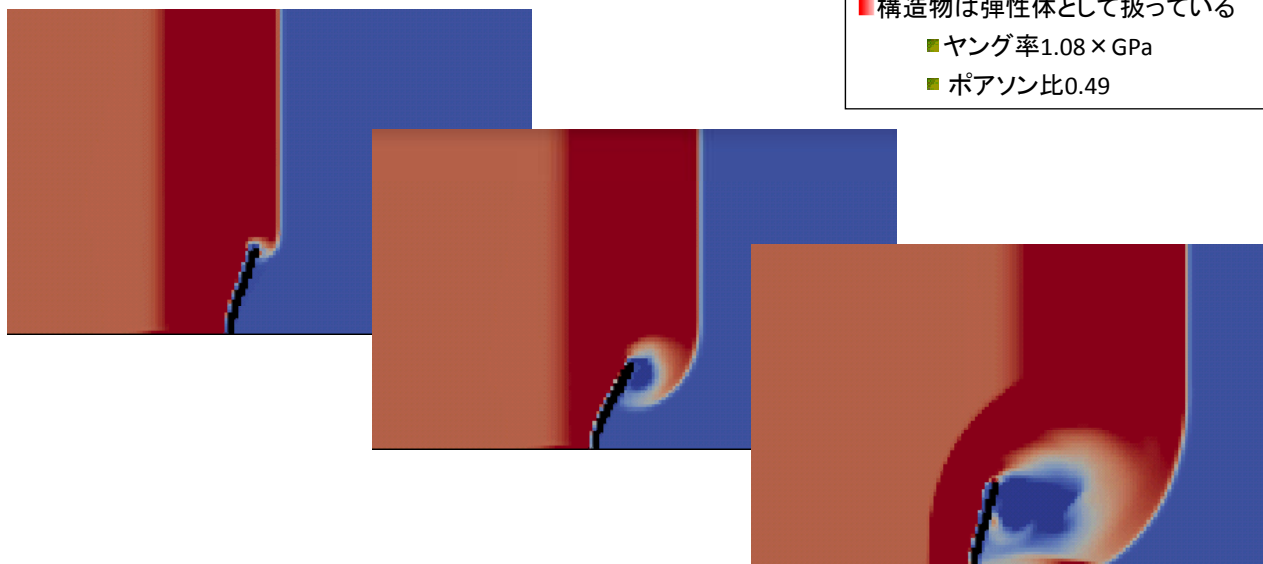
- 境界適合格子の場合は物体に沿う格子を用いる
- 埋込み境界法 (Immersed Boundary法、IB法) では物体境界が流体計算の格子へ埋め込められる

埋込み境界法での境界壁のイメージ

# 流体構造連成 解析結果

## • 大変形を伴う連成解析

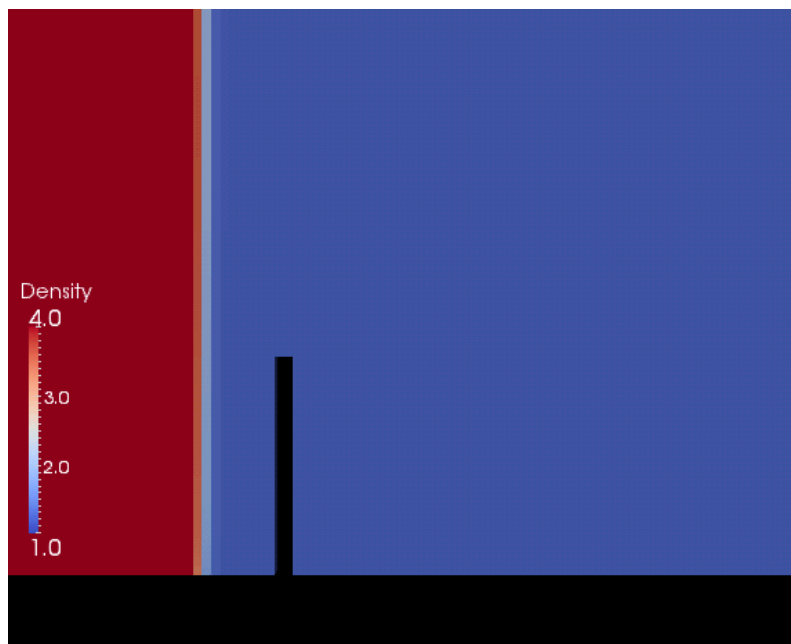
### – 衝撃波で部材が折れ曲がる様子



- 圧力比10の衝撃波が通過した際の構造物の様子
- 格子数は12万要素を用いた
- 構造物は弾性体として扱っている
  - ヤング率  $1.08 \times \text{GPa}$
  - ポアソン比 0.49

# 流体構造連成 解析結果

- 衝撃波を受ける壁(大変形を伴う連成解析)

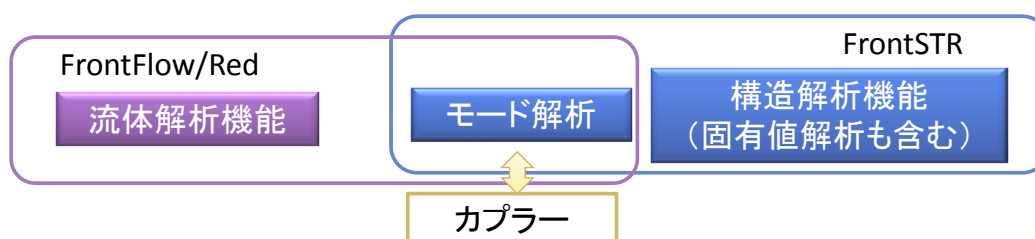


# モード解析を利用した双方向連成

- Advance/FrontFlow/red ⇔ Advance/FrontSTR

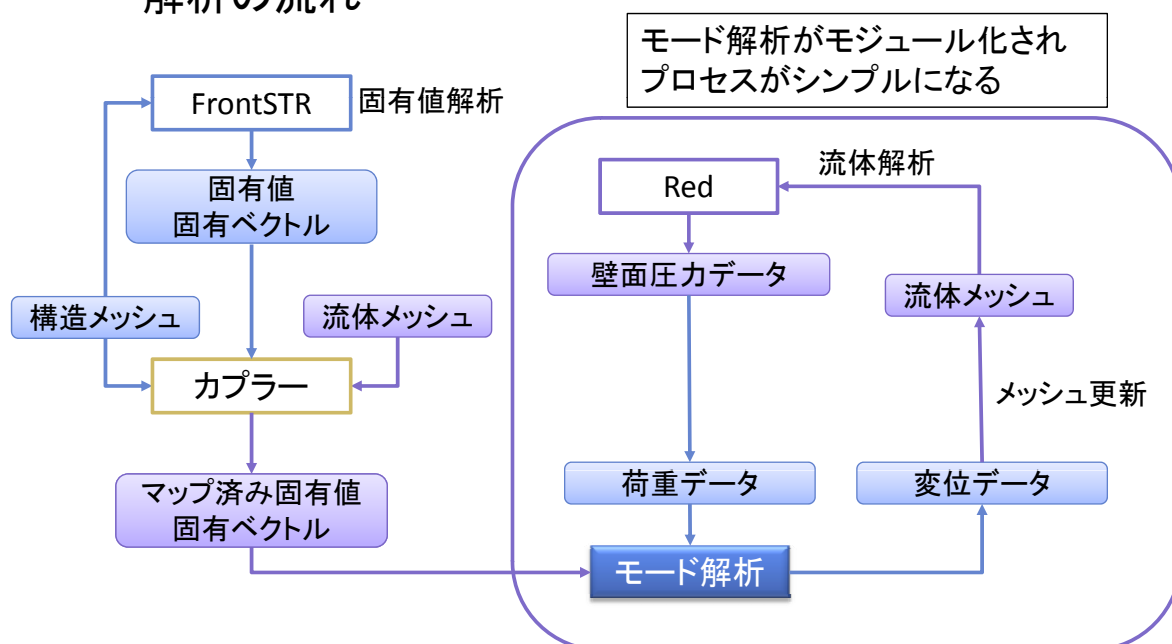
## – 概要

- 構造解析部分のみで固有値解析を行い、固有値・固有ベクトルをあらかじめ算出しておく。これを流体ソルバに入力する。
- モード解析部分をモジュールとして分離し、流体ソルバに組込む
- 流体解析を行い、構造表面の圧力データから、構造解析用の荷重を算出する。
- 組込まれたモジュールでモード解析を行い変形量を得る
- メッシュを更新する



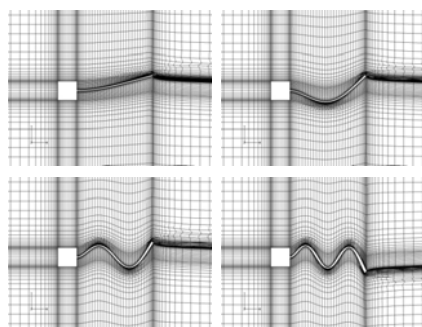
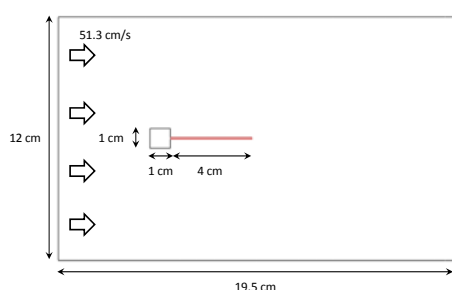
# モード解析を利用した双方向連成

- Advance/FrontFlow/red ↔ Advance/FrontSTR
  - 解析の流れ



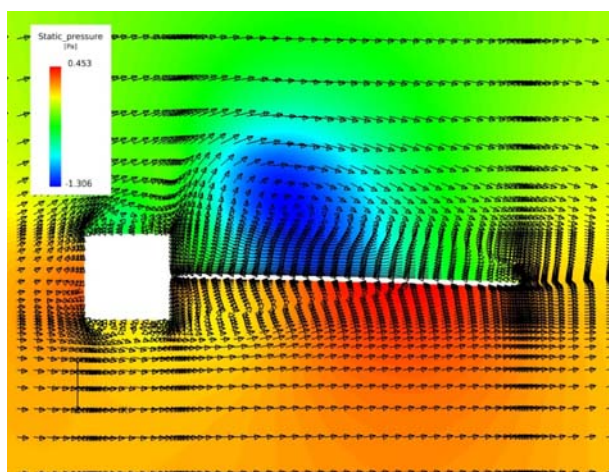
# モード解析利用流体構造双方向連成

- 解析結果



モード図

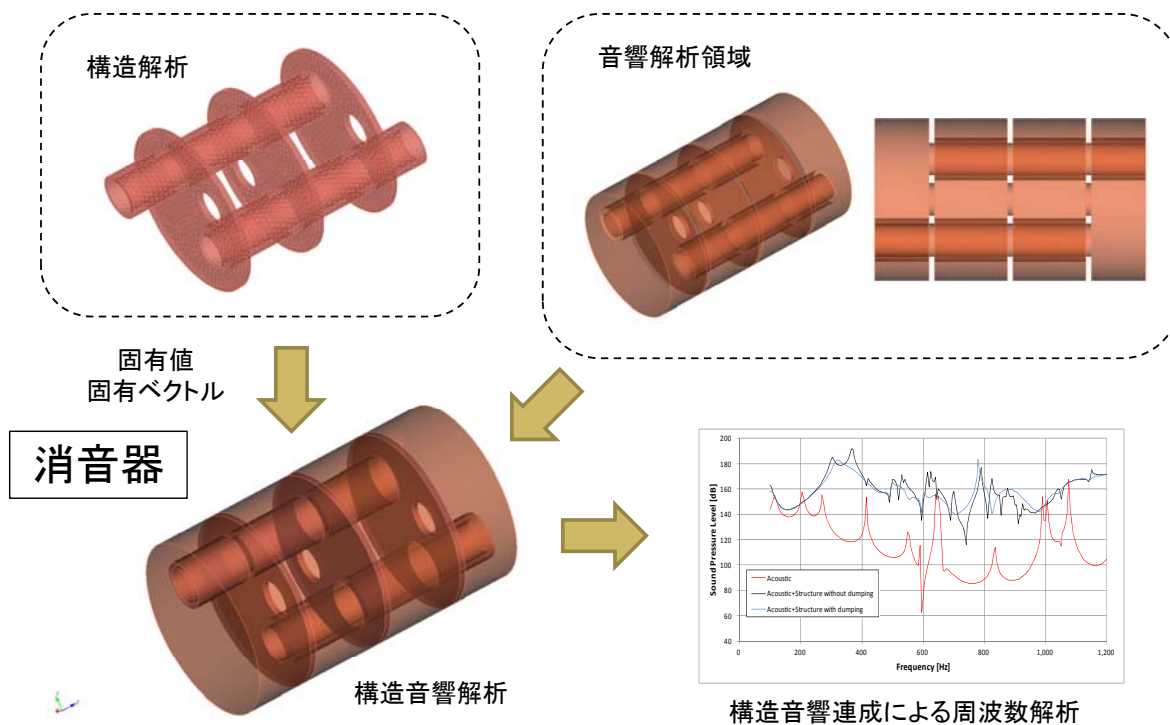
振動板の振動モード(固有値と固有ベクトル)をAdvance/FrontSTRで求め、Advance/FrontFlow/redで流れの解析と同時にモード解析を行う。



解析結果

# モード解析利用構造音響双方向連成

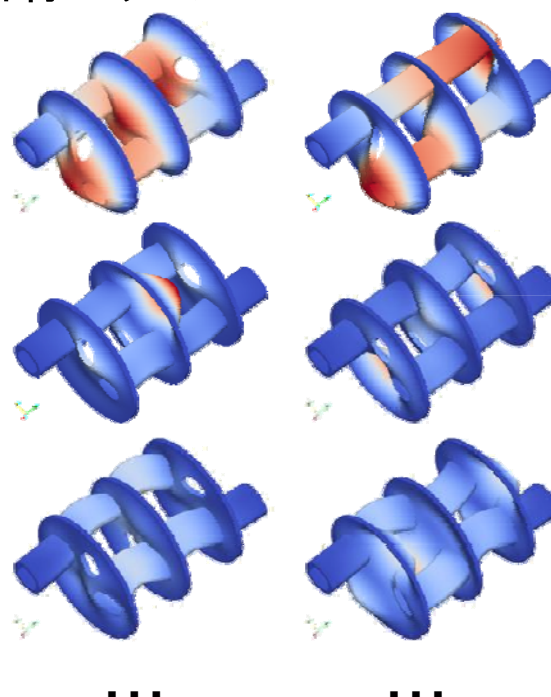
- Advance/FrontSTR ↔ Advance/FrontNoise



# モード解析利用構造音響双方向連成

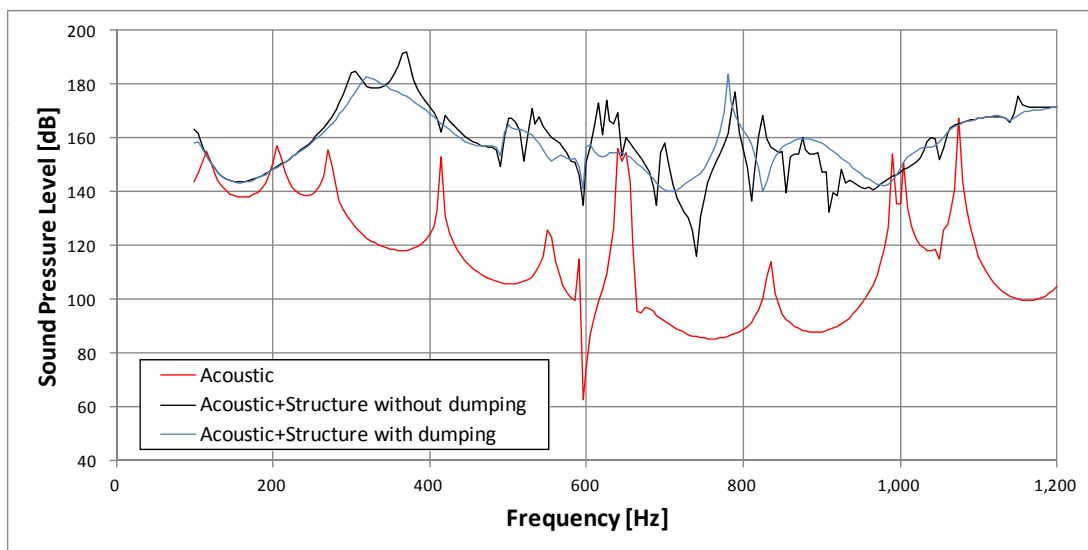
- 構造解析で得た固有値・固有ベクトル

No.	固有値	周波数 Hz	No.	固有値	周波数 Hz
1	5.37E+06	369	16	2.13E+07	734
2	6.80E+06	415	17	2.58E+07	809
3	1.06E+07	517	18	2.85E+07	849
4	1.11E+07	530	19	2.91E+07	859
5	1.17E+07	543	20	2.98E+07	869
6	1.32E+07	577	21	2.99E+07	870
7	1.36E+07	588	22	3.04E+07	878
8	1.46E+07	609	23	3.16E+07	894
9	1.52E+07	620	24	3.24E+07	906
10	1.54E+07	624	25	3.26E+07	909
11	1.57E+07	631	26	3.29E+07	913
12	1.60E+07	637	27	3.35E+07	921
13	1.67E+07	650	28	3.44E+07	934
14	1.91E+07	696	29	3.60E+07	954
15	1.96E+07	704	30	3.65E+07	961



# モード解析利用構造音響双方向連成

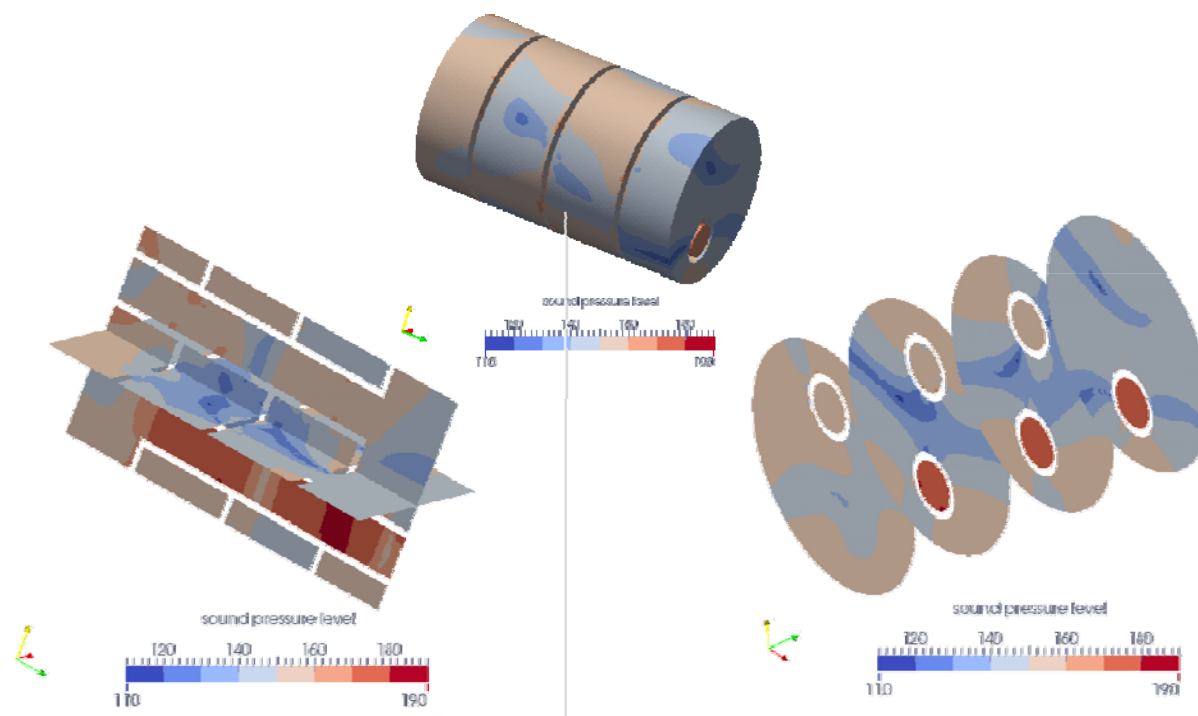
- 3ケースの解析結果の比較



※ 入力の音源はテスト用に与えているため、ここでは、音圧レベルの相対的な値に意味がある。すなわち、音圧レベルの絶対的な値は意味を持たない。

# モード解析利用構造音響双方向連成

- 解析結果(減衰あり)



## まとめ

- 大規模解析への取り組み
  - モデル化の工夫よりとりあえず解いてみる
  - 微細モデルへの適用
    - 実例: バラスト軌道の数値解析
- 連成解析への取り組み
  - 片方向連成
    - Advance/FrontSTR⇒Advane/FrontNoise: 船舶居住区騒音
    - Advance/FrontFlow/red⇒Advane/FrontSTR
  - 双方向連成
    - Advance/FrontFlow/FOCUS⇔Advance/FrontSTR: 衝撃波
  - モード解析を利用した双方向連成
    - Advance/FrontSTR⇔Advance/FrontFlow/red
    - Advance/FrontSTR ⇔ Advane/FrontNoise: 消音器