

# 高速流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/FOCUSを用いた 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



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

1

## 発表内容

### ■ 基本機能についての概要

- 基本機能を用いた解析例
  - 高速流れ(圧縮性流れ)の解析例
  - 火炎伝播を伴う流れの解析例
  - 圧力波の伝播の解析例

---

### ■ 連成機能についての概要

- 埋込み境界法の実装法についてのご紹介
- 埋込み境界法を用いた解析例
  - 剛体周りの爆風解析
  - 弾性体の振動を伴う爆風解析



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

2

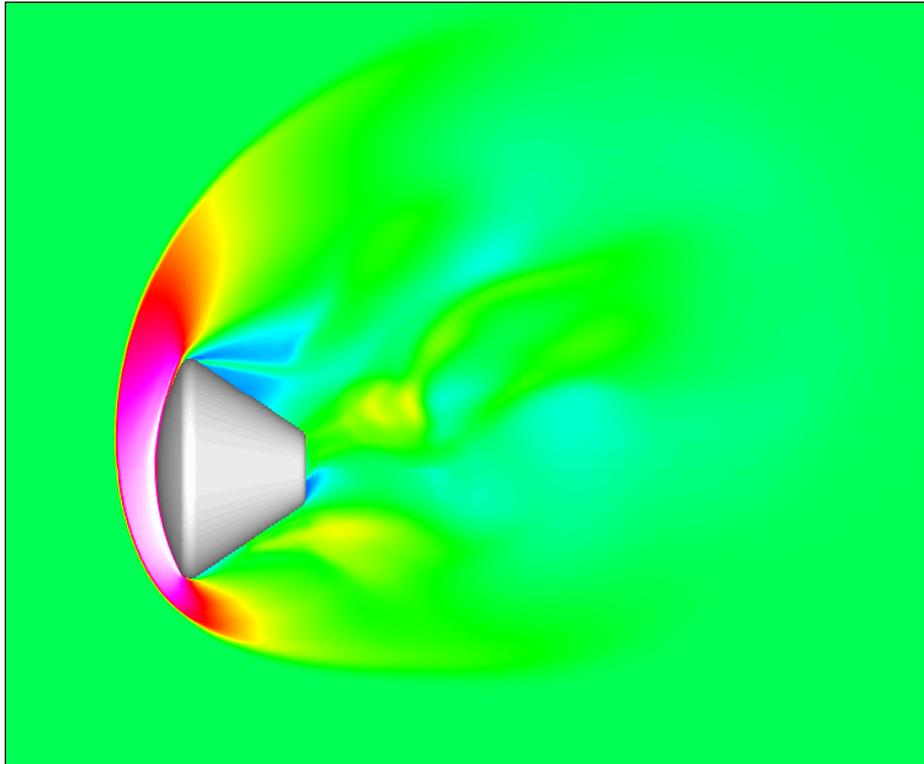
# Advance/FrontFlow/FOCUSの基本機能の概要

- 時間積分
  - オイラー陰解法(LU-SGS陰解法、LU-ADI陰解法)
  - 2次または4次精度ルンゲ-クッタ陽解法
- 移流項
  - 種々の衝撃波捕獲スキーム
  - 3次精度TVD補間
  - 5次精度WENO補間
- 燃焼モデル
  - 火炎モデル
    - 層流火炎モデル(高野モデル)
    - 乱流燃焼速度モデル
- RANS
  - Baldwin-Lomax 0方程式モデル
  - Spalart-Allmaras 1方程式モデル
  - 標準k-ε 2方程式モデル
- LES
  - Smagorinskyモデル
  - Dynamic Smagorinskyモデル
  - DES

# 基本機能を用いた解析例

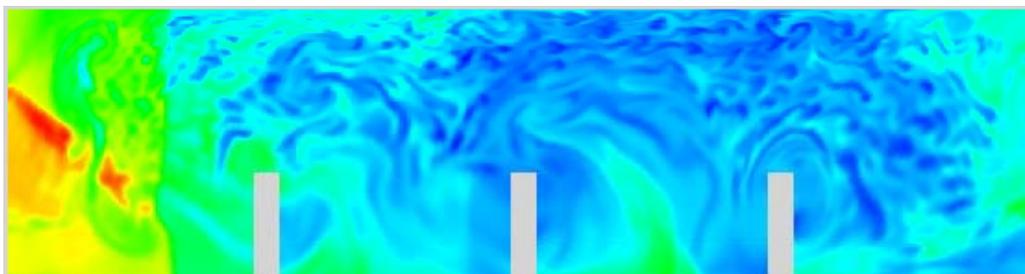
- ① 速い流れの解析例
- ② 火炎の伝播の解析例
- ③ 爆轟に起因する圧力波の解析例

## 速い流れの解析

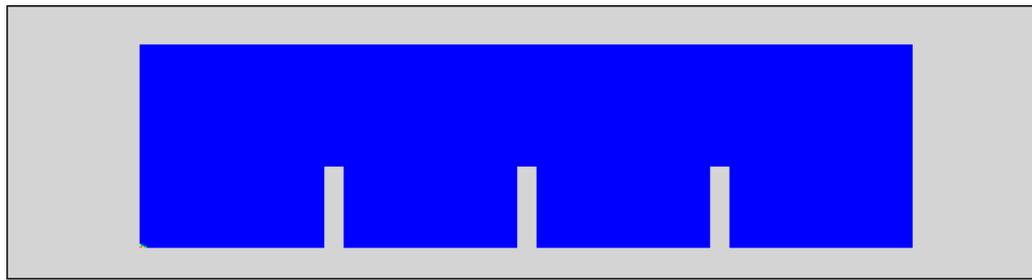


温度分布  
(マッハ数 $M=3$ 、レイノルズ数 $Re=4 \times 10^6$ 、迎角 $\alpha=20^\circ$ )  
形状については次のURLを参照下さい <http://www.astronautix.com/craft/orioncm.htm>  
Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

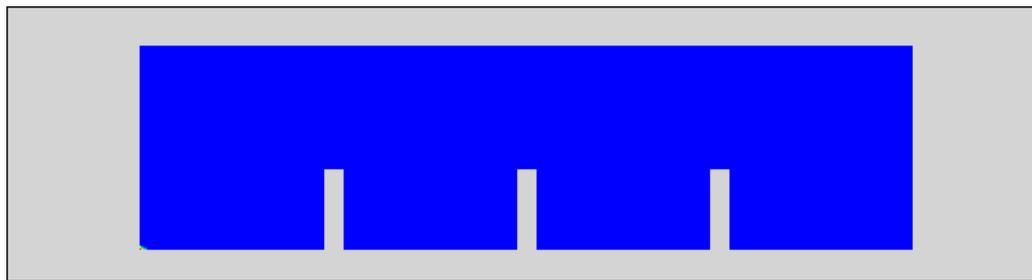
## 火炎の伝播の解析例



## 火炎の伝播の解析例 (アニメーション)

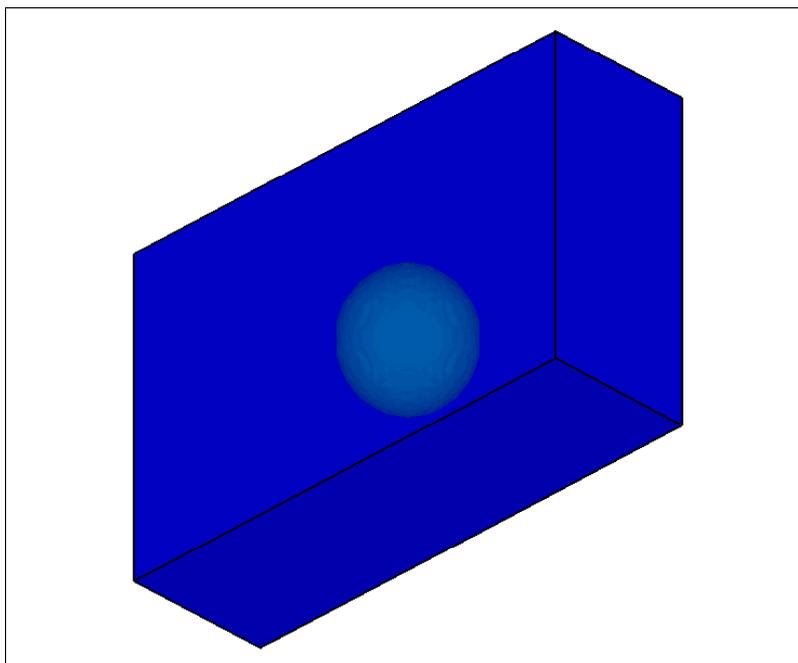


温度



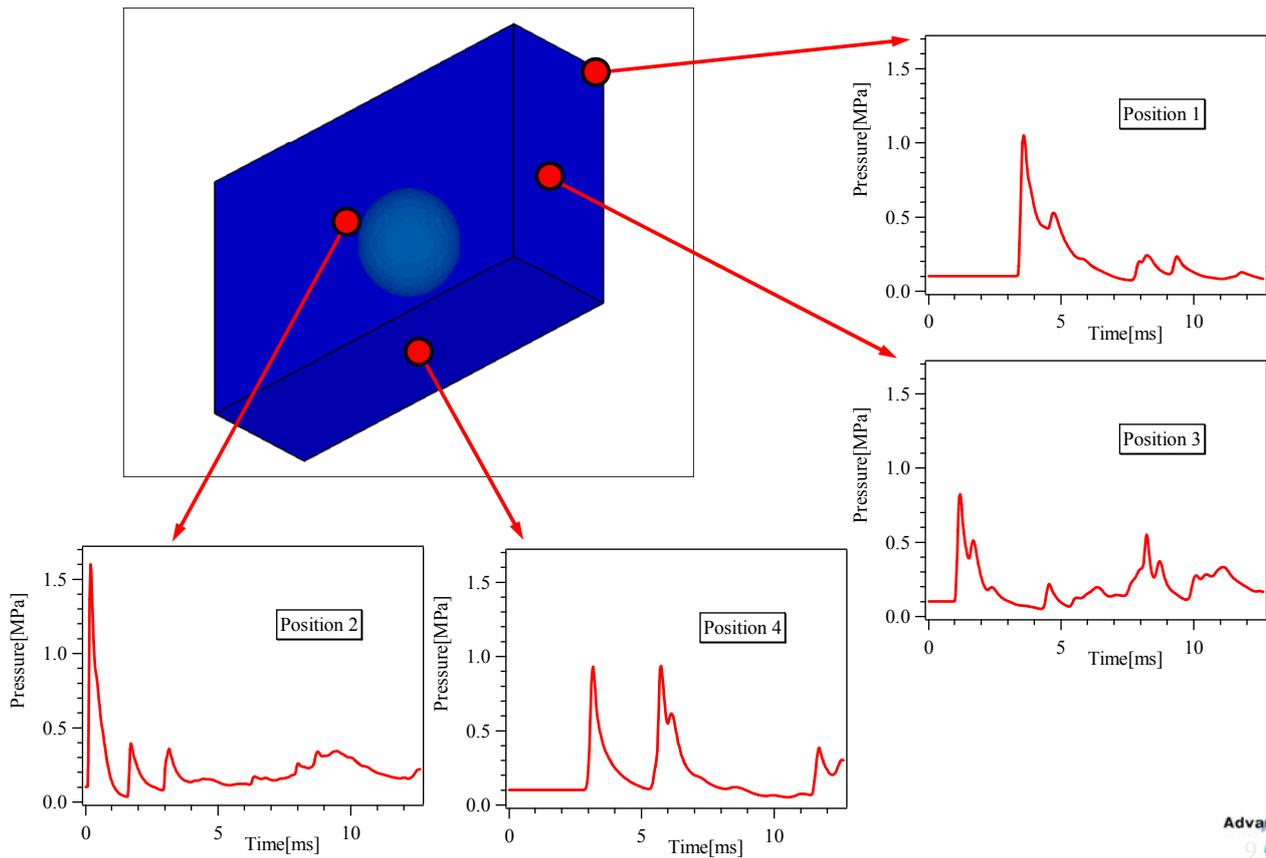
圧力

## 爆轟による圧力変化の解析 (アニメーション)

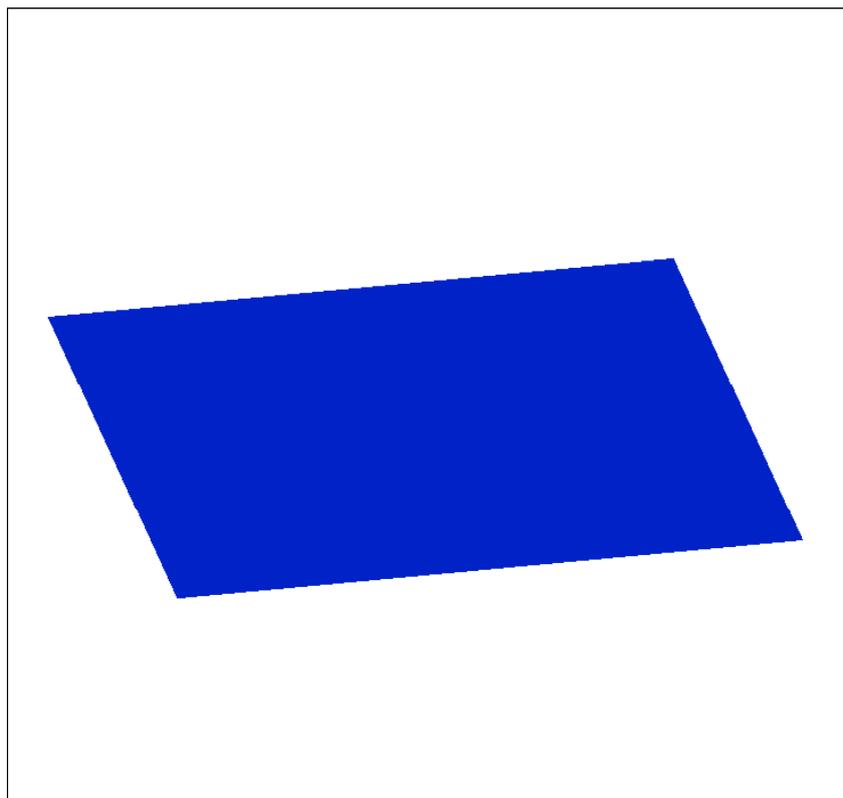


- 爆発による高圧の状態を想定
- 高圧状態が半径0.6mの球状に分布
- 球の表面近傍で約1MPa
- 格子数は144万要素
- 5m × 1.5m × 3mの密閉容器内を想定

## 爆轟による圧力変化の解析



## 爆轟の圧力変化によって生じる応力歪の可視化



## Advance/FrontFlow/FOCUSの連成機能の概要

- 直交格子ソルバー機能
  - Immersed boundary法(埋込み境界法)
  - 移動壁境界
- 流体構造連成機能
  - 構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTRと連成解析が可能
  - 構造解析ソフトウェアDyna3D2000との併用実績あり

## 埋込み境界法について

### ■ 背景

- 複雑な形状部品が高密度に充填された内部構造への対応
  - ✦ ディスク装置内部などの複雑な内部構造
    - ✦ 形状を簡素化して対応
    - ✦ 全体解析を諦めて大事な箇所を抜き出して解析→全体を解析することによって初めてわかる事象の把握が不可能
- 大変形と移動を伴う形状への対応
  - ✦ 液体を弾き飛ばして進むタイヤ
  - ✦ 高圧流体の駆動で変形する部材 →移動格子、重合格子では難易度が高い



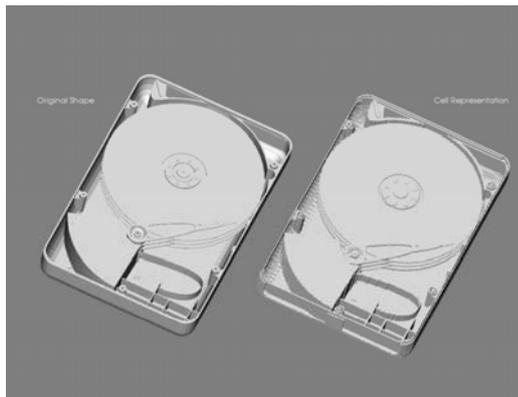
埋込み境界法の導入

## 埋込み境界法について

### ■ 直交格子法と埋込み境界法の導入

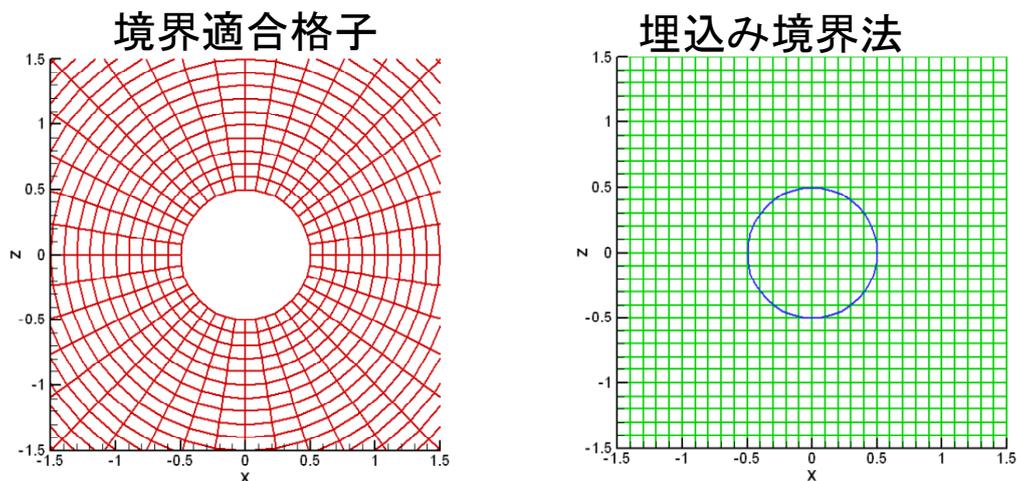
- 複雑な形状部品の周囲の扱いを軽減
- 大変形と移動を伴う形状の扱いが可能

※CADデータ準備の段階から流体計算の開始までの期間が短い



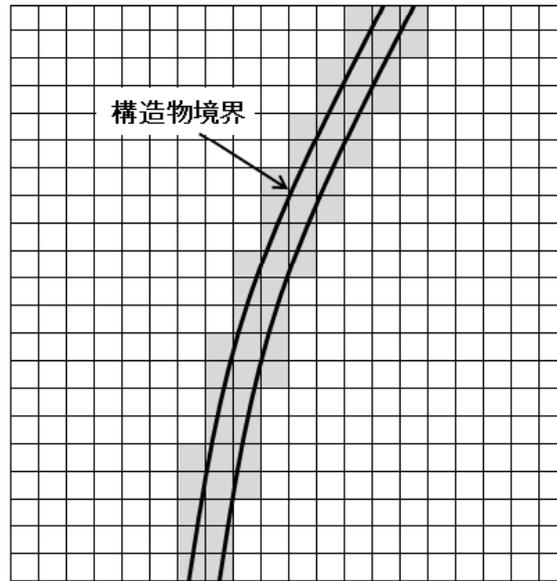
ポリゴンデータを流体格子の中で形状認識させた例  
形状データは下記URLを参照下さい  
<http://www.turbosquid.com>

## 物体境界の認識の違い



- 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



# 物体境界の取り扱い

密度

 $\rho_j = \rho_i$ 

運動量(x方向)

 $(\rho u)_j = (\rho V_x)_i$ 

運動量(y方向)

 $(\rho v)_j = (\rho V_y)_i$ 

運動量(z方向)

 $(\rho w)_j = (\rho V_z)_i$ 

エネルギー

 $e_j = e_i$

滑り条件の場合

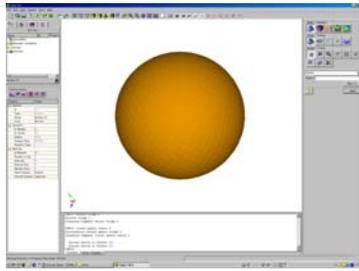
$$\vec{V}_j = \vec{V}_i - (\vec{V}_i \cdot \vec{n}_j) \vec{n}_j$$

非滑り条件の場合

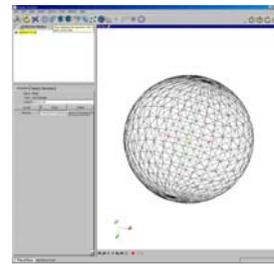
$$\vec{V}_j = \vec{V}_i - (\vec{V}_i \cdot \vec{n}_j) \vec{n}_j - (\vec{V}_i \cdot \vec{t}_j) \vec{t}_j - (\vec{V}_i \cdot \vec{s}_j) \vec{s}_j$$

# 埋込み境界法での形状取り込みから 流れの計算まで

## ①形状の作成



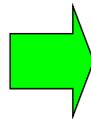
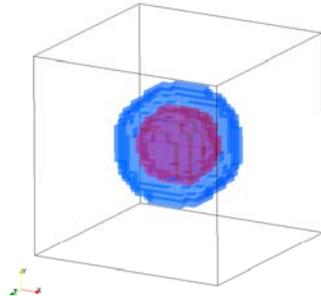
## ②stl形式データの作成



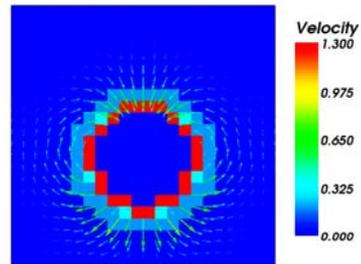
Microsoft Office  
rPoint プレゼンテ

## ③ソルバ内で形状を自動認識

Microsoft Office  
rPoint プレゼンテ

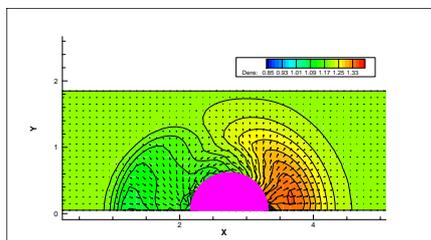
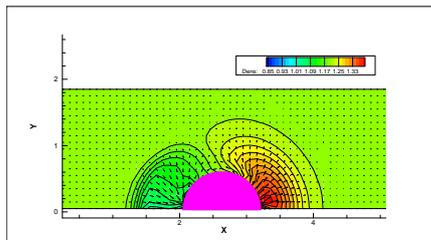
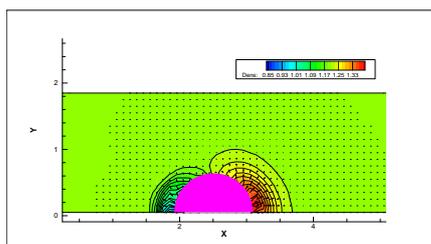


## ④流れ解析を開始

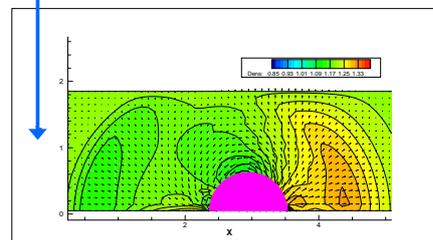
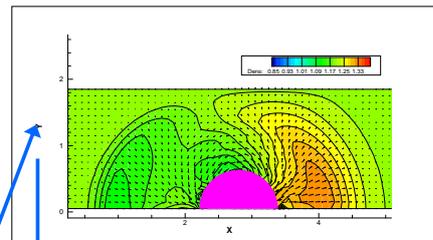


Advance Soft  
17

# 移動物体の取り扱いの例



移動速度100m/s



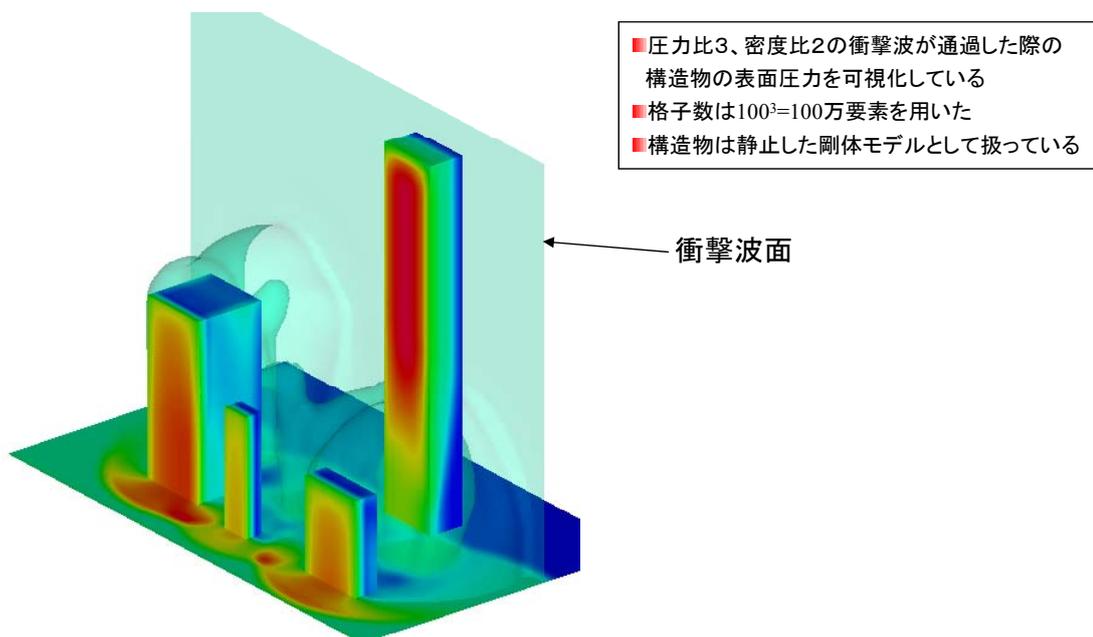
Advance Soft  
18 18

# 埋込み境界を用いた解析例

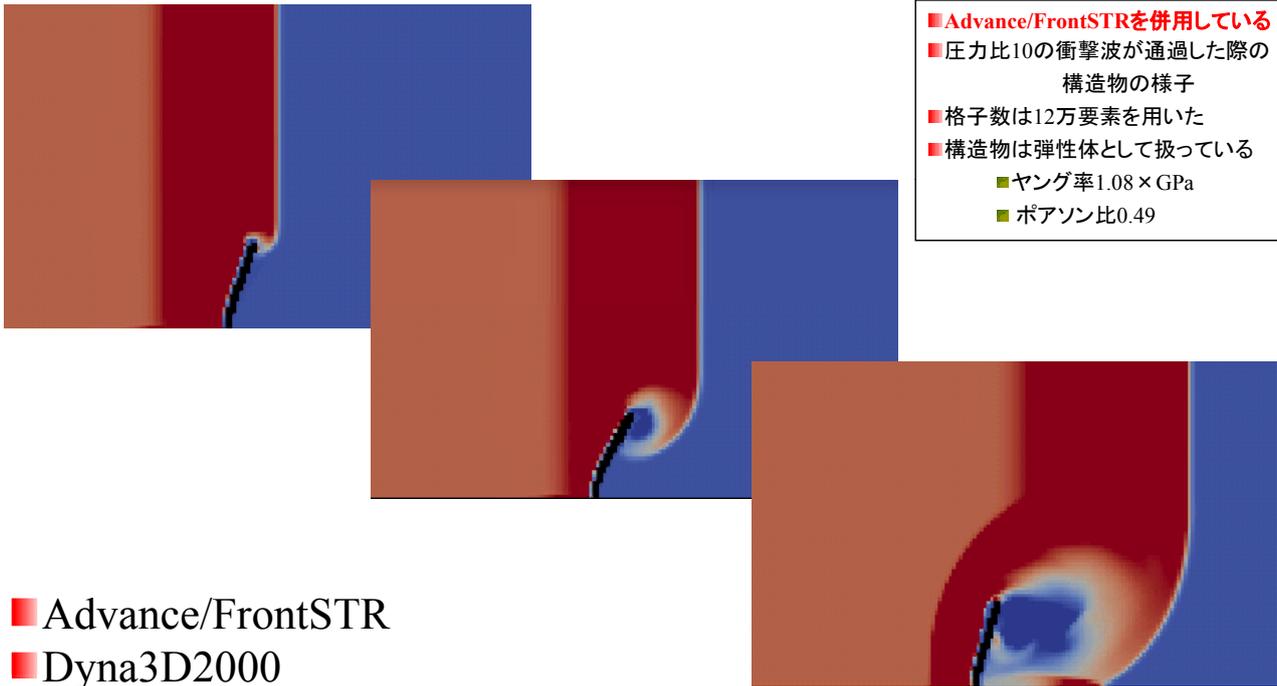
## ① 爆風解析

## ② 大変形を伴う連成解析

## 爆風解析 (埋込み境界を用いた流体解析)



## 大変形を伴う連成解析 (衝撃波で部材が折れ曲がる様子)



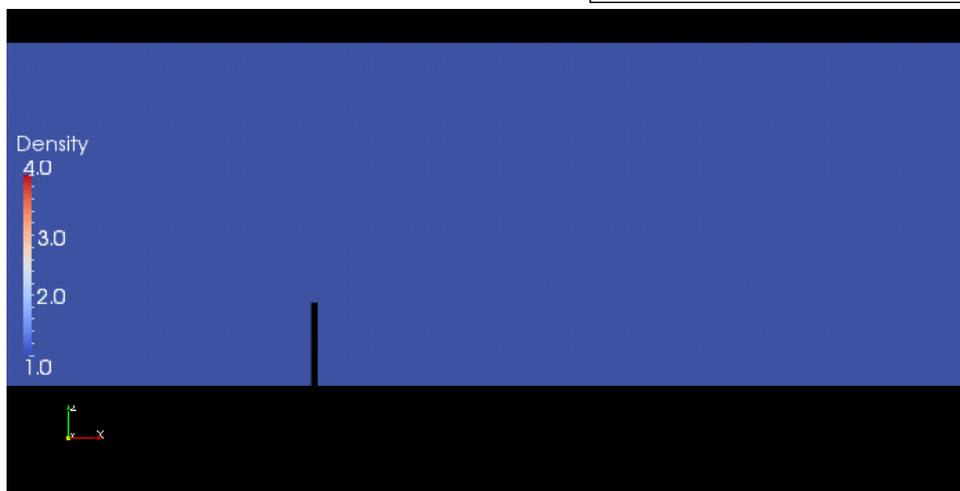
- Advance/FrontSTRを併用している
- 圧力比10の衝撃波が通過した際の構造物の様子
- 格子数は12万要素を用いた
- 構造物は弾性体として扱っている
  - ヤング率1.08 × GPa
  - ポアソン比0.49

■ Advance/FrontSTR  
■ Dyna3D2000

これらの構造解析ソフトウェアとの併用が可能

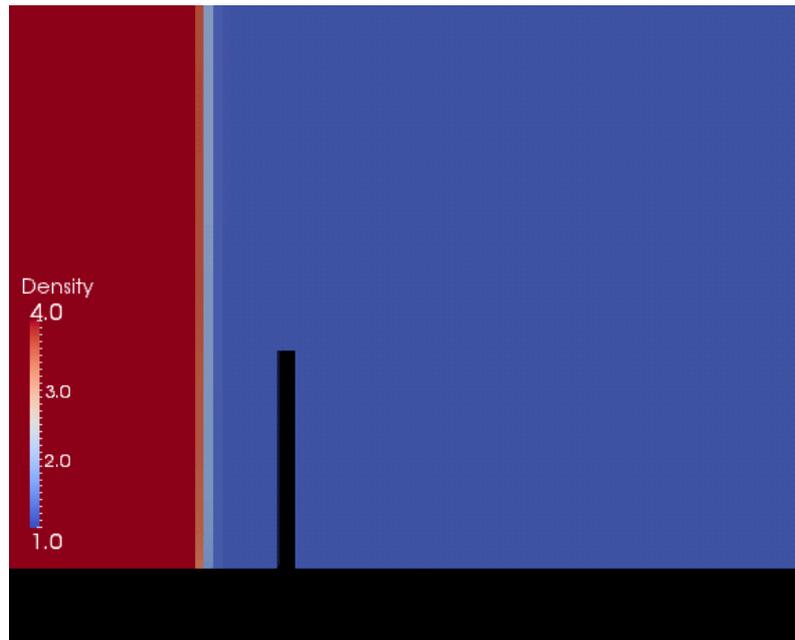
## 大変形を伴う連成解析 (アニメーション)

- 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



※構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTRとの連成解析例

## 大変形を伴う連成解析 (アニメーション、拡大版)



※構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTRとの連成解析例

## 高速流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/FOCUSを用いた 連成解析についてのまとめ

- 基本機能についての概要
- 基本機能を用いた解析例
  - 高速流れ(圧縮性流れ)の解析例
  - 火炎伝播を伴う流れの解析例
  - 圧力波の伝播の解析例
- 連成機能についての概要
- 埋込み境界法の実装法についてのご紹介
- 埋込み境界法を用いた解析例
  - 剛体周りの爆風解析
  - 弾性体の振動を伴う爆風解析