

原子力機構におけるシミュレーション研究

- 3次元仮想振動台の研究開発を中心として -

日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター

中島 憲宏

平成18年6月27日(火)

原子力委員会定例会議

1. 3次元仮想振動台(プラント全体解析の必要性)

原子力プラント

部品集積の巨大な複雑構造物
部品点数1000万点超



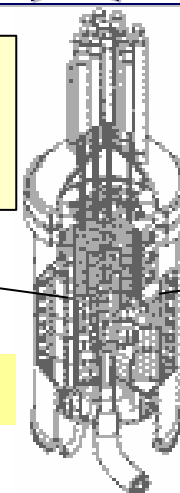
現状：部品単位に強度解析

- ・プラント全体挙動の把握へのニーズ
- ・部品集合体を一体構造物として扱う限界

原子力プラントシミュレーションの課題

- ・データ量が膨大
- ・計算量が膨大
- ・計算が長大

- ・実大実験不可
- ・機器間接続問題
- ・実測との連係



グリッド計算基盤



組立構造物解析

圧力容器

説明がつかない建物倒壊や 原子力プラントの不具合

部分的な解析では
発現しない現象の報告

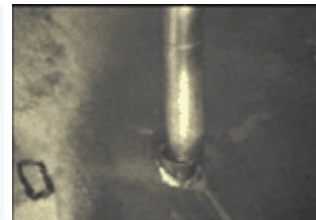
複数部品の集合
で生じる不具合



座屈現象¹⁾



き裂¹⁾



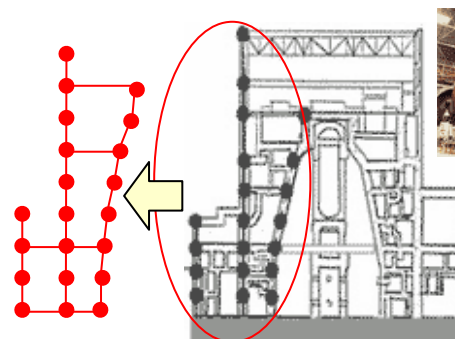
セラフィールド²⁾
再処理施設(英)

1) 兵庫県南部地震鉄骨造建物被害調査報告書

2) <http://www.bellona.no/en/energy/renewable/38990.html>

特大地震に備えた解析要件

プラント全体の詳細解析
実物のように観察できる分解能向上

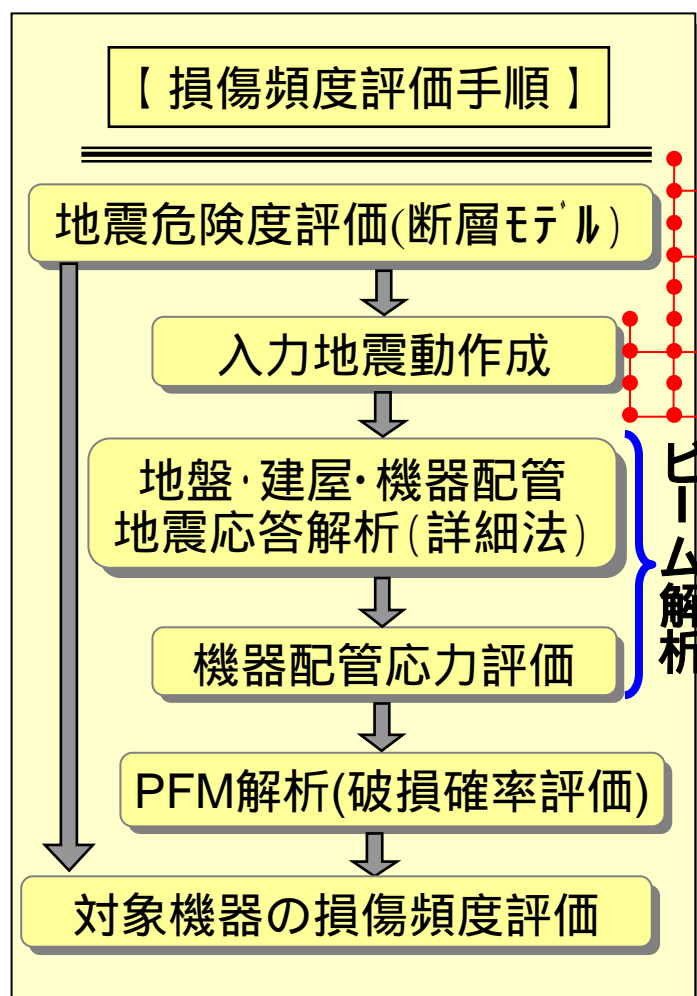


- ・全体簡易解析
(1次元解析)
- ・局所詳細解析

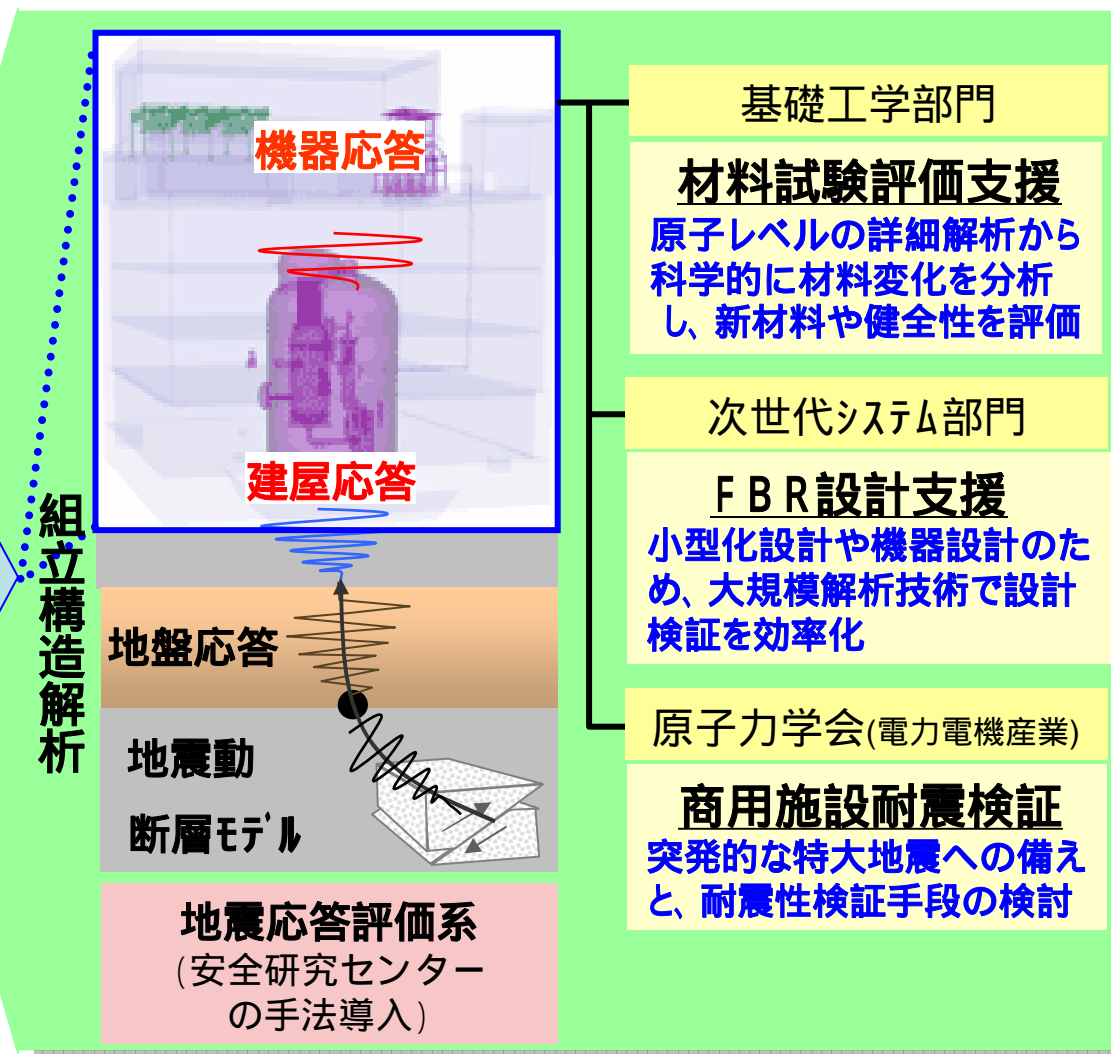
2. 安全研究センター他との3次元仮想振動台の関係

安全研究センター

確率論的破壊力学(PFM)解析コードを中心とする地震時機器構造信頼性評価手法



イメージ化、精度向上やPSA結果の検証のために



3. 組立構造解析による原子力プラント耐震シミュレーション



3次元仮想振動台システムの概要～原子力プラントの全容診断～

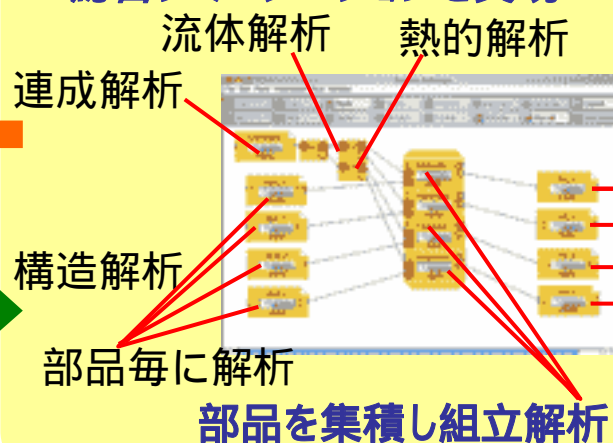
ネットワークによる計算機結合



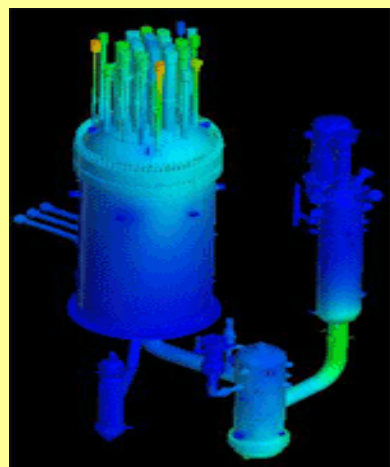
グリッド計算基盤



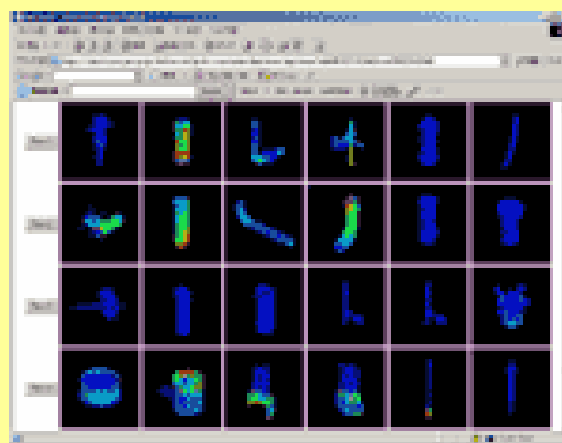
総合シミュレーションを実現



部品を集積し組立解析



炉心と一次冷却系の組立解析



部品単位入力と解析

施工・運用を網羅した検証へ

時間早送りによる状態変化予想
地球物理情報活用による被害予測
振動と水流・温度が関係する問題

保守点検の事前評価

危険予防による安心運用
全容解析によるプラント保全

予測・全容解析の実現

部品 / 部分解析

2006:部品間縦断解析

2007:建屋・機器横断解析

2008:組立構造総合解析

2010:運用状態全容解析

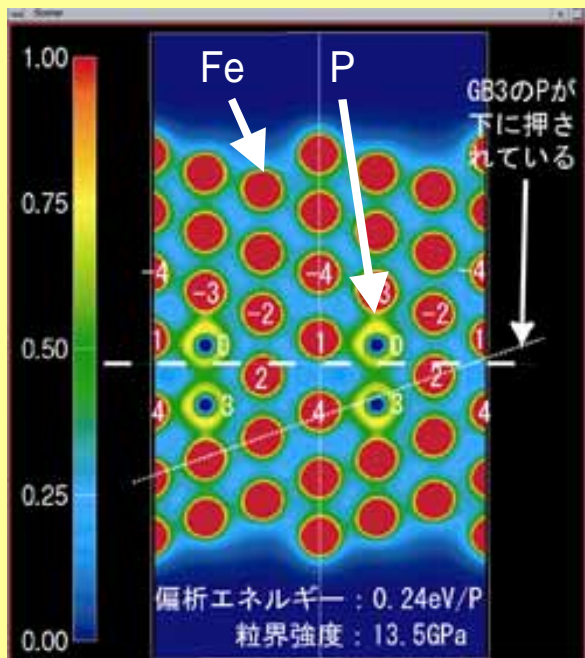
SC2005にてHonorable Mention賞:組立解析2300万自由度(商用解析は100万自由度部品)

4. 3次元仮想振動台シミュレーション要素技術

マルチ・フィジックス(異なる物理場)とマルチ・スケール(~ kmまで)に向けて

全体解析と詳細解析を連動させ、種々の問題発現の科学的解明と現象の顕現化

圧力容器鋼の不純物の影響分析



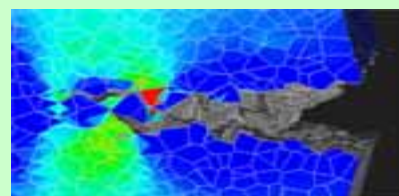
割れる条件を科学的に算出して、連動へ

脆化効果が大 S O P Cu Si N Mn Mo C 強化効果が大

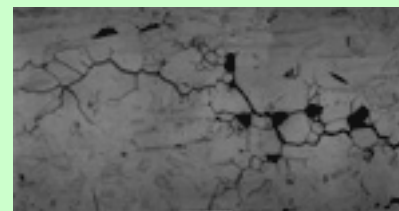
第一原理計算による原子間結合の強さを分析

Scienceに掲載、レビューペーパー登録

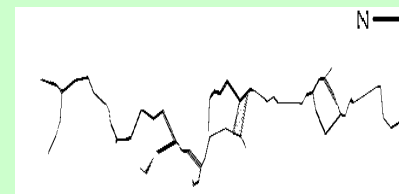
粒界割れシミュレーション



実際のき裂形状

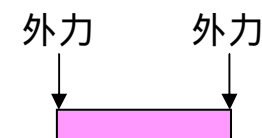


計算結果

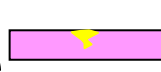


外力を受けて、ひび割れが進展する過程を分析

現状技術



変形



亀裂



変形に伴う亀裂

研究技術

5. まとめ

- 3次元仮想振動台技術により、
原子力プラントの全容解析の道を開いた。
(実験炉クラスの全機器を対象化)
- 3次元仮想振動台における部品組立解析技術により、
大規模問題解明の緒についた。
(FBRで従来不可能だった詳細解析に挑戦中)
- 原子レベルのシミュレーションから、プラント構造までの
マルチ・フィジックス / マルチ・スケール・シミュレー
ション技術の要素技術開発とその連係を形にしつつある。
(学会、国際会議などで評価・受賞)
- 理論と実験の融合技術として、実験結果と連動したシミュ
レーション技術を組立解析システムで実現しつつある。
(電中研と共に、実験連動化技術の開発に着手)