

連成解析について

2013年3月7日(木)開催
連成解析の技術動向セミナー
アドバンスソフト株式会社



目次

- 本資料(14:05～14:21)
 - 連成解析の実績概要
 - 連成解析に関するマッピングについて
 - 構造音響連成解析の紹介
 - 流体音響連成解析の紹介
- 流体関連の連成解析実績(14:21～14:28)
- その後(14:30～)
 - 引き続き流体解析連成事例を中心に

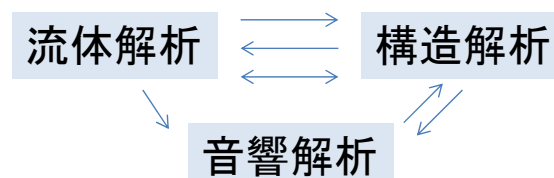


当社における連成解析の実績

- 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

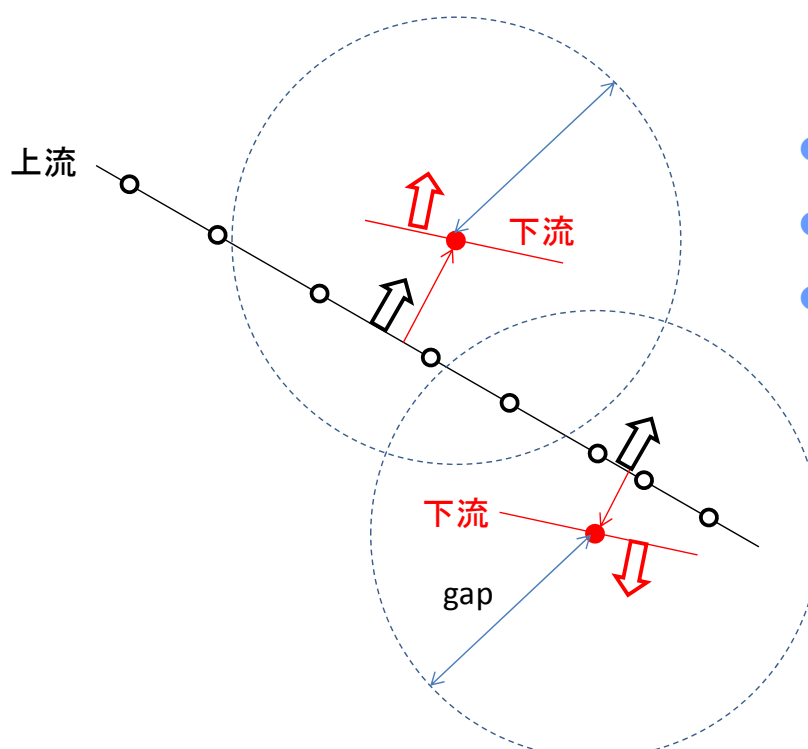
- 当社で開発・販売しているソフトウェア
 - 構造解析: Advance/FrontSTR
 - 流体解析: Advance/FrontFlow/red
 - 流体解析: Advance/FrontFlow/FOCUS
 - 音響解析: Advance/FrontNoise
 - その他、物理量のマッピングソフトを利用
- 共通する特徴
 - 大規模並列計算を得意とする
 - 1ライセンス1ジョブで並列数無制限



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

マッピングの主なアルゴリズム



- 上流・下流
- ギャップ
- 法線方向

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。



Advance/FrontNoiseでの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	$-i\omega u_i(x) \text{ , } -\frac{1}{i\omega} a_i(x)$	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	pc境界

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



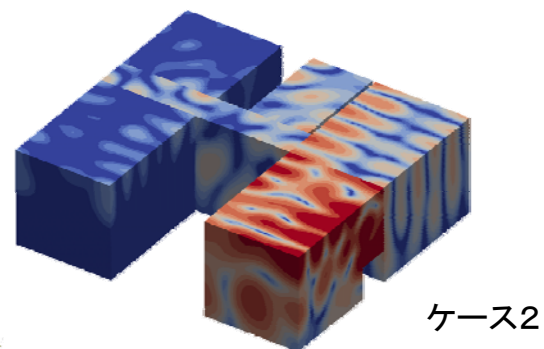
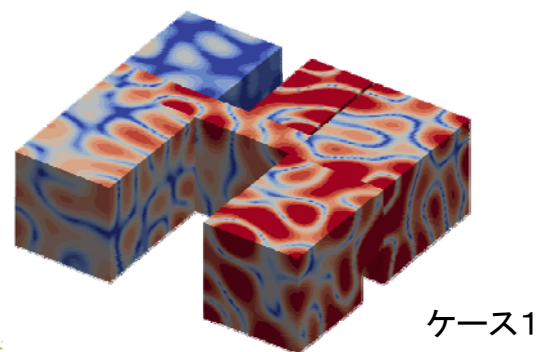
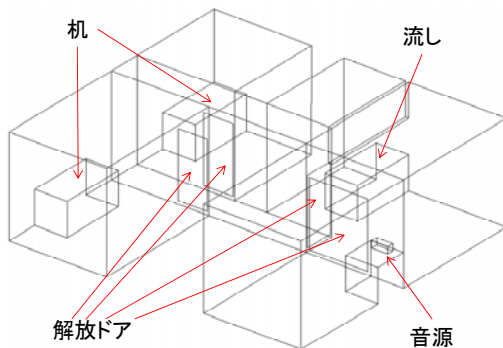
構造解析結果の音響解析への利用(含予定)

- 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



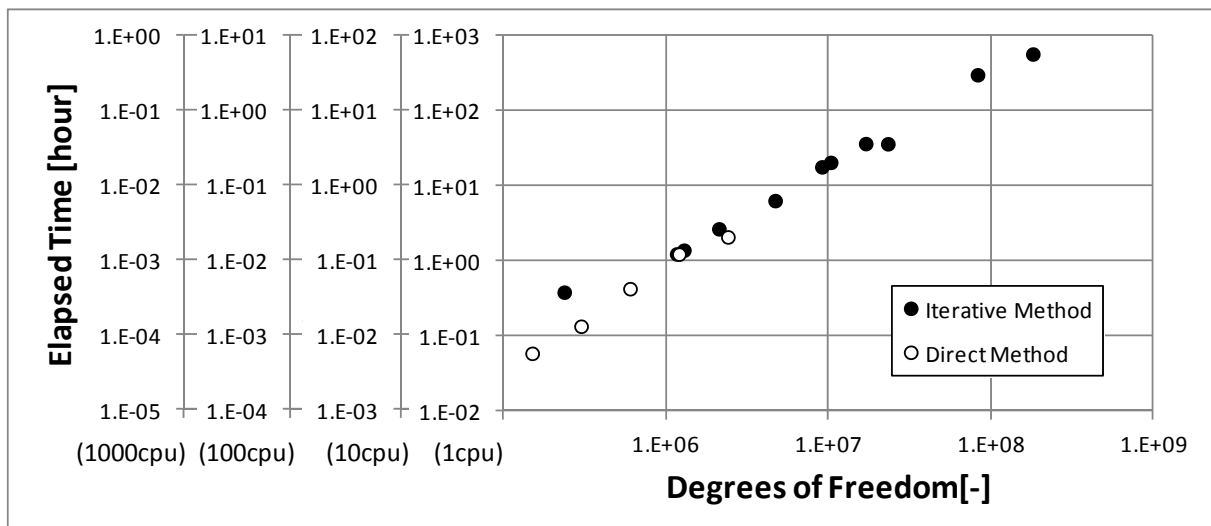
ケース名	音源	床	壁
ケース1	構造解析	完全反射	完全反射
ケース2	構造解析	完全吸収	完全反射

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



Advance/FrontNoiseの特長

- 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四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での稼働も同一料金です。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。

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。

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ため、その中間結果ファイルが膨大な量となります。

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。	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。 【Ver.4.0以降】	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)

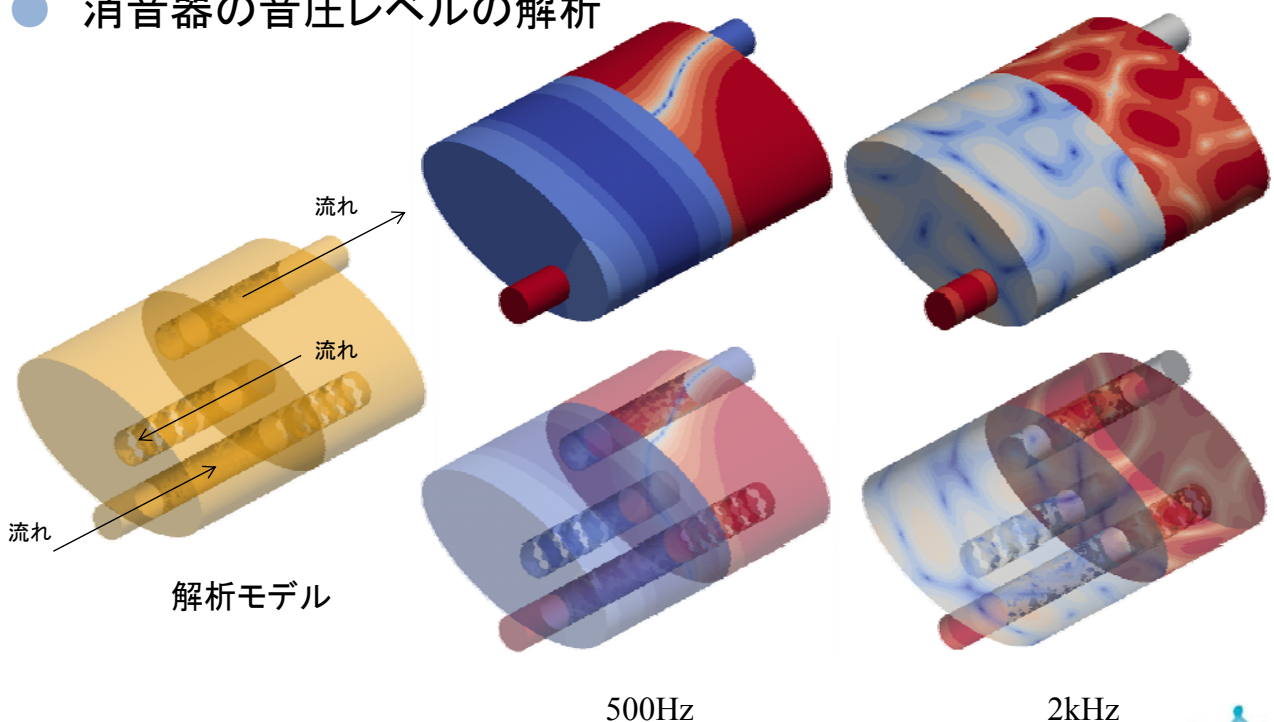
- i. 流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/redの時系列ファイルを音源となる可能性のある場所では出力する。
- ii. 速度からLighthillの乱流応力テンソルを求める。 $T_{ij} = \rho v_i v_j$
- iii. 乱流応力テンソルの2階微分を求める。 $\frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$
- iv. 乱流応力テンソルの2階微分をフーリエ変換する。
- v. 流体メッシュから音響メッシュに物理量をマッピングする。
- vi. 係数に乗じて、基礎方程式の右辺に加える。

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

- 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



音響解析に関する連成解析のまとめ

- 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したがい、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
- 流体解析 : Advance/FrontFlow/FOCUS
- 音響解析 : Advance/FrontNoise

- プリポスト : Advance/REVOCAP

連成解析事例

手法	適用分野	連成した解析	概要
一方向	原子力分野	流体解析→構造解析	流れによる配管の振動
	原子力分野	流体解析→構造解析	流れによる構造物の振動解析
	原子力分野	音響解析→構造解析	音響の構造物強度への影響評価
	原子力分野	構造解析→構造解析→流体解析	地震時の建物強度評価
	機械メーカー	流体解析→構造解析→音響解析	火力発電所ポンプの流れによる環境騒音
	機械メーカー	流体解析→構造解析	遠心圧縮器の流体力による応力解析
	機械メーカー	熱伝動解析→構造解析	ヒートシンクの応力解析
	鉄道分野	構造解析→音響解析	車輪の振動に起因する騒音解析
	鉄道分野	構造解析→き裂進展解析	繰り返し走行荷重によるレールの破壊解析
	自動車空力	流体解析→音響解析	流れによる騒音発生の解析
	自動車部品の振動	流体解析→構造解析	流れによる構造物の振動解析

連成解析事例

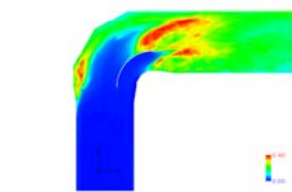
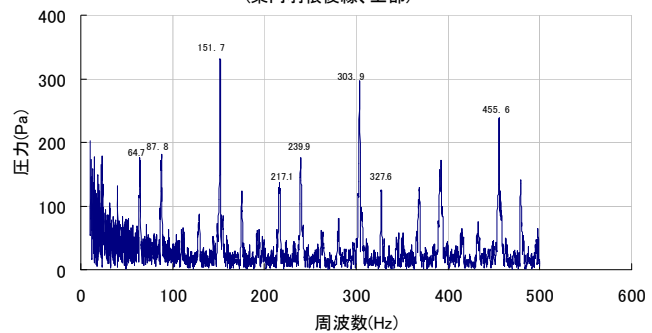
手法	適用分野	連成した解析	概要
一方向	電気メーカー	構造解析→半導体デバイス解析	熱応力の解析結果を半導体デバイス解析に適用
	電気メーカー	構造解析→半導体デバイス解析	熱応力の解析結果を半導体デバイス解析に適用
	精密機器メーカー	構造解析→流体解析	起振源の流体挙動への影響評価
	化学メーカー	分子動力学→構造解析	ミクロな相分離構造結果を利用した応力解析
双方向	機械(機器の設計)	流体解析⇔構造解析	超音速圧縮性流体と大変形構造解析
	機械(部品の設計)	流体解析⇔構造解析	表面を持つ流れと大変形構造解析
	精密機器メーカー	流体解析⇔構造解析	商用ソフトウェア同士の連成制御手法開発

弱連成;一方向 構造解析⇔流体解析

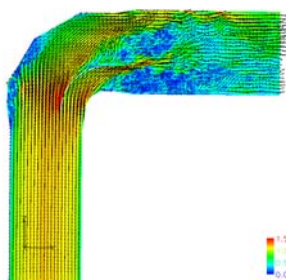
Advance/FrontFlow/redと Advance/FrontSTRを用いた解析

案内翼付き曲り配管の流体構造連成解析

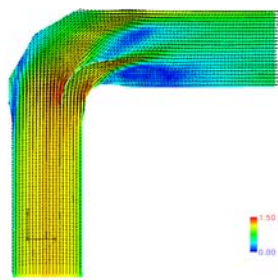
LES非定常流れ圧力変動の周波数分析
(案内羽根後縁、上部)



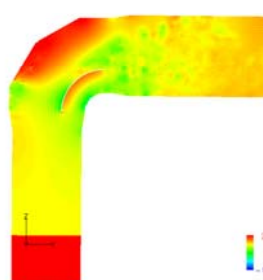
速度変動強度分布
 $(v_{rms}^2 + w_{rms}^2)^{1/2} / W_0$



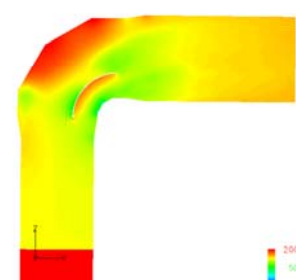
瞬時速度



平均速度



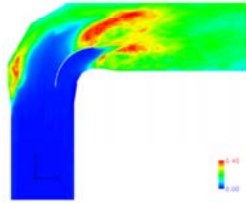
瞬時圧力



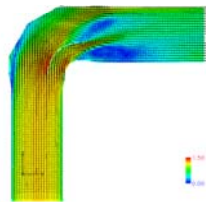
平均圧力

ご協力 : 株式会社電業社機械製作所 技術研究所

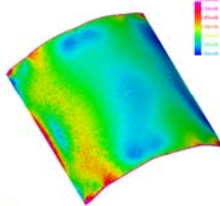
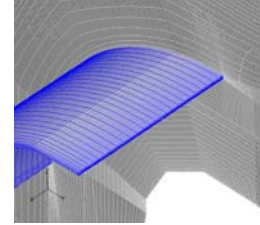
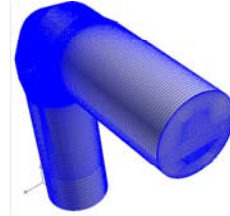
案内羽根付き曲がり管における流体-構造連成解析 (案内板溶接部応力解析)



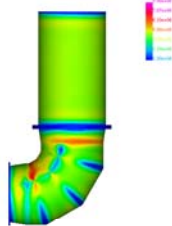
速度変動強度分布
 $(v_{rms}^2 + w_{rms}^2)^{1/2} / W_0$



平均速度

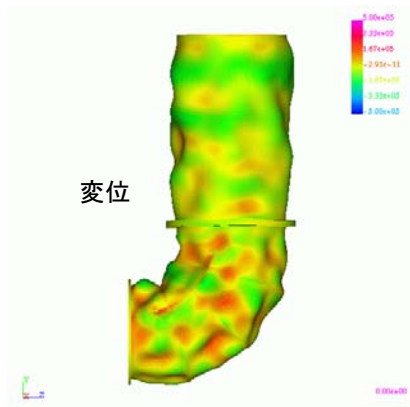


連成解析結果— 平均応力の分布



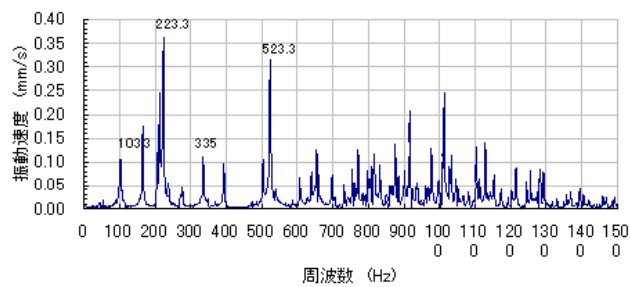
ご協力：株式会社電業社機械製作所 技術研究所

案内翼付き曲り配管の流体構造連成解析



変位

連成解析周波数分布 (粘性係数50、観測点2)



解析時間設定:

- 流体解析側で圧力の出力
- 時間刻みは 5.0×10^{-7} [s]
- 1.0秒間の時系列を出力

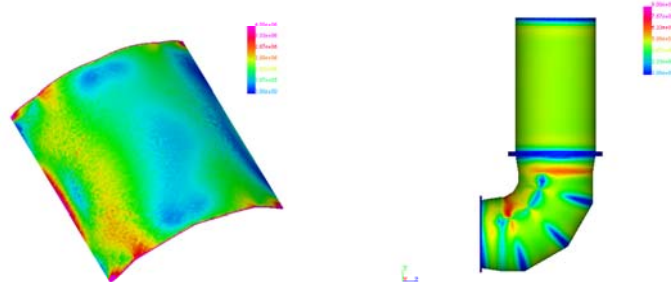
構造解析ステップ数:

200万ステップ

統計量: 100万ステップが対象

計算時間: 約11時間

(SR11000・32CPU)



連成解析結果 平均応力の分布

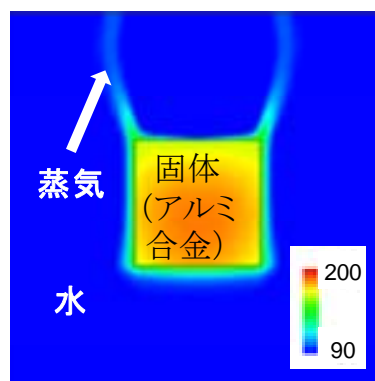
ご協力：株式会社電業社機械製作所 技術研究所

強連成; 双方向 構造解析(熱伝導解析) ⇔ 流体解析

Advance/FrontFlow/MPを用いた解析

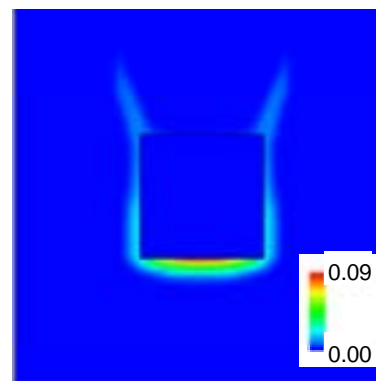
沸騰凝縮を伴う固体と流体の伝熱連成解析

固体と流体の
伝熱計算



固体と流体の温度分布(°C)

蒸気発生量と
熱移動の計算



気相体積の割合 (ボイド率)

弱連成; 一方向 流体解析 ⇔ 音場解析

(LES解析) (Lighthill-CurleまたはFWH)

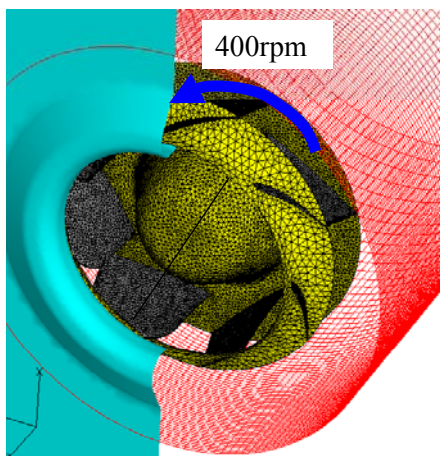
Advance/FrontFlow/redを用いた解析

ファンの騒音解析

[目的]

非定常な流体力、圧力変動、翼列干渉音、キャビティ音を評価する。

[解析対象]



Centrifugal Fan diameter :230mm

[解析結果]

変動圧力分布: P_{rms}

