

## システム統合化の現状と課題

西田 明美, 新谷 文将, 鈴木 喜雄, 木野 千晶, 武宮 博, 中島 憲宏

日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター

〒110-0015 東京都台東区東上野 6-9-3

[nishida.akemi, araya.fumimasa, suzuki.yoshio, kino.chiaki, takemiya.hiroshi, nakajima.norihito}@jaea.go.jp](mailto:{nishida.akemi, araya.fumimasa, suzuki.yoshio, kino.chiaki, takemiya.hiroshi, nakajima.norihito}@jaea.go.jp)

日本原子力研究開発機構（原子力機構）システム計算科学センターは、国家プロジェクト「ITBL」のもと、グリッド基盤システム（ITBL 基盤ソフトウェア）の開発に関わり、アプリケーションのグリッド化についてもノウハウを蓄積してきた。さらに、原子力分野における大規模シミュレーションの向上のために、ITBL で培った技術を基に原子力グリッド基盤技術（AEGIS）によるネットワーク・コンピューティング技術の研究開発を展開している。現在までに、グリッド・コンピューティングによる情報共有基盤システムを原子力機構内外に提供し、その取り組みの成果として遠隔データ操作や大規模データの可視化、データ共有などの有効性を確認している。また、AEGIS における取り組みの一つとして、複数のサイトをまたがり複数の計算機でシミュレーションする仕組みの研究開発に取り組んでおり、昨年度から AEGIS により ITBL 基盤ソフトウェアを代替し、ITBL の計算機環境を運用している。本環境を活用した一つの事例として、原子力プラントの耐震シミュレーションがある。

本研究開発では、耐震シミュレーションの技術を地盤や建屋のシミュレーションと連携させ、時空間スケール及び物理現象の異なる複数の解析をデータ連携により結合し、マルチスケール・マルチフィジックス統合シミュレーションを実現する。そして、巨大地震力を受ける原子力プラントの機能限界を定量的に見極めることを可能とするシミュレーションシステムを核とする統合シミュレーションは、従来規模の一つの計算機上ではその計算量から実現が困難なため、複数のサイトをまたがり複数の計算機でシミュレーションする仕組みを構築し、地盤から建屋、機器から機器内部の炉特性までの一連の解析を実現する。この解析間データ連携と統合シミュレーション環境の構築というふたつの要素技術を開発することにより、原子力発電プラントの地震耐力予測に資する統合シミュレーションを可能とする。

解析間データ連携については、統合シミュレーションの枠組みとして、地盤・建屋、建屋・機器、機器内熱流動・核熱の3フェーズに分け、各フェーズ内はそれぞれの物理現象の再現に適した要素コードを用いることとした。一方、各フェーズ間においては、弱連成でも問題がないことを確認した上で、異なるモデル間の整合性を確保しながら一方向連携を実現することとし、これまでにデータ連携システムのプロトタイプを開発した。

統合シミュレーション環境の構築については、まずはAEGISを用いて、東京大学地震研究所、東京大学吉村研究室、原子力機構システム計算科学センターの3サイト連携を実現し、グリッド対応統合シミュレーション用のテストベッドを整備した。また、統合シミュレーションで必要となる大規模長時間実行アプリケーションの解析全体の実行制御に取り組み、これまでに、以下に示す統合シミュレーションの柔軟性・頑健性・効率性を実現するための制御システムを試作した。

柔軟性：必要に応じて柔軟に実行対象計算機を変更

例) 一台の超大規模並列計算機を用いたシミュレーション  
分散並列計算機群の利用（グリッドシミュレーション）

頑健性：ジョブのタイムアウトや計算機の停止等の障害に対し、全体解析を自動継続

効率性：ワークフローに基づく要素プログラムのパイプライン処理の実現や、負荷の低い計算機の自動選択

本制御システムにより、各サイトに分散配置された計算機上での各コードの起動・終了を利用者端末から制御する。

今後は、解析間データ連携については、大規模な実プラントデータ間のデータ連携に備えた調整と実行制御の自動化への対応、統合シミュレーション環境の構築については、特に頑健性や効率性の補強による制御システムの大規模長時間実行機能の高度化を実施する予定である。

# システム統合化の現状と課題

平成22年1月25日

日本原子力研究開発機構  
システム計算科学センター

西田 明美, 新谷 文将, 鈴木 喜雄, 木野 千晶, 武宮 博, 中島 憲宏

© All rights reserved, JAEA, 2010

## 背景

**原子カプラント**

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

**原子カ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
- ・実測との関係

圧力容器

↓

グリッド計算基盤

↓

組立構造物解析

**説明がつかない建物倒壊や**  
**原子カプラントの不具合**

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<sup>1)</sup>

き裂<sup>1)</sup>

セラフィールド<sup>2)</sup>  
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

従来

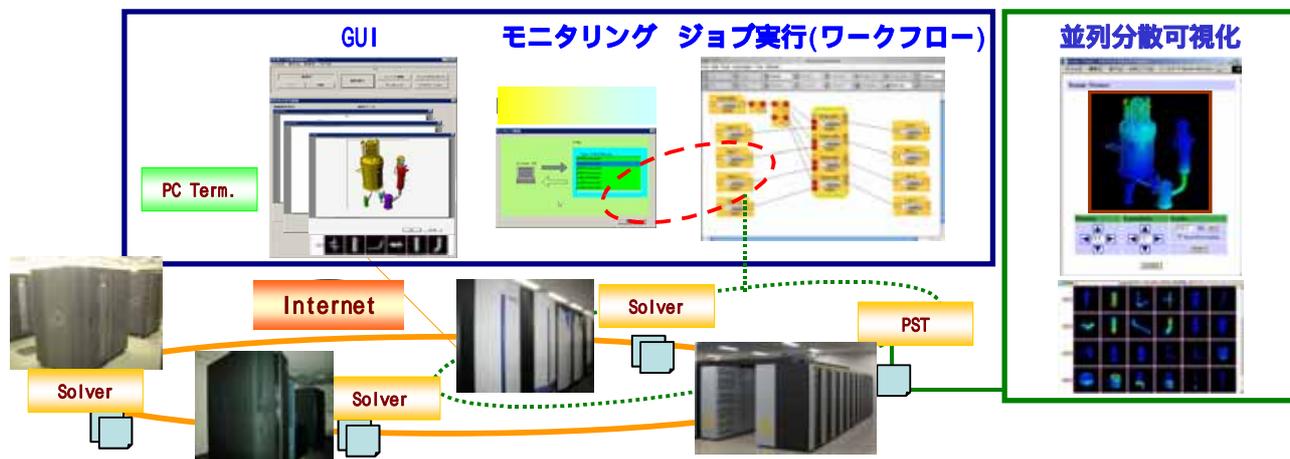
- ・全体簡易解析 (1次元解析)
- ・局所詳細解析

## 目的

原子力発電施設の経年化・健全性確認への貢献、運転状態の科学的認知支援

## 手法

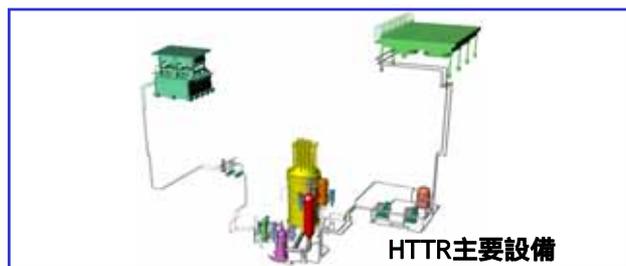
部品間相互作用を考慮しつつ部品の集合体として全体解析(組立構造解析)  
複数台のスーパーコンピュータを統合利用可能な計算機環境を利用(グリッド)



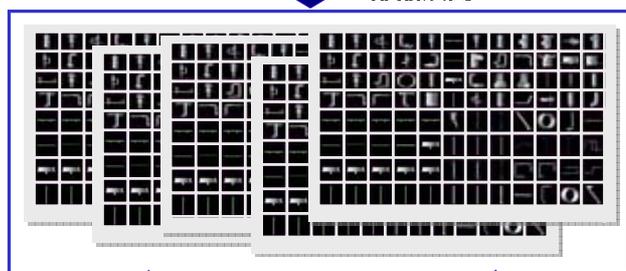
ITBLの機能を用いて構築した3次元仮想振動台プロトタイプ  
データセット、シミュレーション、可視化を統合的に実行可能

3次元仮想振動台に必要な  
基盤としてAEGISを整備

目的: プラント全体規模におけるFIESTAの動弾性解析機能の動作確認



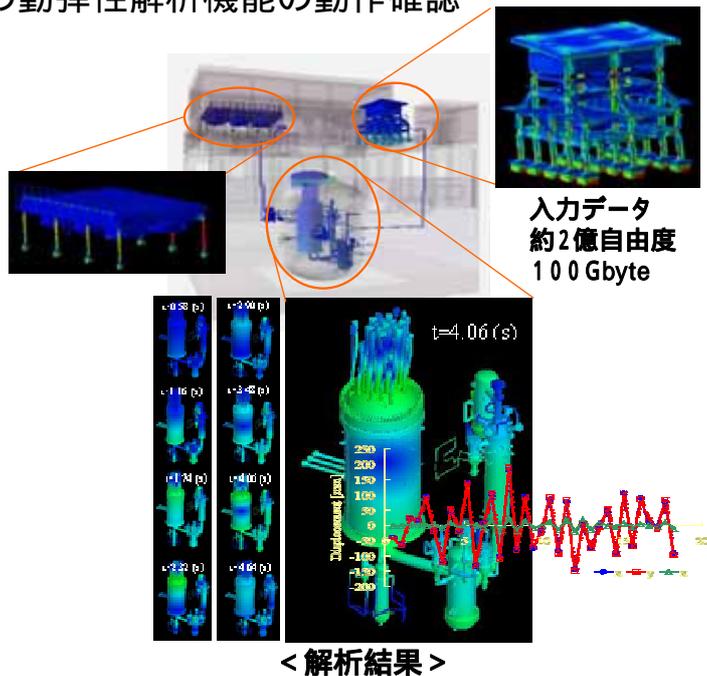
部品展開



2000部品のグリッド展開



機構内計算機を使用

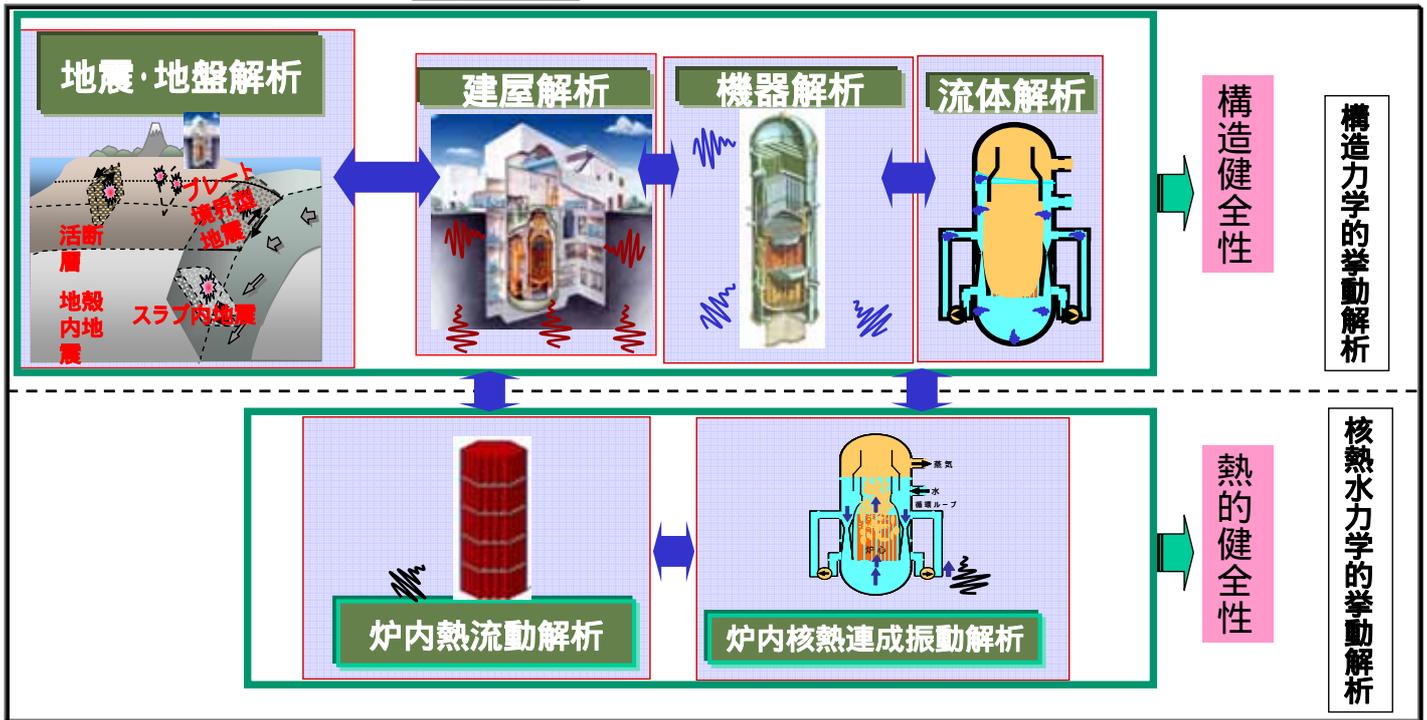


HTTR主要設備の動弾性解析を実現  
地震時応答の全容解明への貢献が期待

原子力学会論文誌採択、原子力学会部会業績賞受賞

・プラントの構造健全性評価  
 ・炉内熱的健全性評価

双方を考慮して  
 耐力評価



既存アプリケーションの連携によるシミュレーションの実現

### 開発課題

- 1) スケール、物理の異なる解析対象を持つ既存アプリケーションの連携
- 2) 大規模長時間実行アプリケーションの解析全体の実行制御

### 開発方針

#### 1) 異なるモデル間の整合性の確保

マルチスケール・マルチフィジックス性を考慮した物理データ連携の実現  
 地震耐力予測シミュレーションにおける解析間データ連携機能の開発

#### 2) シミュレーションシステムの柔軟性・頑健性・効率性の実現

大規模長時間実行アプリケーション実行環境の開発

##### 柔軟性

- 必要に応じて柔軟に実行対象計算機を変更
- 一台の超大規模並列計算機を用いたシミュレーション
- 分散並列計算機群の利用(グリッドシミュレーション)

##### 頑健性

Job time out, 計算機の停止等の障害に対し、全体解析を自動継続

##### 効率性

- ワークフローに基づく要素プログラムのパイプライン処理の実現
- 負荷の低い計算機を自動選択

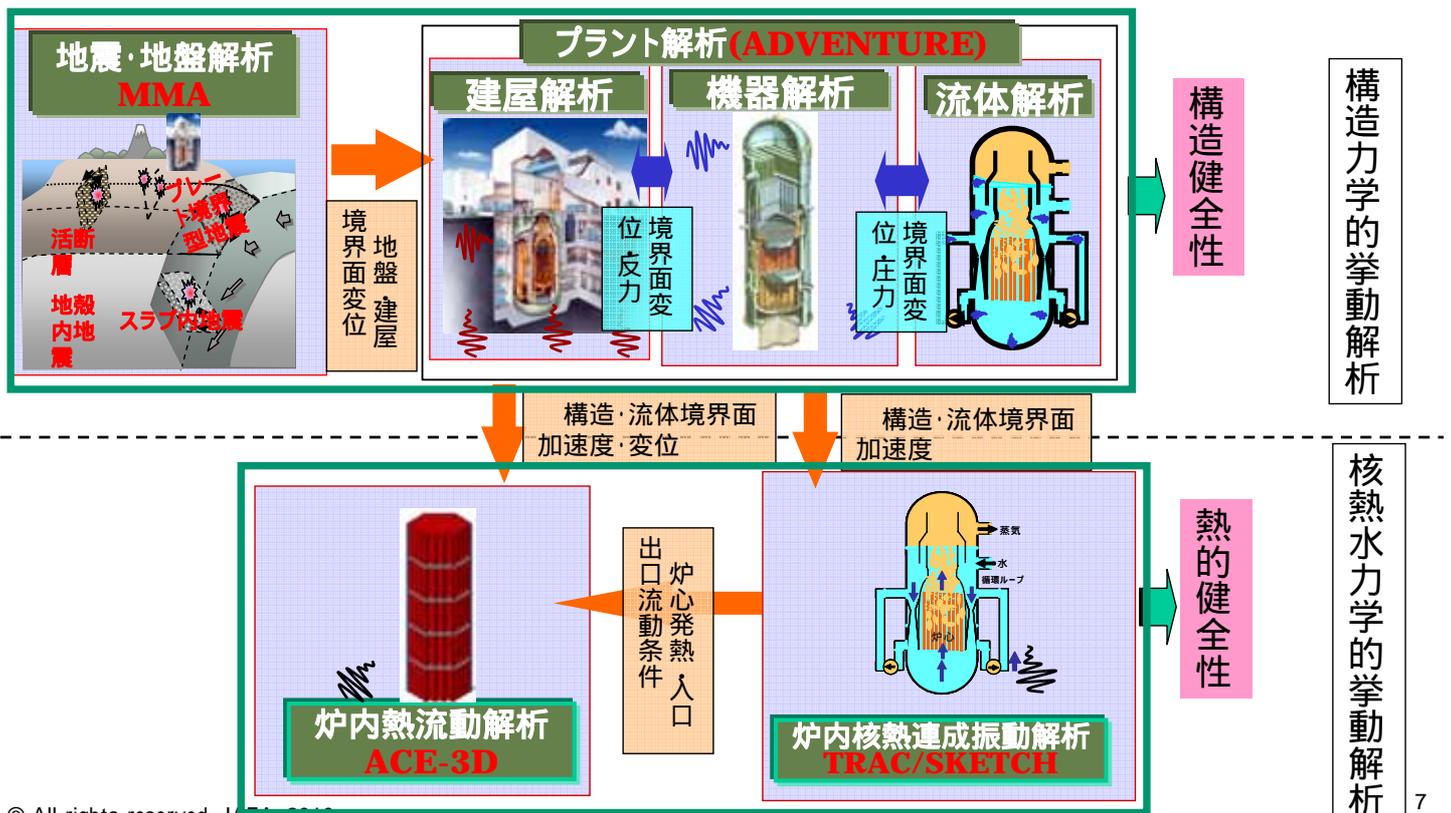
## 本研究の成果の位置づけ

- ・既存のアプリケーションによるマルチスケール・マルチフィジクス大規模シミュレーションの連携計算法は未確立
- ・グリッド環境上で並列分散処理して大規模連成解析を実施するというアプローチにより地盤から炉内構造までの統合シミュレーションを実現する研究開発は、国内外で他に類を見ない

## 研究計画

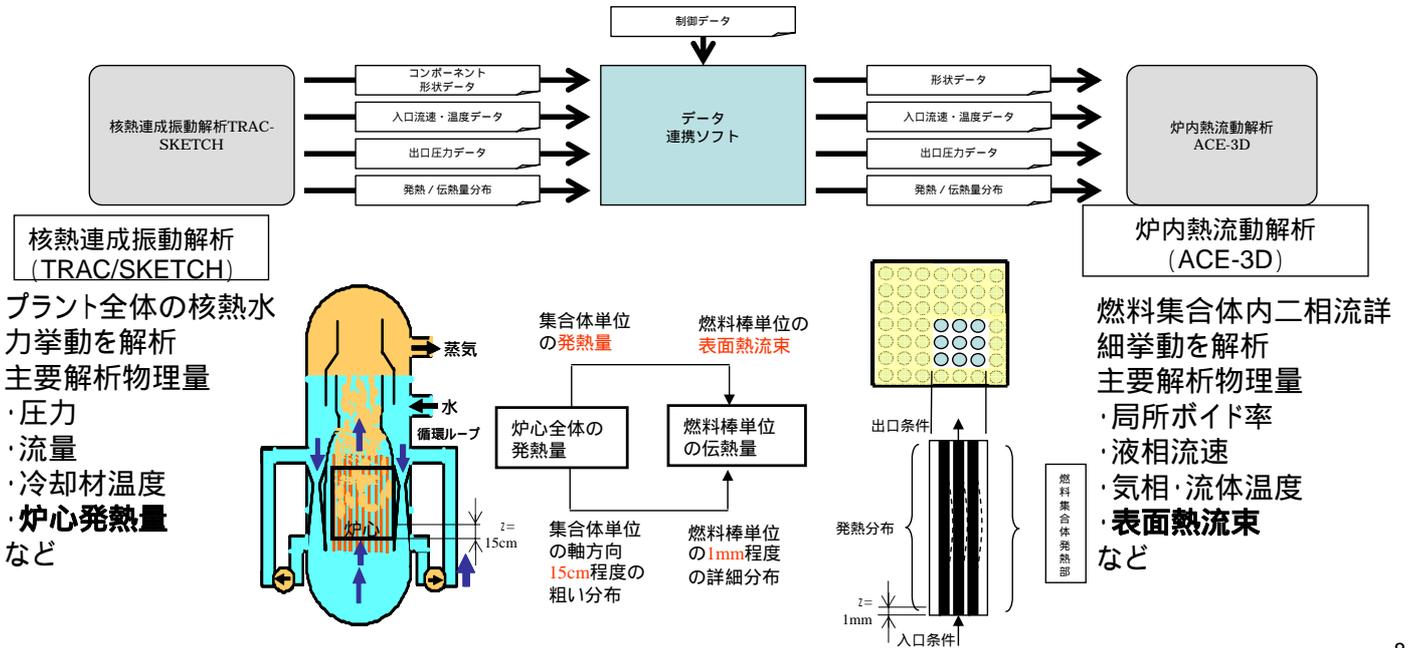
	地震耐力予測シミュレーションにおける解析間データ連携機能の開発	大規模長時間実行アプリケーション実行環境の開発
平成19年度		参加機関の計算機環境調査及び接続の試行
平成20年度	データ連携アルゴリズムの試作	グリッド化の実装
平成21年度	データ連携機能のグリッド環境への実装	参加研究機関の計算機接続を完了
平成22年度	データ連携機能の高度化	実プラントデータによるグリッド環境下での連携機能の検証
平成23年度	地震耐力予測シミュレーションの評価とチューニング	
平成24年度	成果の最終取りまとめ	

## 地震耐力予測シミュレーションの全体像

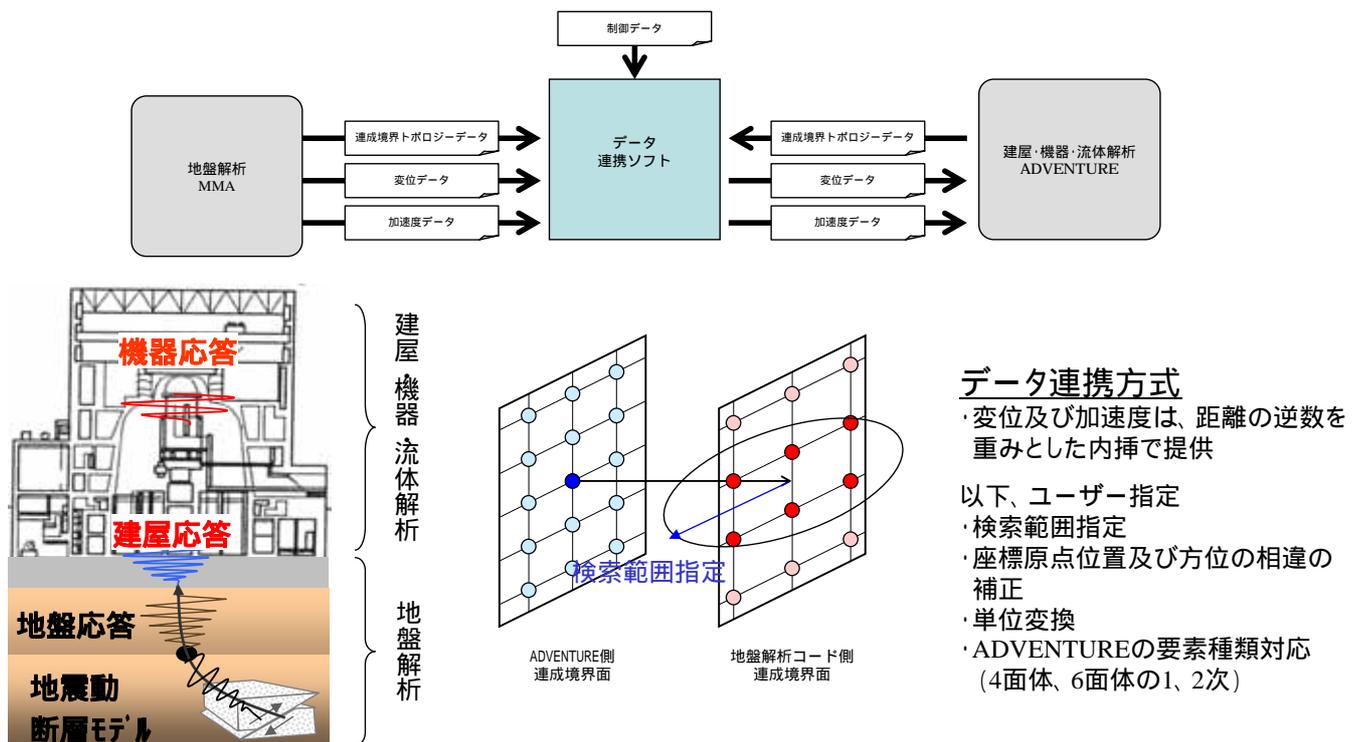


## 解析間データ連携具体例：核熱連成振動解析 - 炉内熱流動解析

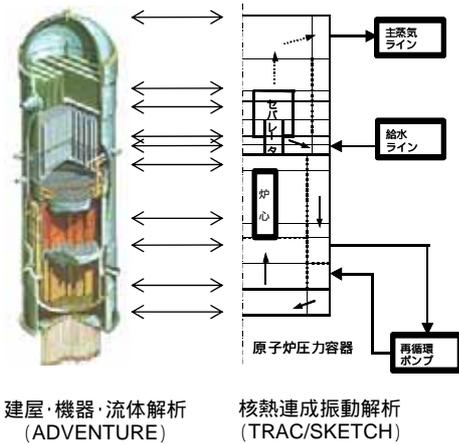
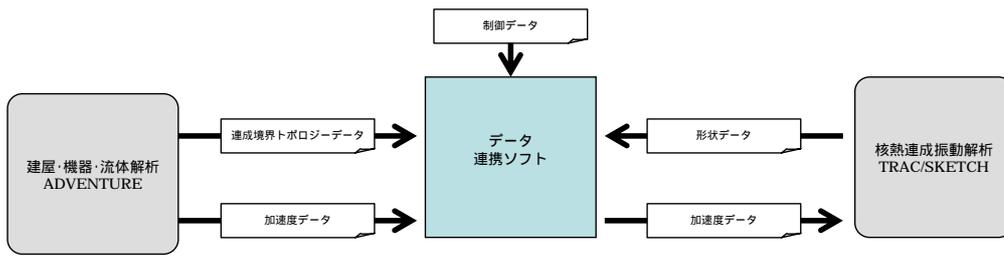
- ・マルチフィジックス性: TRAC/SKETCHによる炉心発熱量からACE-3Dで必要とする燃料棒表面熱流束へ熱量を保存して変換
- ・マルチスケール性の考慮: TRAC/SKETCHによる粗データからACE-3Dで必要とする詳細情報を伝熱量を保存して変換



## 解析間データ連携：MMA - ADVENTURE



解析間データ連携: ADVENTURE - TRAC/SKETCH



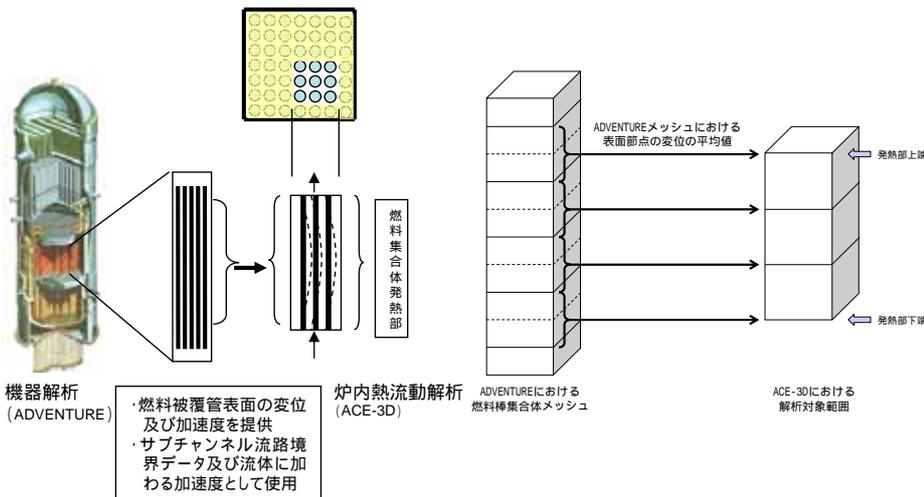
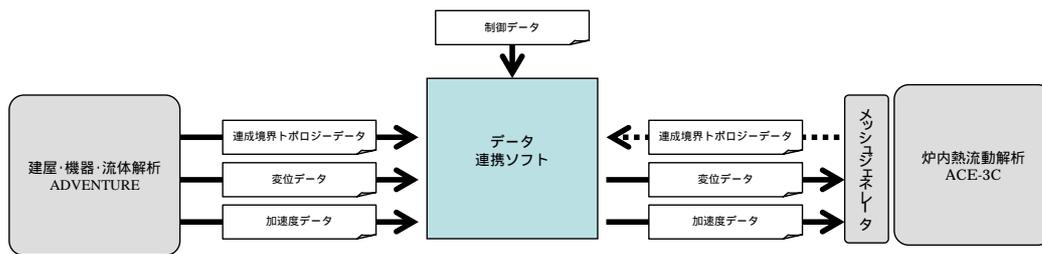
データ連携方式

- 変位及び加速度は、TRACの流体セル高さに対応するADVENTUREのメッシュ点の値を平均化して提供

以下、ユーザ指定

- 座標原点位置及び方位の相違の補正 (圧力容器内面下端を原点とする)
- 単位変換

解析間データ連携: ADVENTURE - ACE-3D



データ連携方式

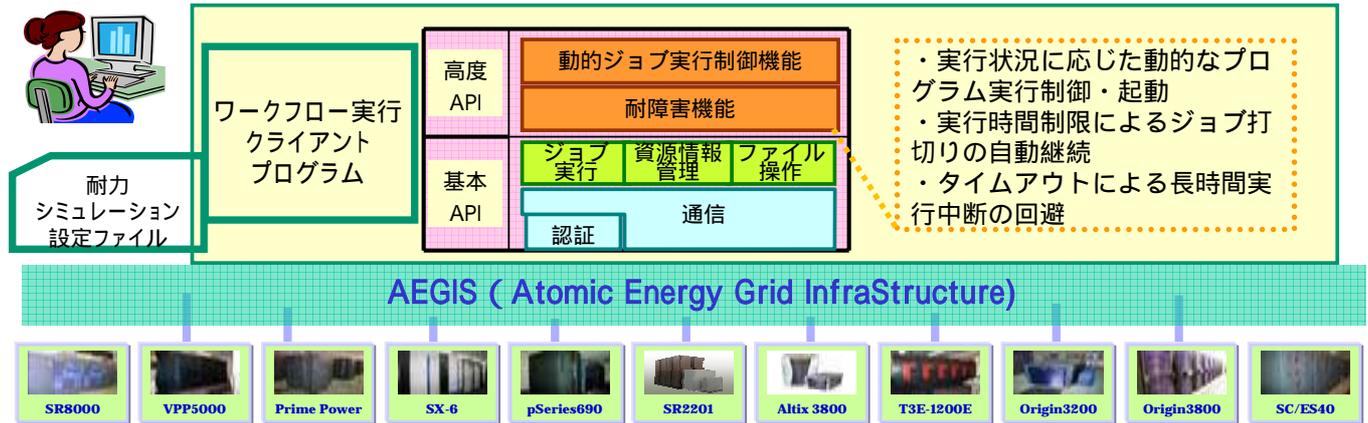
- 変位は、対応するメッシュ点の位置での平均変位値で提供
- 加速度は、メッシュ点位置の対応関係 (距離) から内挿して提供

以下、ユーザ指定

- 発熱部下端位置のADVENTUREにおける座標値及び方位差を与えることで原点位置及び方位の相違の補正
- 単位変換

原子力グリッド基盤AEGISを活用したデスクトップスーパーコンピューティング環境の構築

- ・AEGISによる異なるサイトに設置された計算機、研究者のPCを接続
- ・Layerd approachに基づき、大規模長時間実行アプリケーションの実行に必要な機能を実装
- ・リモートに設置された計算機群を利用して大規模長時間実行アプリケーションを実行実行情報を手元のPCに集約



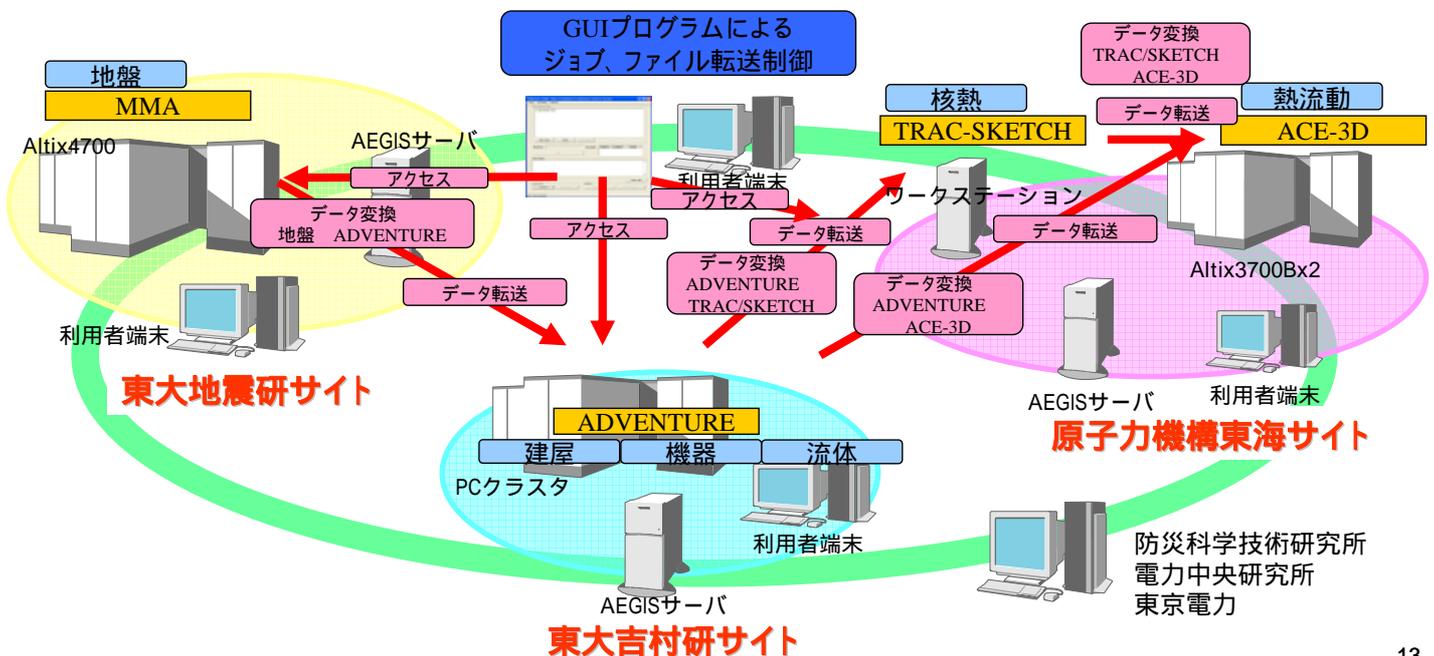
## 統合化地震耐力予測シミュレーションの実装イメージ

### 実行計算機のグリッド化

- ・東京大学地震研: Altix 4700
- ・東京大学吉村研: PCクラスタ
- ・原子力機構: 安全研究センターワークステーション及びAltix 3700Bx2

### クライアント接続

- ・防災科学技術研究所
- ・電力中央研究所
- ・東京電力

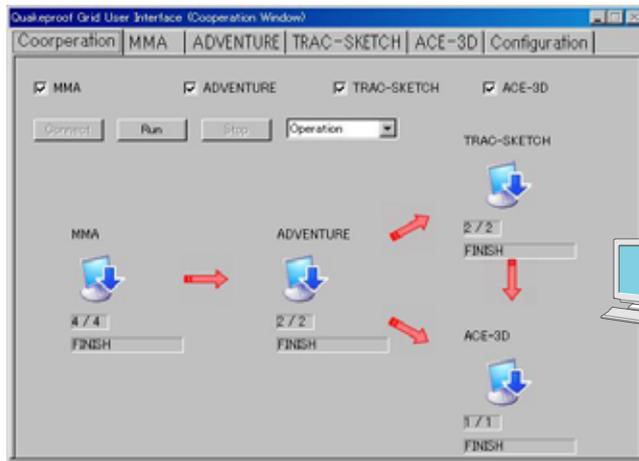


## 実装の現状

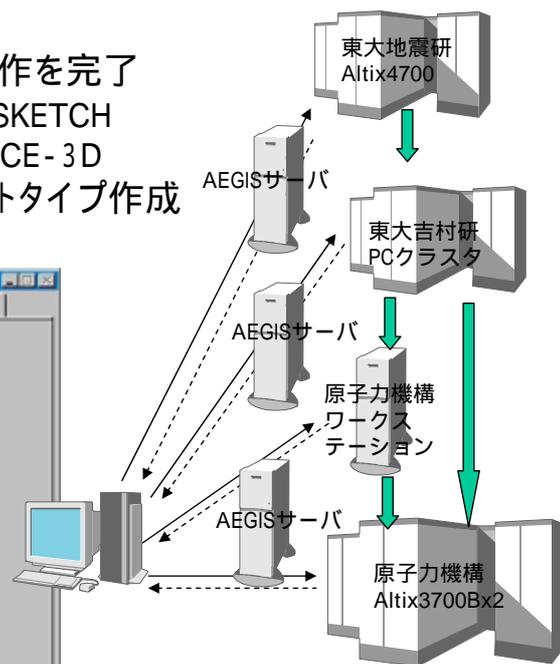
要素機能を試作し、動作確認を実施中

全ての連携に関わるデータ連携ソフトの試作を完了

- ・MMA-ADVENTURE
  - ・ADVENTURE-TRAC/SKETCH
  - ・ADVENTURE-ACE-3D
  - ・TRAC/SKETCH-ACE-3D
- グリッド環境の構築。解析制御機能のプロトタイプ作成



解析制御機能プロトタイプGUI画面



実行計算機の動作

## 今後の予定

### 1) 地震耐力予測シミュレーションにおける解析間データ連携機能の開発

- ・データ連携機能のグリッド環境への実装 (H21年度末)
- ・データ連携機能の高度化 (H22年度)
- ・地震耐力予測シミュレーションの評価とチューニング (H23年度)
- ・成果のとりまとめ (H24年度)

### 2) 大規模長時間実行アプリケーション実行環境の開発

- ・計算機接続の完了 (H21年度完了済み)
- ・実プラントデータによるグリッド環境下での連携機能の検証 (H22年度)
- ・地震耐力予測シミュレーションの評価とチューニング (H23年度)
- ・成果のとりまとめ (H24年度)