

高速流解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/FOCUSによる 爆発現象の影響評価予測のための 流体-構造連成シミュレーション

第2事業部 中森 一郎

原子力安全解析セミナー
2014年11月27日（木）
アドバンスソフト株式会社

発表内容

- 爆発現象に対する解析の背景・現状
- 配管内での爆発現象に対する流体-構造連成の解析事例

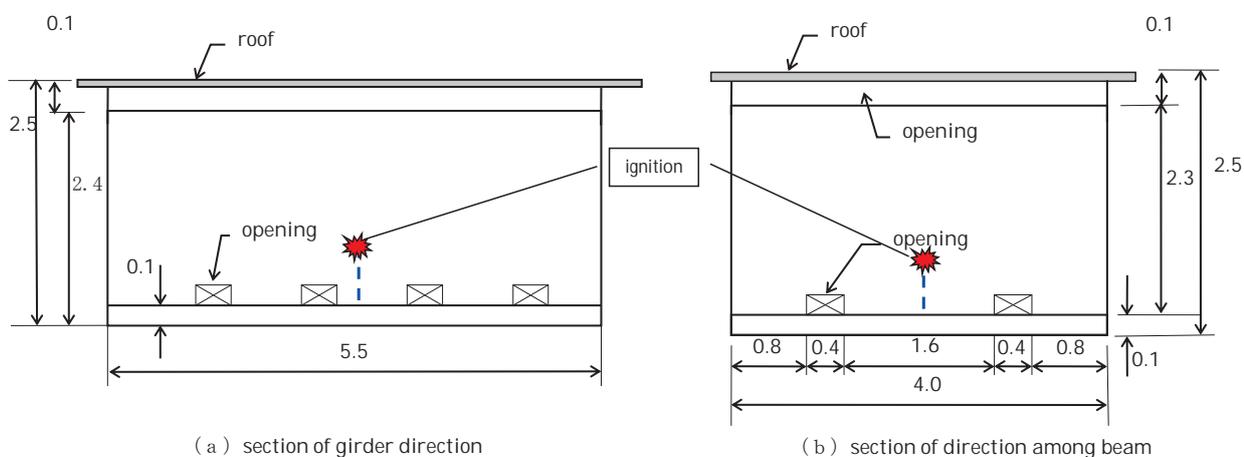
爆発現象に対する解析の背景・現状

爆発シミュレーションの必要性

- **爆発危険性評価の必要性**
 - ①施設の設計前に爆発危険性予測により設計指針の立案
 - 
 - ②設計指針を基に施設の設計の実施
 - 
 - ③設計結果に対して再度爆発危険予測の実施し、安全性の確認
 - 
 - ④安全上の問題点が見つかった場合、再設計または防爆対策の検討
- **安全管理上、爆発危険性評価が必須 ⇒ 予測手法の確立**

既往のシミュレーション(爆燃)

LPG容器置き場爆発実験



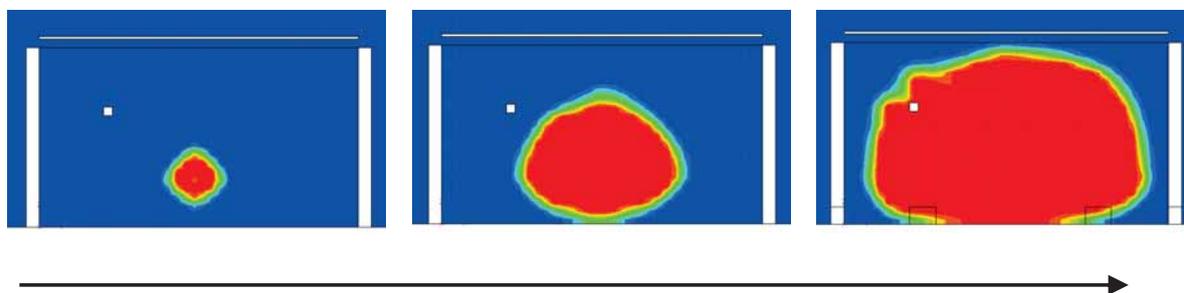
LPG容器置き場内爆発実験

壁面:コンクリートブロック、屋根:スレートのLPG容器置き場内にLPGを注入
室内中央、高さ50cmの点で着火・燃焼

※高橋, 富塚, 永野, 高桑, 武井, 越, 土橋, 山鹿, 難波, 「実規模LPガス漏洩・爆発評価システムの開発」, Science and Technology of Energetic Materials, Vol.65, No.4, p.116-124 (2004)

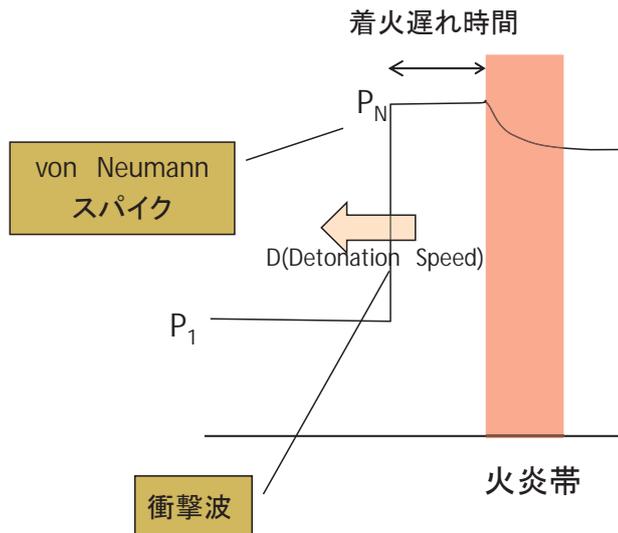
既往のシミュレーション(爆燃)

火炎伝播計算例

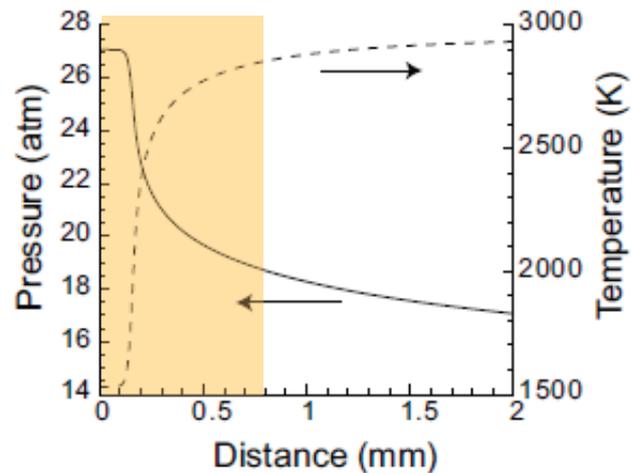


※高橋, 富塚, 永野, 高桑, 武井, 越, 土橋, 山鹿, 難波, 「実規模LPガス漏洩・爆発評価システムの開発」, Science and Technology of Energetic Materials, Vol.65, No.4, p.116-124 (2004)

火炎構造(爆轟の場合)



火炎構造の解析には
ミクロンオーダーの解像度が必要



ZNDモデルによる水素-空気 detonation の一次元構造計算例

爆発シミュレーションの課題

- 実験
 - 人体や周辺施設の危険性
 - 膨大なコスト
- 既往の数値シミュレーション
 - 現状の数値モデルで燃焼問題に対応するには膨大な計算格子数と計算機資源が必要
 - 解析スケール: 現象のスケールが 10^0m 以上に対し、計算格子幅は 10^{-6}m オーダーが必要
- **実用的なスケール($10^0\sim\text{m}$)の爆発評価のための火炎伝播モデルが必須**

配管内での爆発現象に対する 流体-構造連成の解析事例

配管の破断事故

浜岡原発における配管の破断事故(2001年)

肉厚11mmの炭素鋼



配管にたまっていた
水素に着火
↓
爆轟波による
破断と推定

水素爆発による配管破断 JAERI-Tech 2001-094 (2001年12月)、P.15

**爆轟波による配管破断
過程の解析が必要**

配管の破断試験

爆轟波による配管の破断試験 (一般社団法人 日本原子力技術協会)

試験体配管概略図

破断部詳細写真

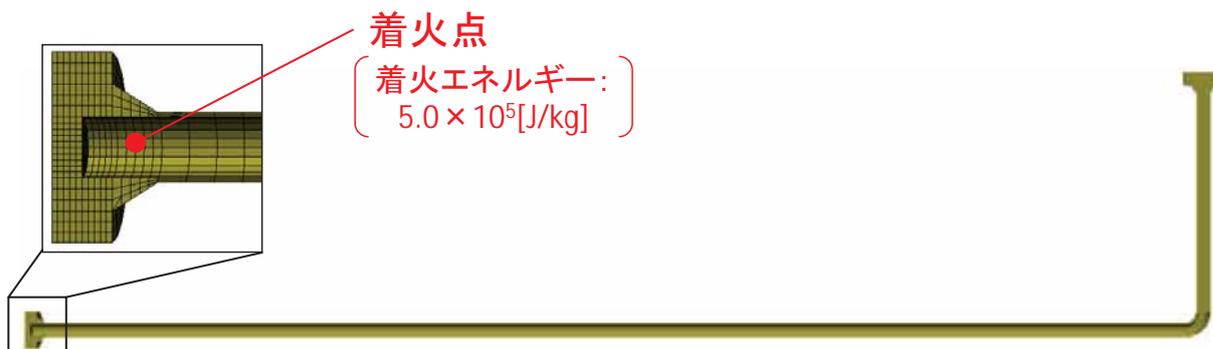
BWR(沸騰水型原子炉)配管における混合ガス(水素・酸素)の燃焼による配管損傷防止に関するガイドライン(第3版)

配管の破断試験に対する連成解析

FOCUS-DYNA3D2000による
連成解析を実施

- 弾塑性材料(破壊オプションなし)を用いた連成解析
 - 配管内の爆轟波(圧力分布) ← 破断試験の結果と比較
 - 配管の変形
- 破壊オプションを適用し、配管に生じた穴から流体が噴出する様子を再現

解析条件



[流体解析]

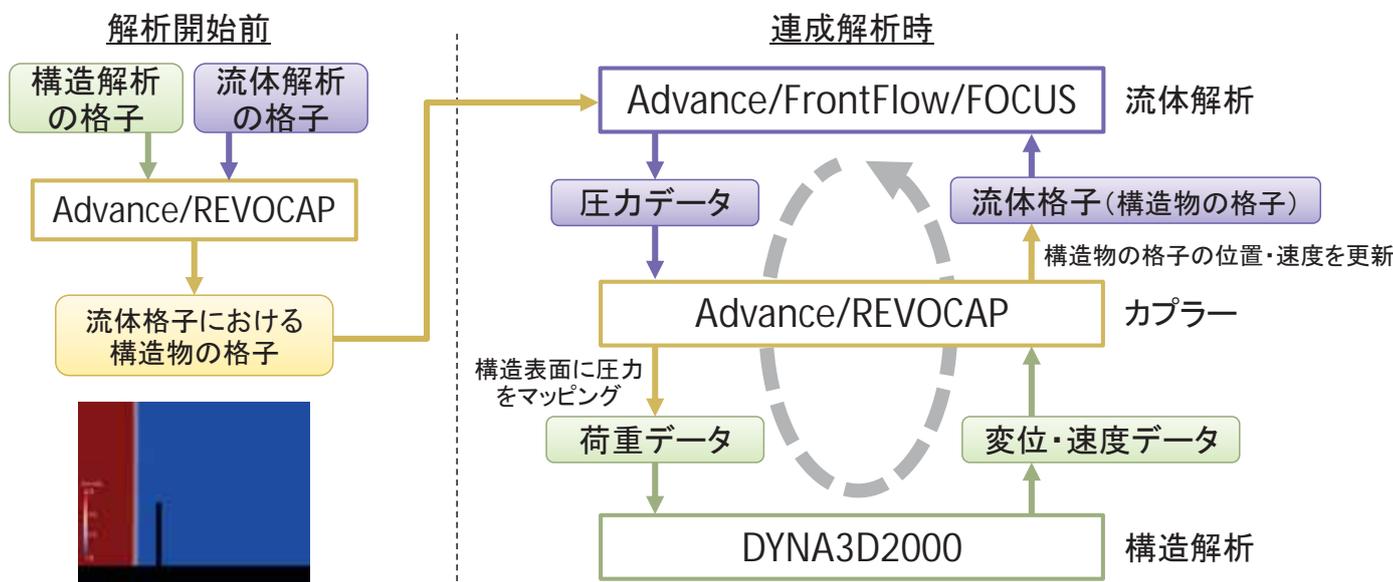
初期圧力: 3.5[MPa]
 初期温度: 15[°C]
 時間刻み: 1.0×10^{-7} [s]
 時間積分法: ルンゲクッタ陽解法

[構造解析]

配管の物性: 弾塑性材料
 ヤング率: 206[GPa]、ポアソン比: 0.29 (弾性域)
 降伏応力: 300[MPa]
 時間刻み: 1.0×10^{-7} [s]
 時間積分法: 陽解法

流体-構造連成解析の流れ

- 解析開始前に構造格子、流体格子の位置情報をREVOCAPが読み込み、流体格子における構造物の格子を抽出する。
- 流体解析を行い、構造表面の圧力をREVOCAPが荷重に変換し、DYNA3D2000に与えて構造解析を行う。
- 変形した構造物の情報から、流体格子における構造物の格子の位置・速度を更新する。

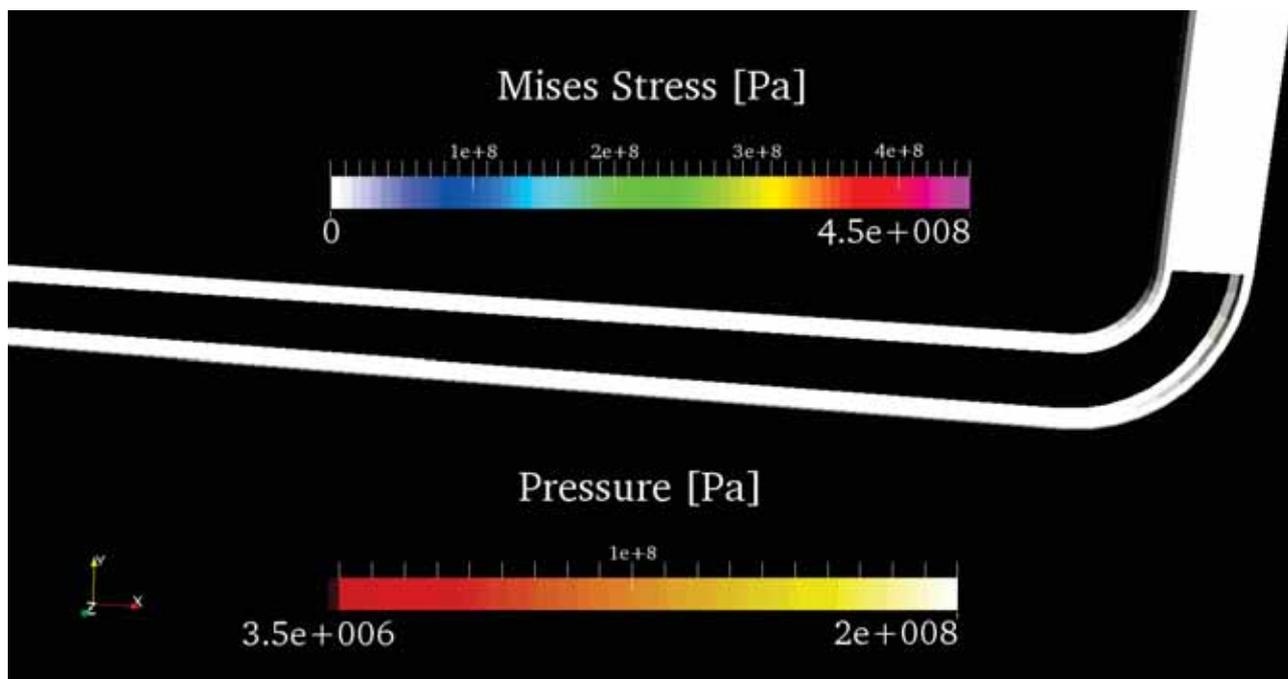


解析結果

弾塑性材料(破壊オプションなし)を用いた連成解析

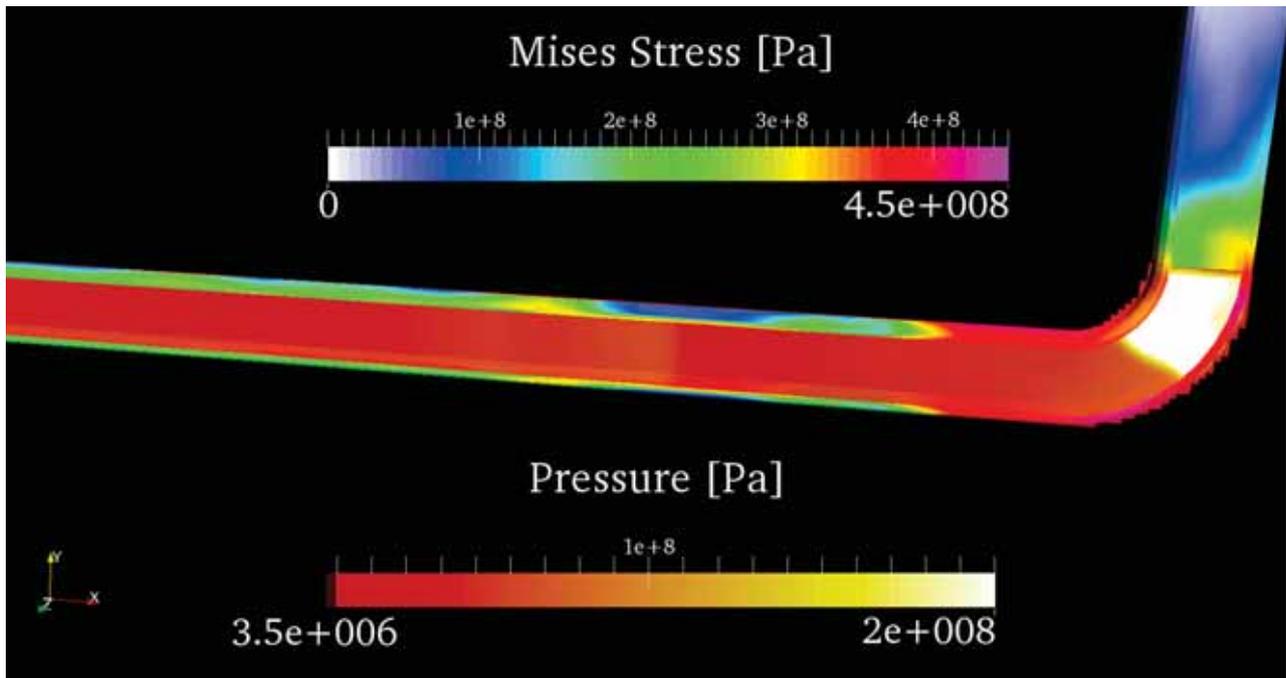
解析結果

アニメーション: 配管内圧力、配管ミーゼス応力



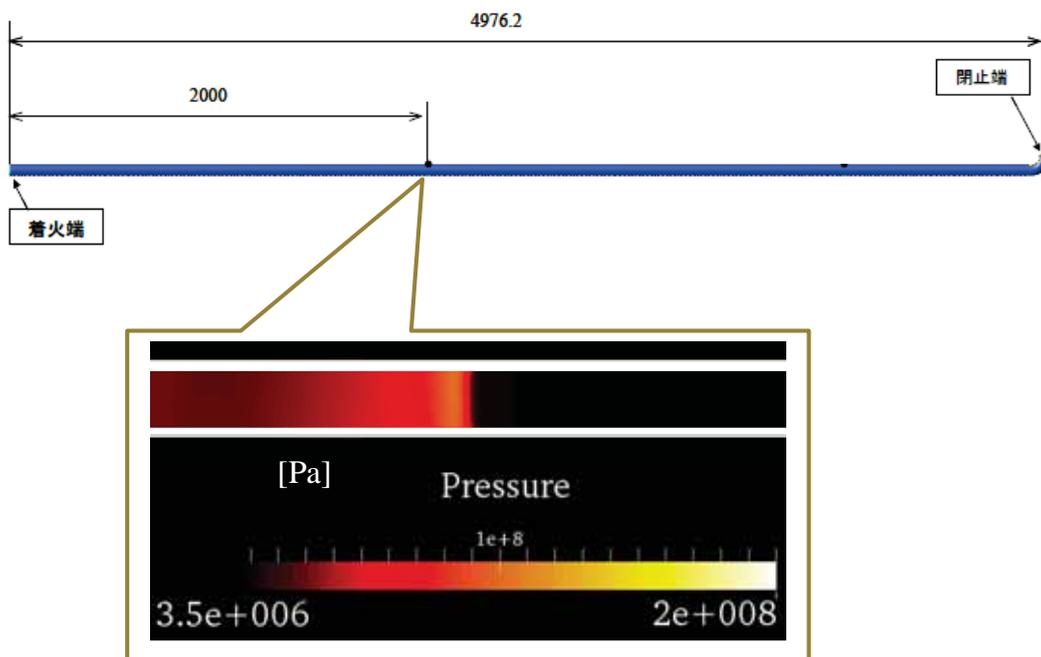
解析結果

爆轟波がエルボ部に達した時の配管内圧力、配管ミーゼス応力



解析結果

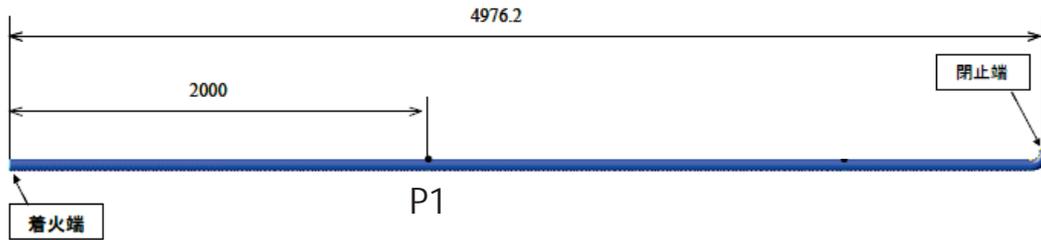
点P1を爆轟波が通過時の圧力分布



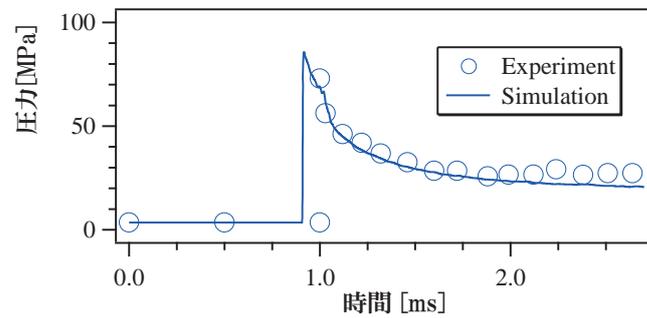
爆轟波の前後の圧力比は20~30

解析結果

着火端と観測点P1の模式図

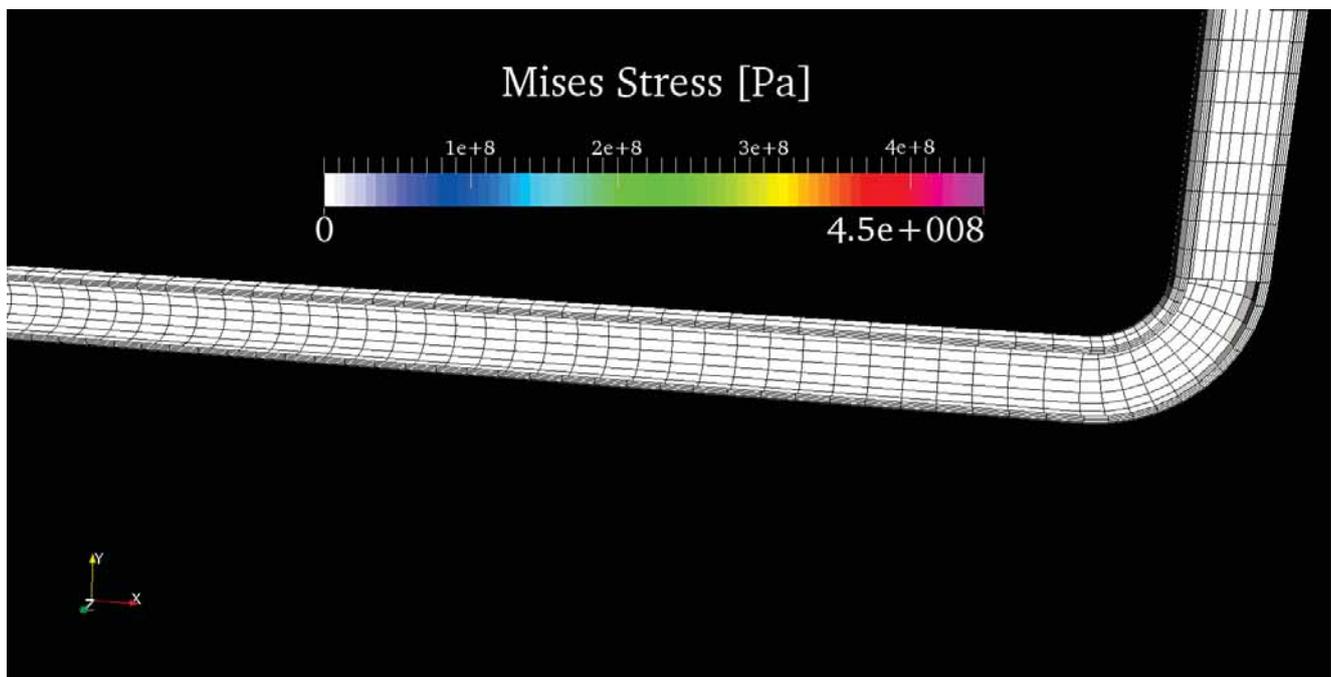


圧力に関する実験値との比較



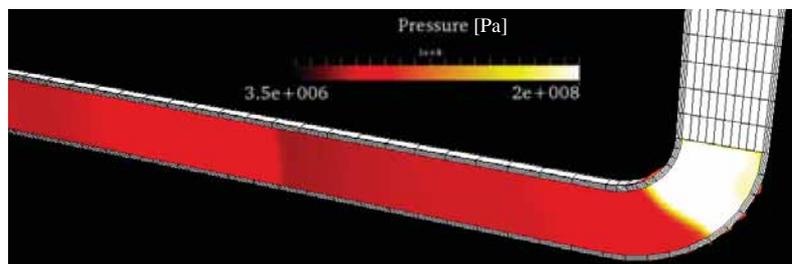
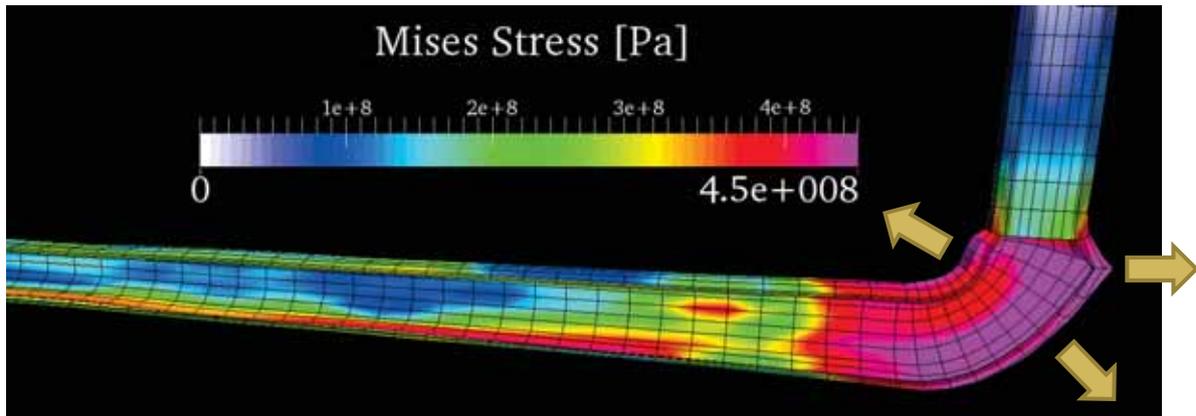
解析結果

アニメーション: 配管ミーゼス応力、配管変形(変形倍率5倍)



解析結果

爆轟波がエルボ部に達した時の配管ミーゼス応力、配管変形(変形倍率5倍)



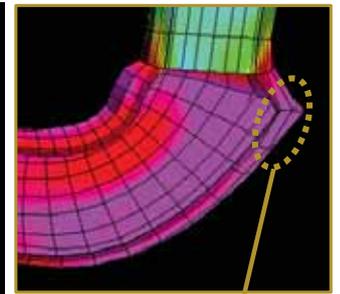
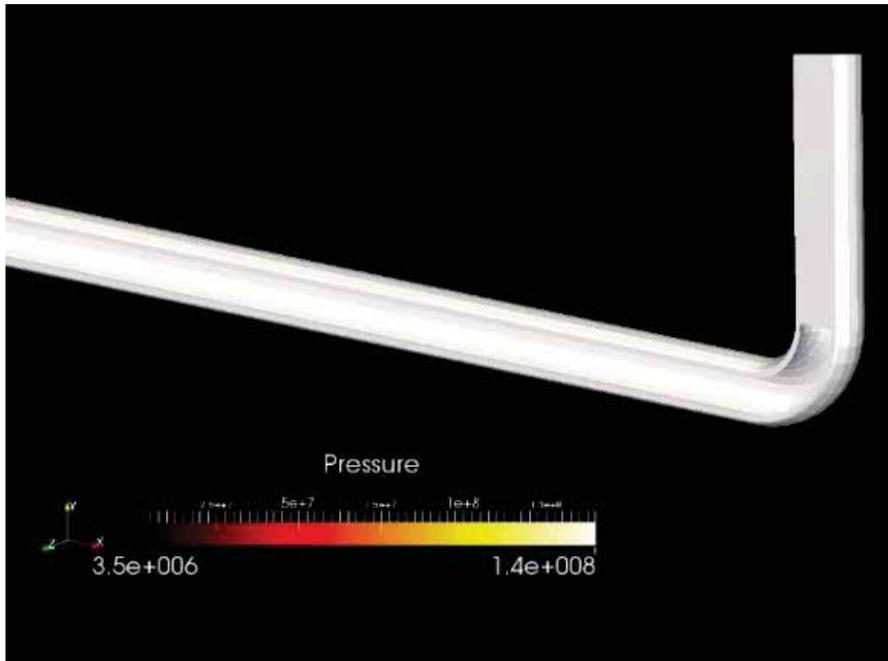
爆轟波による配管の膨張

解析結果

破壊オプションを適用し、配管に生じた穴から流体が噴出する様子を再現

解析結果

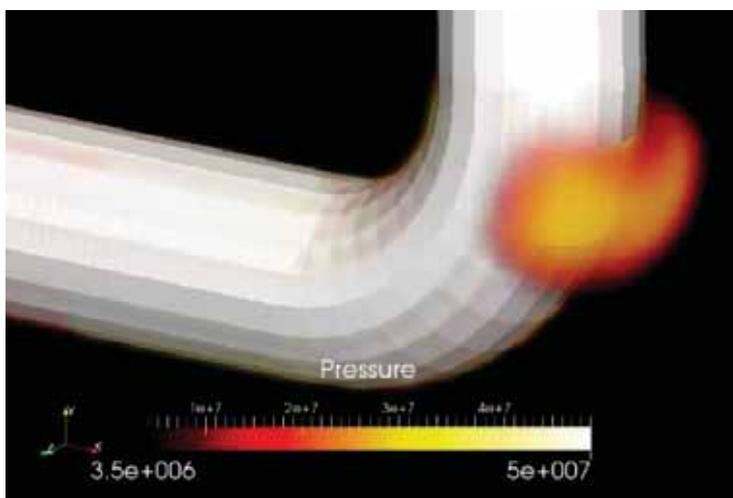
アニメーション: DYNA3D2000の破壊オプションを用いて配管を破壊し、破壊して生じた穴から流体が噴出する様子を再現



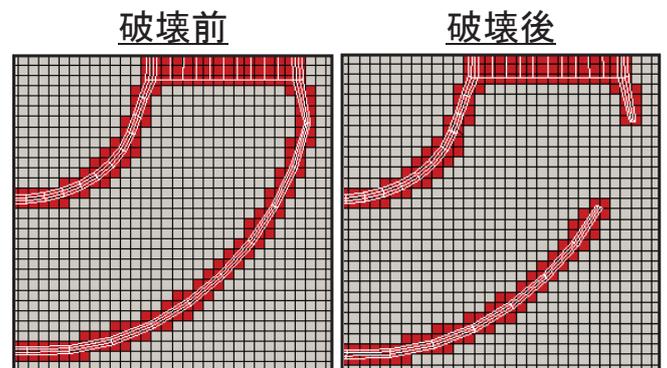
破壊箇所

解析結果

配管内の流体が噴出する様子
(配管に穴が生じた直後)



エルボ付近の構造解析モデル(白線)と流体格子



■ 格子: 構造物と認識された格子

破壊オプション(DYNA3D2000)と埋め込み境界法(FOCUS)の組み合わせにより、穴開き後も流体計算が可能

まとめ

- 爆発現象に対する解析の背景・現状
- 配管内での爆発現象に対する流体-構造連成の解析事例
 - 火炎モデルと爆轟モデルのご紹介
 - FOCUS-DYNA3D2000による連成解析機能を用いて、配管内部で生じる爆轟波の圧力分布、配管の変形を解析
 - DYNA3D2000の破壊オプションを用いて、配管からの流体噴出の様子を再現