

平成21年度利用報告会 平成22年1月27日(水)～28日(木)

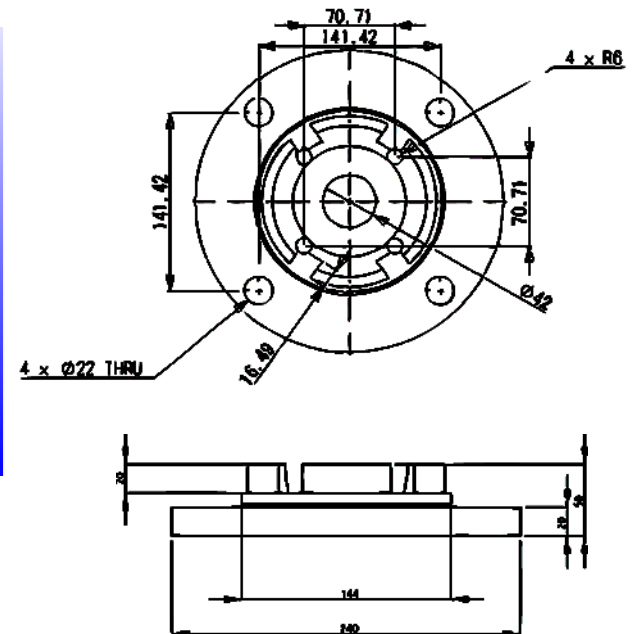
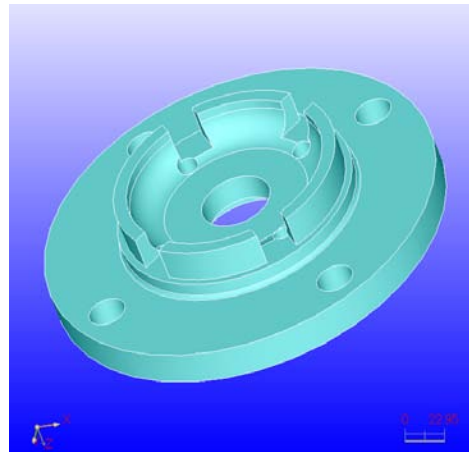
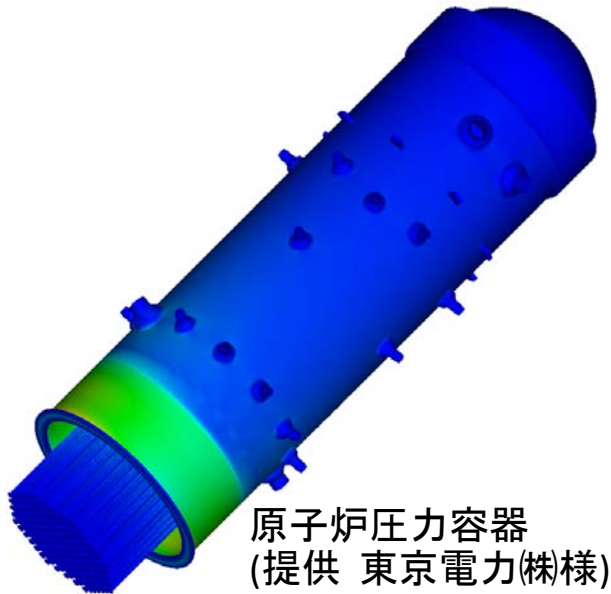
先進・創出分野

# 安全・安心な持続可能社会のための 次世代計算破壊力学シミュレータの 開発

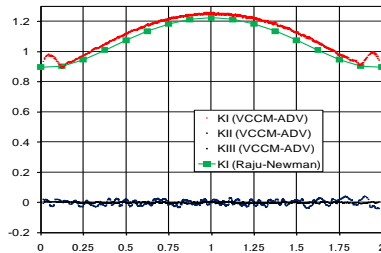
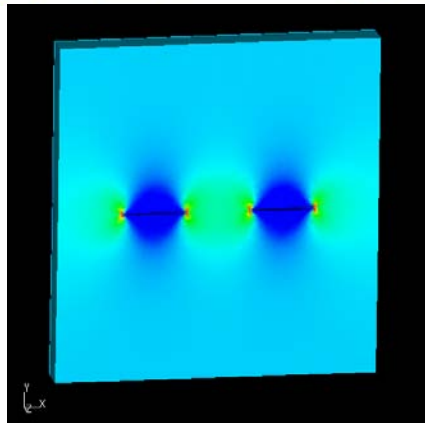
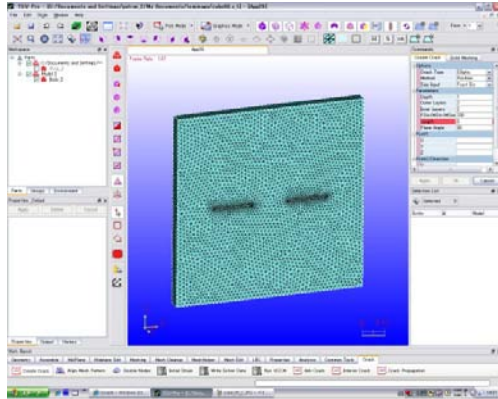
東洋大学 塩谷隆二

# プロジェクトの目的

- 実用大規模構造材料・機器の直接破壊シミュレータをES2上で開発
  - 小型高圧水素貯蔵タンクの超精密破壊解析
  - 経年化した社会的インフラストラクチャーの超精密破壊解析
- 21世紀の持続可能社会の構築に寄与



# 破壊力学シミュレータシステムの概要



幾何モデル

き裂形状

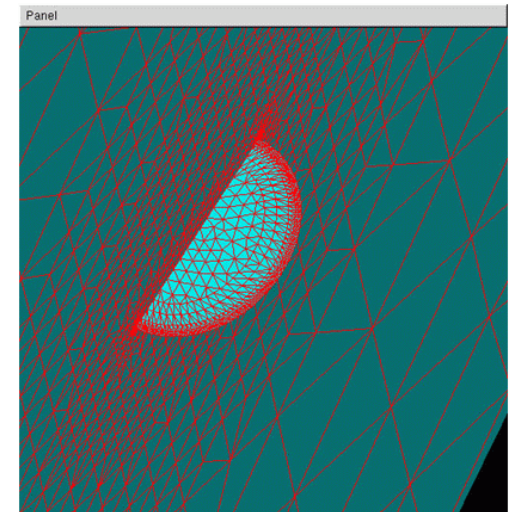
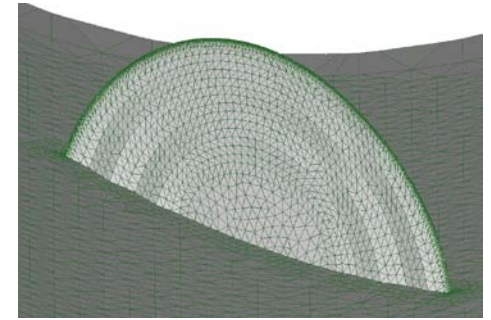
メッシュ生成

解析条件設定

応力解析

き裂進展量評価

き裂の変化



# 今年度当初の計画

## 三次元き裂進展解析システムの構築

- 三次元き裂進展解析システムの構築とES2への移植:
  - ADVENTURE・き裂入りメッシュ生成・き裂進展量評価を統合したシステム構築
  - ADVENTUREの応力解析ソルバをES2に移植
  - J積分によるき裂進展量評価システムの検討
- 四面体有限要素用三次元J積分プログラムの開発:
- 並列有限要素法アルゴリズムのES2向け改良:
  - 線形ソルバの高速化:ピーク性能比の向上
- き裂進展解析:
  - 16ノード1時間使用する3,000万自由度規模問題の有限要素解析を, き裂進展の繰り返し計算を考慮し, 400ケース実行

# 今年度の達成度

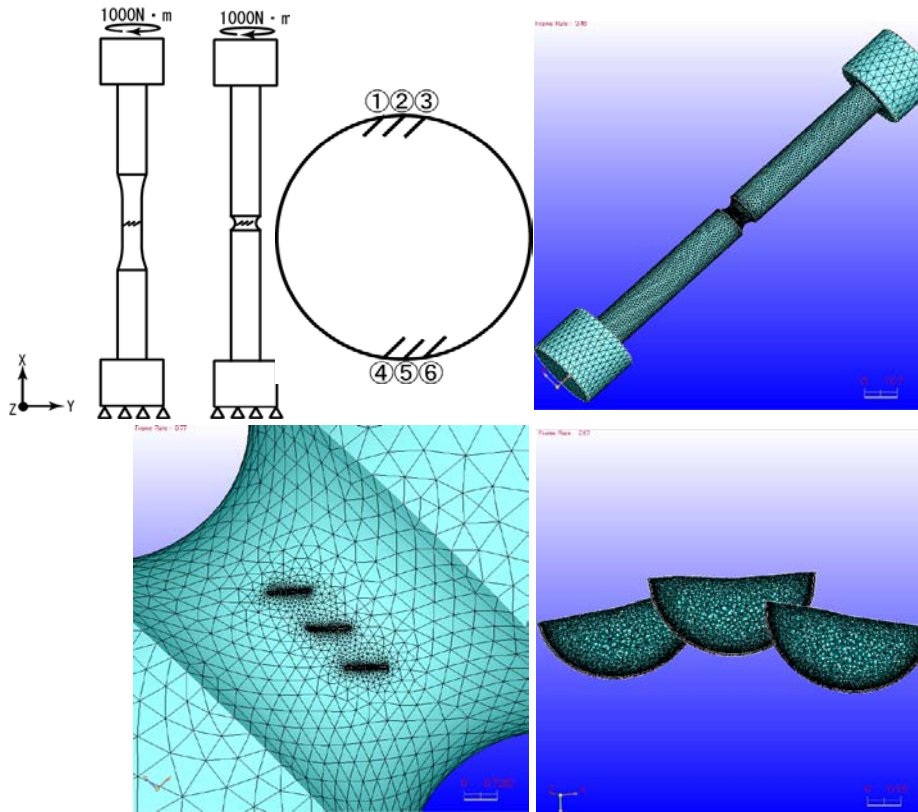
- 三次元き裂進展解析システムの構築並びにES2への移植：達成度 40%
  - 試験片レベル(~100万節点)の三次元完全自動疲労き裂進展解析を行うためのプログラム群を整備  
→完全自動疲労き裂進展解析が可能に
  - 複数き裂問題の試行にも成功
- 四面体有限要素用三次元J積分プログラムの開発：達成度 60%
  - 領域積分法に基づく四面体有限要素のための実装方法の検討とそのプログラム実装
  - マップドメッシュモデルで六面体要素による結果と同等であることを確認

# 今年度の達成度

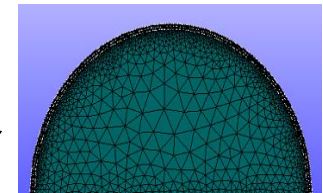
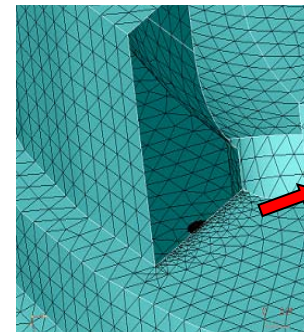
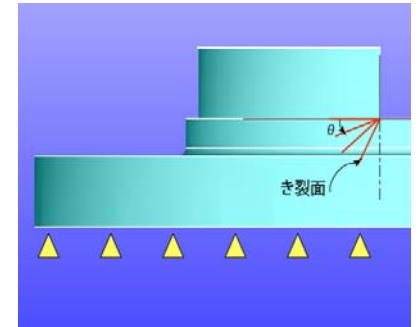
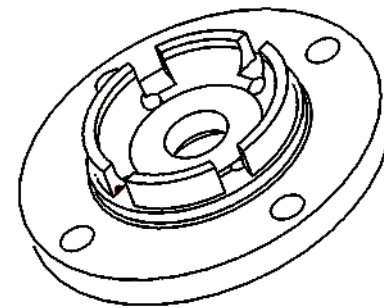
- 並列有限要素法アルゴリズムのES2向け改良による線形問題計算の高速化: 達成度 60%
  - アルゴリズムの改良によりピーク性能比約30%を達成.
- き裂進展解析: 達成度 40%
  - 大規模き裂入りモデルの作成準備として, 簡易モデルの作成と応力解析を実現.

# 開発システムによるき裂進展解析例

- き裂前縁におけるき裂進展方向をVCCM(仮想き裂閉口積分法)による応力拡大係数計算結果から予測
- 進展後のき裂形状を表現する節点群を追加
- デローニ法で三次元四面体メッシュを生成 → き裂前縁で局所的リファイン



複数き裂入りモデルの例



き裂の形状

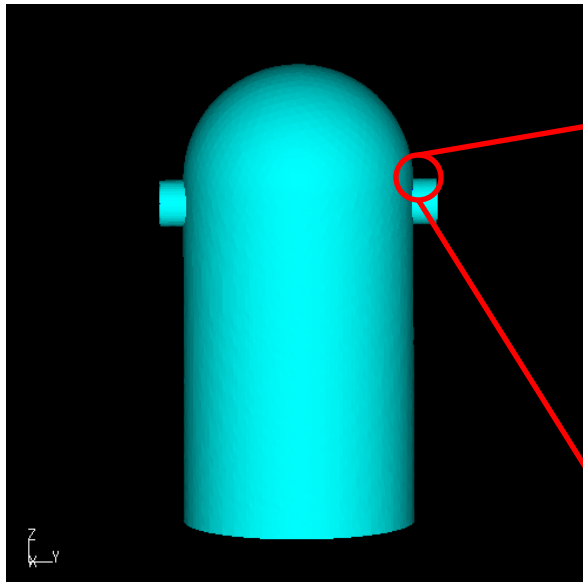
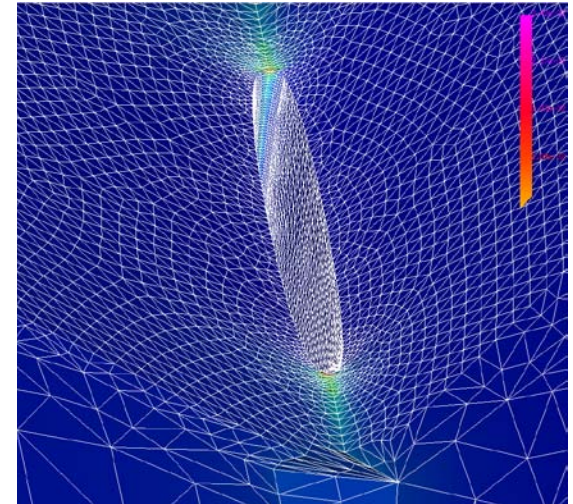
き裂の位置(拡大図)

実用モデルへのき裂挿入例

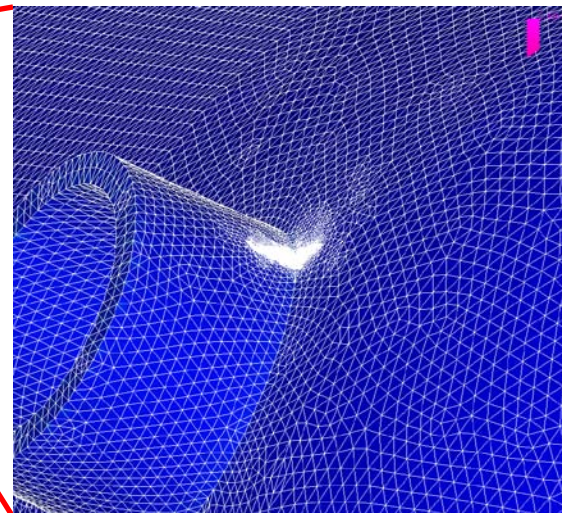
# 応力解析ソルバの性能評価： き裂入り簡易モデル

- 簡易圧力容器モデル
  - 三次元四面体ソリッド要素
  - 任意箇所へ三次元き裂を挿入
- 応力解析ソルバ
  - ADVENTURE\_Solid (ES移植版)
  - 線形ソルバ：IBDD-DIAG

き裂周辺



簡易圧力容器モデル



解析結果例：  
相当応力分布

ノズル周辺

# 応力解析ソルバの性能評価： ES2による実行性能

総自由度	使用ノード数	実行時間	ベクトル化率	平均ベクトル長	GFLOPS
200万	4 (32APs)	83s	97.643%	203.4	3.5
1,700万	4 (32APs)	637s	97.751%	205.1	3.9
1,700万	16 (128APs)	198s	97.944%	209.9	4.3
1.3億	16 (128APs)	1,758s	98.001%	209.4	4.7

- ES1では同じ平均ベクトル長でピーク性能比20～30%が得られていた
- ES2では4%程度
- 1,700万自由度モデルをき裂進展解析として400回解析した場合  
→ 約22時間
- ES2に適したベクトルチューニングによる性能向上が不可欠

# 並列有限要素法アルゴリズムの ES2向け改良 : ソルバの高速化

- ADVENTUREでは階層型領域分割法を採用している
  - 各プロセッサに割り当てたサブ領域をさらに細分割
  - 大規模自由度問題でも、1つのサブ領域あたりの次元数は数百程度
- 領域ごとの行列ベクトル積を評価

```
for dom = 0...number of domains
```

$$\{f_{b_{\text{dom}}}\} = [S_{\text{dom}}]\{u_{b_{\text{dom}}}\}$$

- 領域ループを最内側に + ループアンローリング (5x5)
- 行列の対称性を利用してメモリアクセスの割合を減らす
- ベクトル長は500程度 (200だと約2割減)



ベンチマークコードによる性能計測 (1プロセッサ)

約37 G flops : ピーク(102.4Gflops)の約4割

(Intel Core i7に比べ約10倍高速)

# 今後の予定

## 三次元き裂進展解析システムの構築

- 並列有限要素法アルゴリズムのES2向け改良：
  - ピーク性能比30%以上の達成を目指す
- き裂進展解析：
  - 16ノード1時間3,000万自由度規模問題400ケース実行
- 複数き裂入りモデルの解析
- 実機をターゲットとした詳細モデルの解析