

# Advance/FrontFlow/FOCUSの爆発現象に 関連した解析事例のご紹介

技術第4部 富塚 孝之

技術第2部 田中 洋一

爆発統合解析のためのAdvance/FrontFlow/FOCUS ご紹介セミナー  
2014年5月12日（月）  
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を立てる

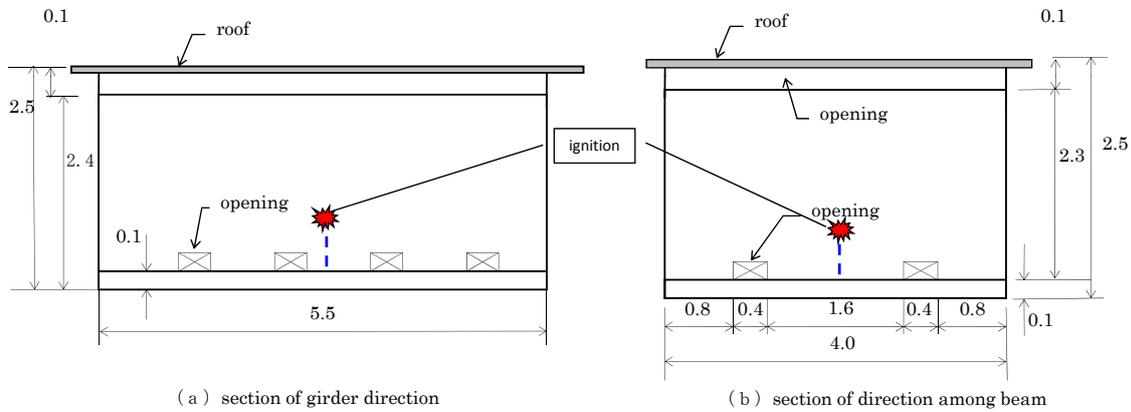
↓

  - ②設計指針を基に施設の設計をおこなう
- ↓
- ③設計結果に対して再度爆発危険予測を実施し、安全性の確認をおこなう
- ↓
- ④安全上の問題点が新たに見つかった場合、再度設計に反映または防爆対策を検討

- 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



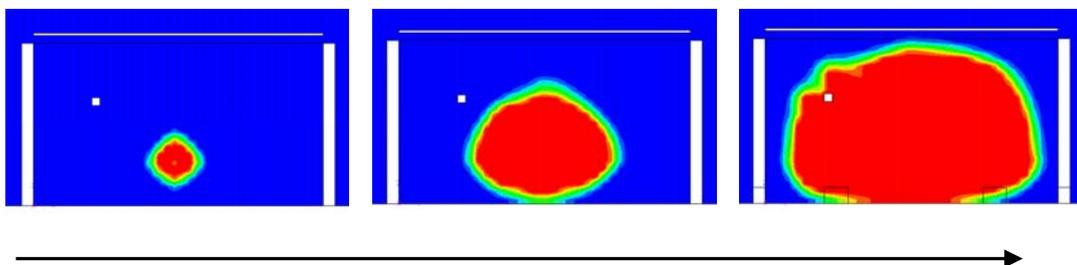
## LPG容器置き場内爆発実験

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)

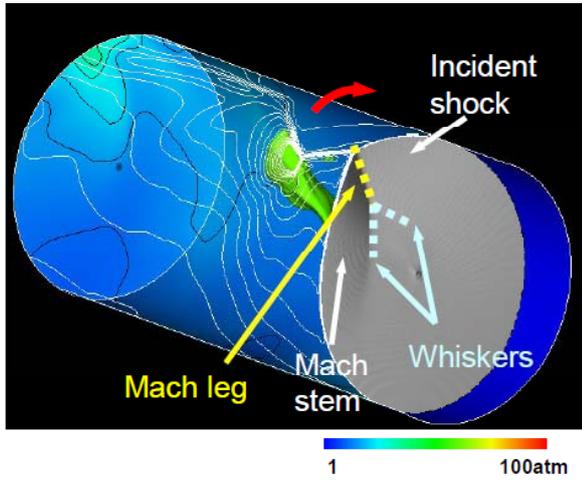
## 火炎伝播計算例



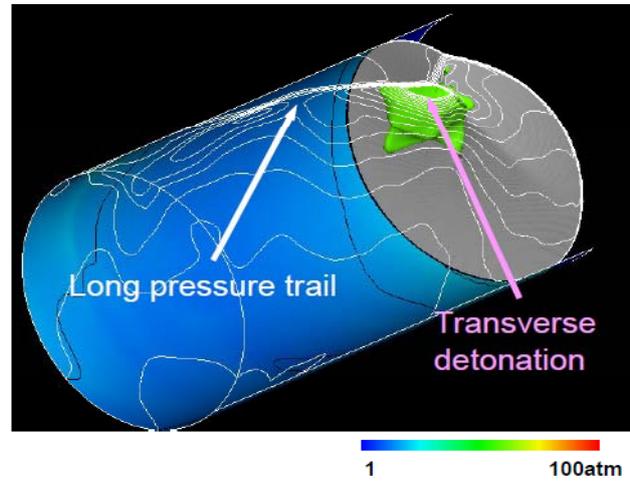
※高橋, 富塚, 永野, 高桑, 武井, 越, 土橋, 山鹿, 難波, 「実規模LPガス漏洩・爆発評価システムの開発」, Science and Technology of Energetic Materials, Vol.65, No.4, p.116-124 (2004)

# 既往のシミュレーション(爆轟)

## 3次元爆轟シミュレーション



(a) 前方視

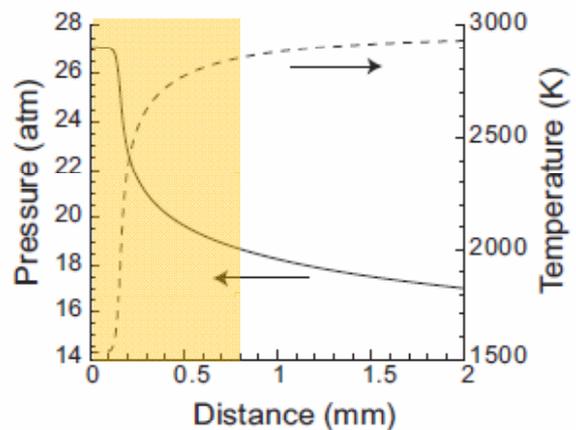
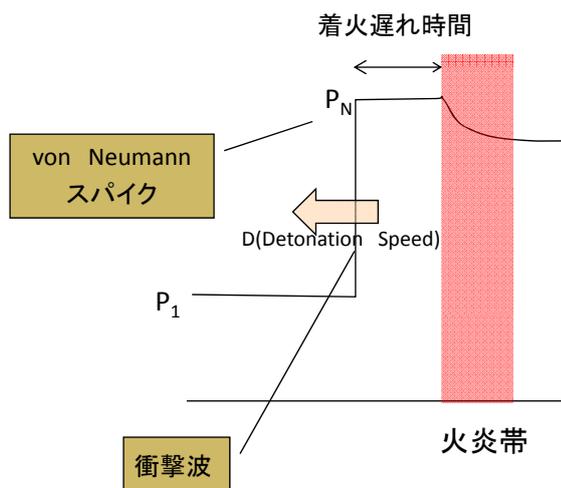


(b) 後方視

## 円管内を伝播するスピンドトネーション圧力分布

※坪井伸幸、林光一、3次元爆轟現象の数値解析、ながれ26(2007)183-192

# 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 $10^0\text{m}$ 以上に対し、計算格子幅は $10^{-6}\text{m}$ 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ばモデルが必須

## 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)



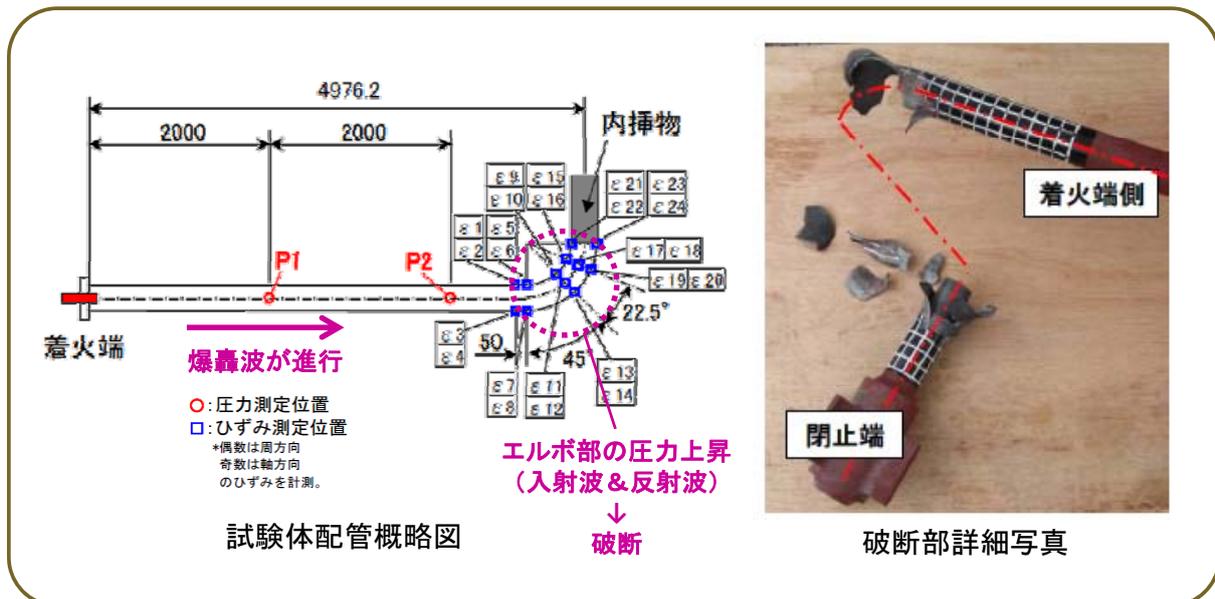
配管にたまっていた水素に着火  
↓  
爆轟波による破断と推定

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

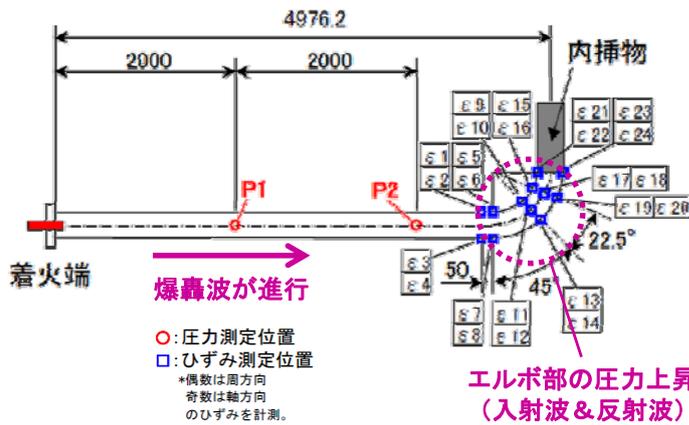
# 配管の破断試験

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)



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



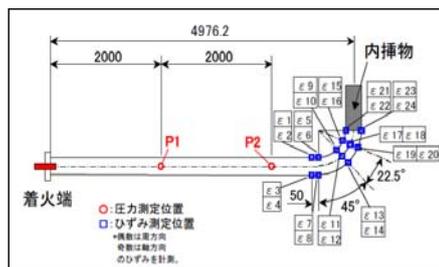
FOCUS-DYNA3D2000による  
連成解析を実施

- 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

# 解析モデル

## 構造解析(DYNA3D2000)

節点数: 15978  
要素数: 11680



# 解析モデル

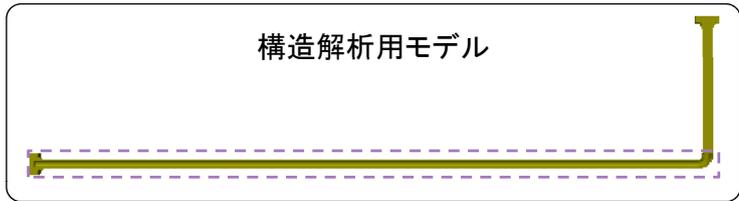
## 流体解析 (FOCUS)

直交格子法 & 埋め込み境界法

格子幅: 4mm

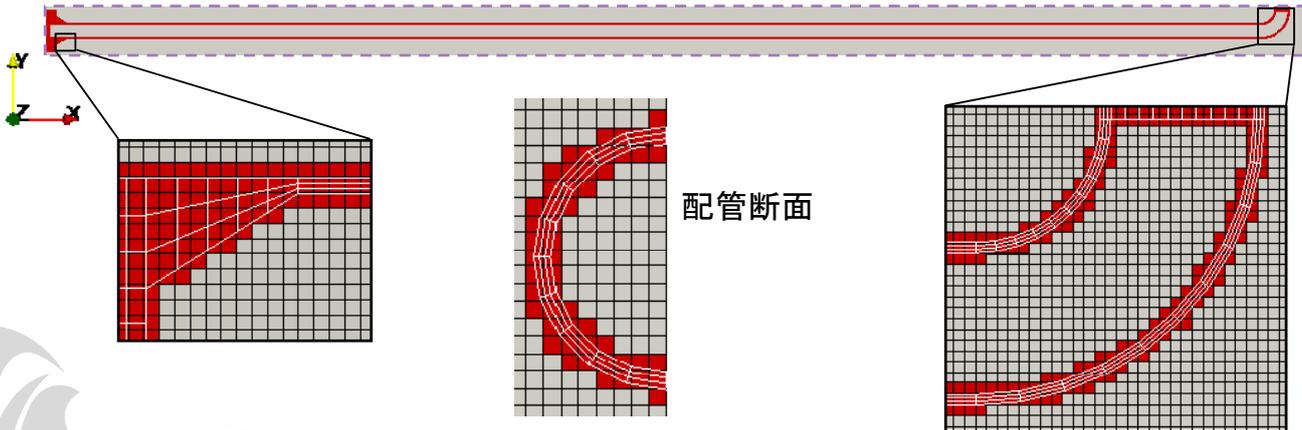
■ 格子: 構造物と認識された格子

白線: 構造解析用モデル

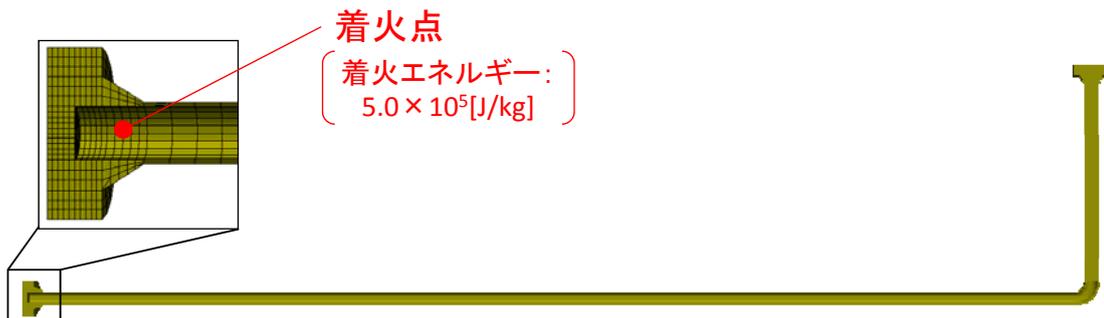


構造解析用モデル

格子数: 1276(x方向) × 50(y方向) × 15(z方向) = 957,000



# 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:  $1.0 \times 10^{-7}$ [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:  $1.0 \times 10^{-7}$ [s]

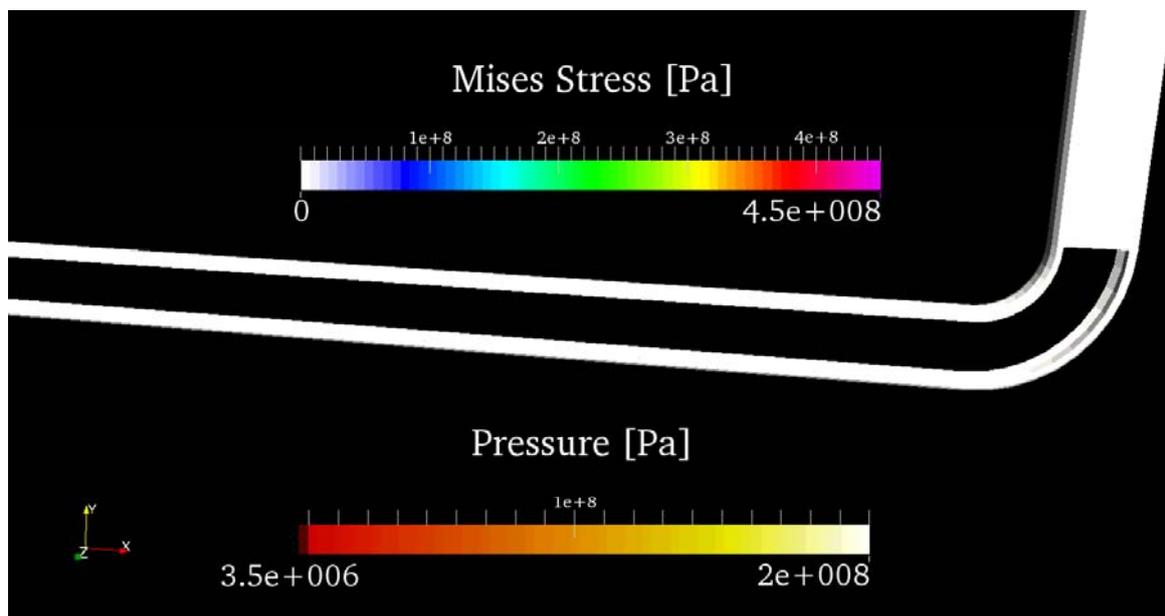
時間積分法: 陽解法

## 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

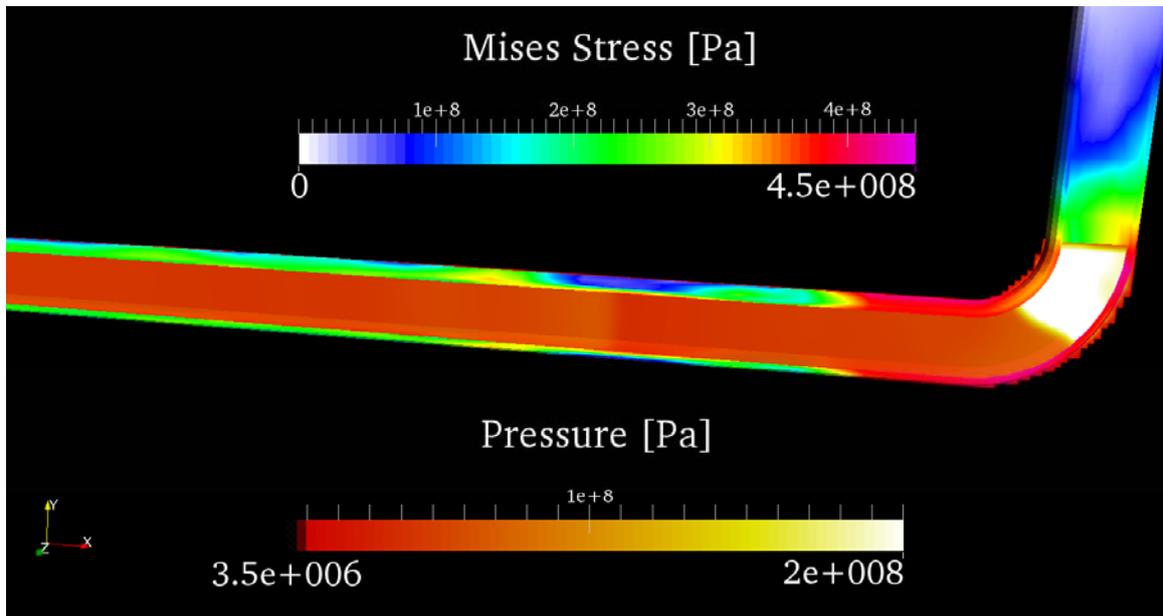
## 解析結果

アニメーション: 配管内圧力、配管ミーゼス応力 (配管の変形なし)



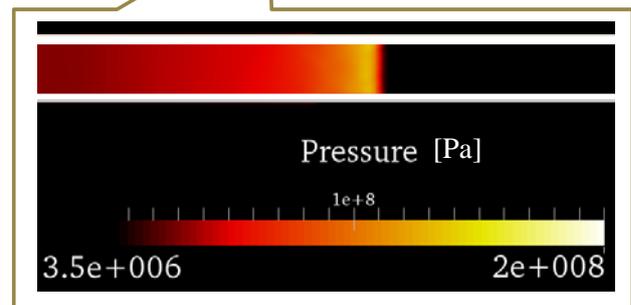
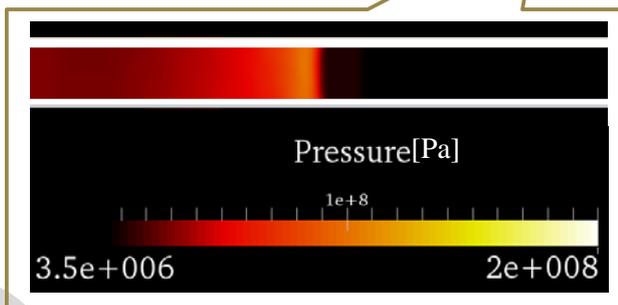
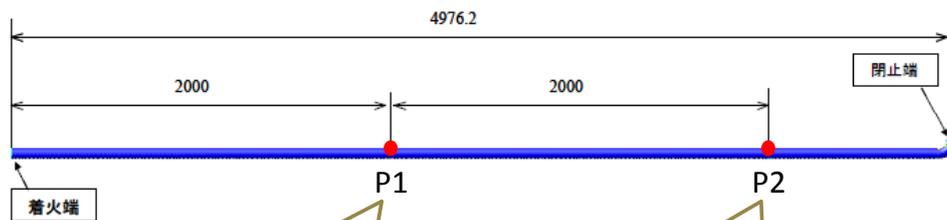
# 解析結果

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（配管の変形なし）



# 解析結果

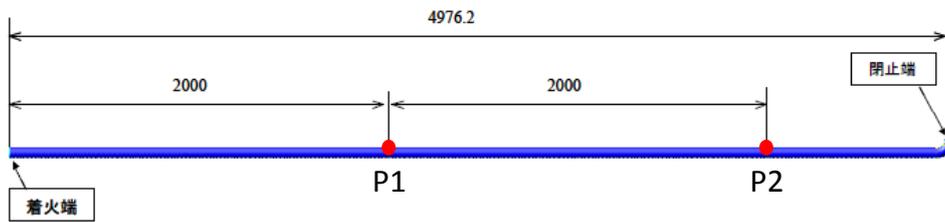
点P1,P2を爆轟波が通過時の圧力分布



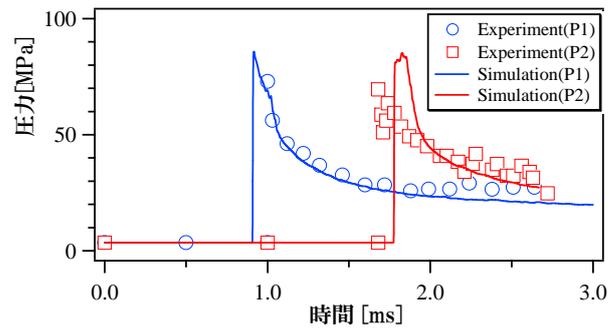
爆轟波の前後の圧力比は20~30

# 解析結果

点P1,P2における圧力値の時間変化

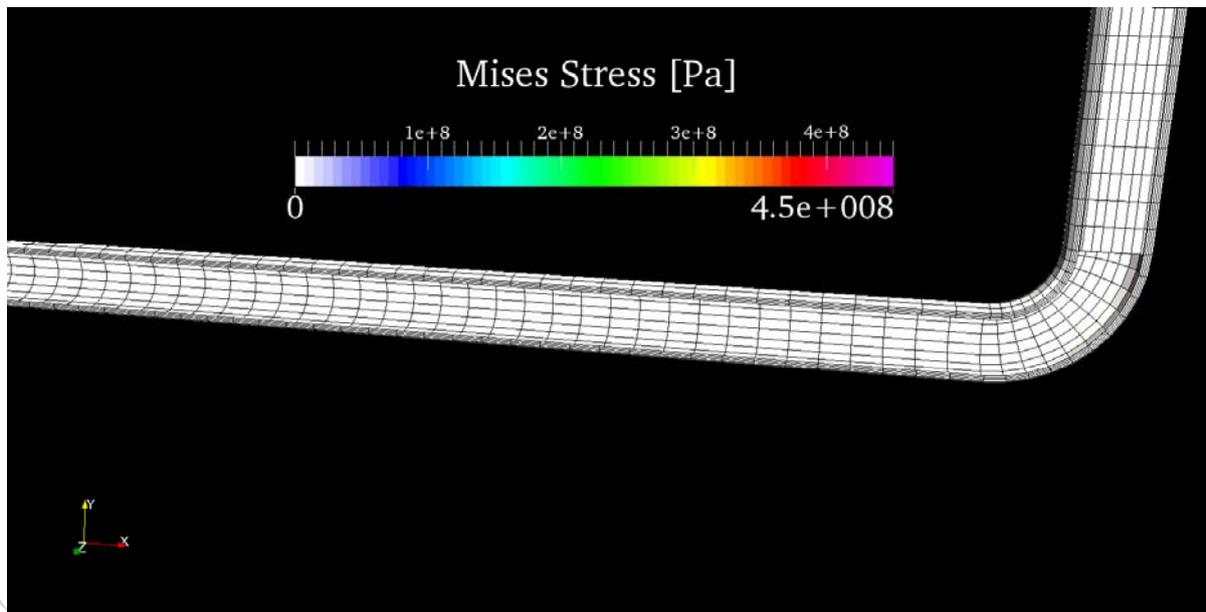


実験値との比較



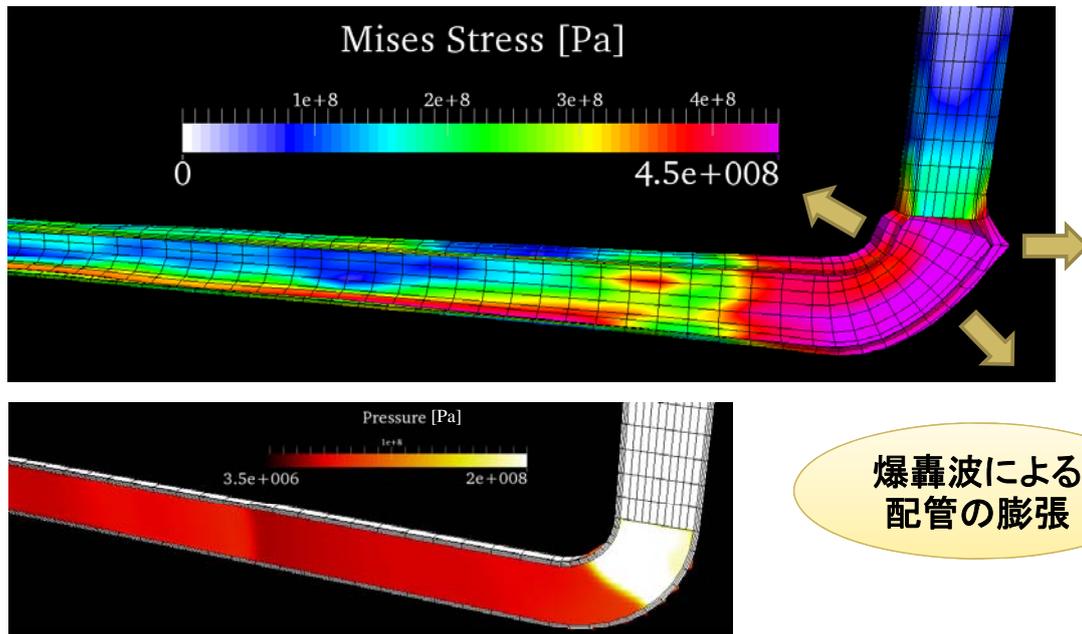
# 解析結果

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)

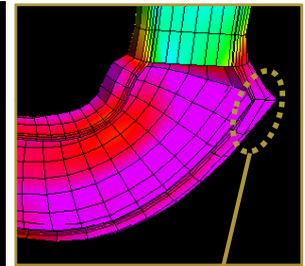
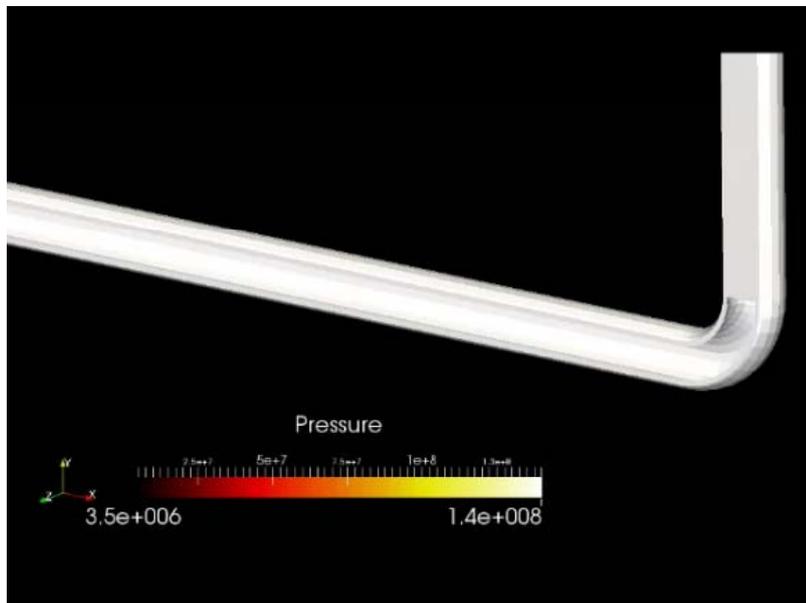


## 解析結果

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

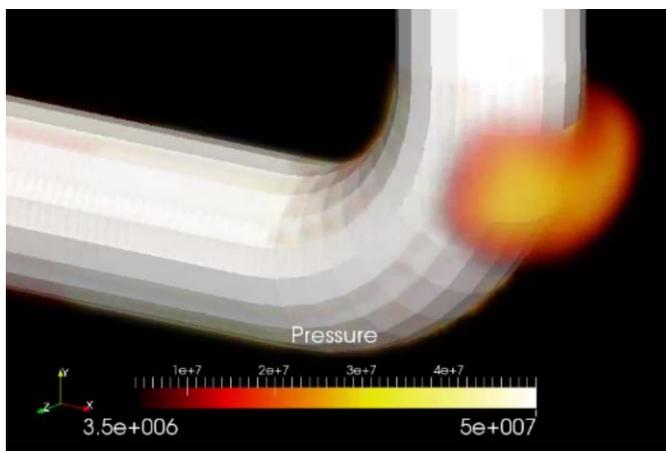
アニメーション: DYNA3D2000の破壊オプションを用いて配管を破壊し、破壊して生じた穴から流体が噴出する様子を再現



破壊箇所

## 解析結果

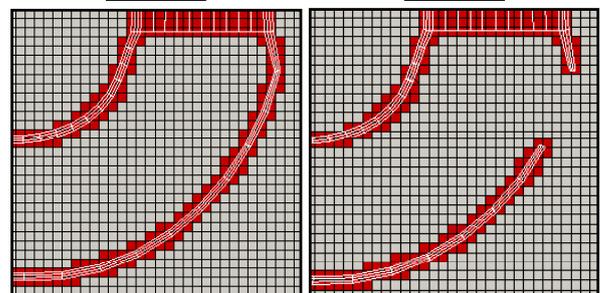
配管内の流体が噴出する様子  
(配管に穴が生じた直後)



エルボ付近の構造解析モデル(白線)と流体格子

破壊前

破壊後



■ 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

- 配管内での爆発現象に対する流体-構造連成の解析事例
  - 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

