

システム統合化の現状と課題

西田 明美

日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター

システム統合化の現状と課題

西田 明美, 木野 千晶, 鈴木 喜雄, 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,suzuki.yoshio,kino.chiaki,takemiya.hiroshi,nakajima.norihiro@jaea.go.jp

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。

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、データ共用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、一昨年度から 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。本環境を活用することにより、原子力プラントの耐震シミュレーションを実現する。

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、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。

これまでに、実プラントデータを模擬した連携解析モデルによる統合シミュレーション環境でのデータ連携システムの動作検証を完了し、現在、機能検証を実施中である。また、GUI を用いた実行制御への対応も進めている。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23年2月4日

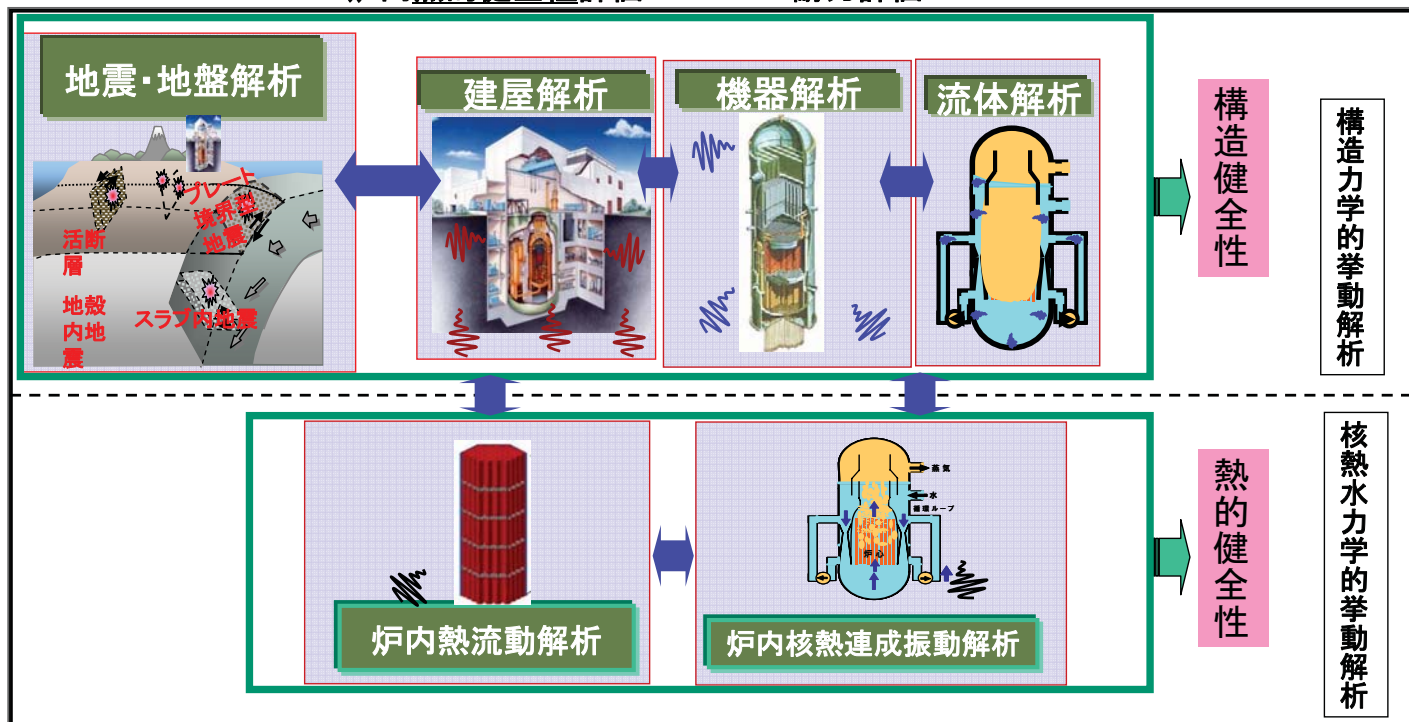
日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター

西田 明美, 木野 千晶, 鈴木 喜雄, 武宮 博, 中島 憲宏

© All rights reserved, JAEA, 2011

地震耐力予測シミュレーション:大規模複雑シミュレーション

- ・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

© All rights reserved, JAEA, 2011

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

- 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

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

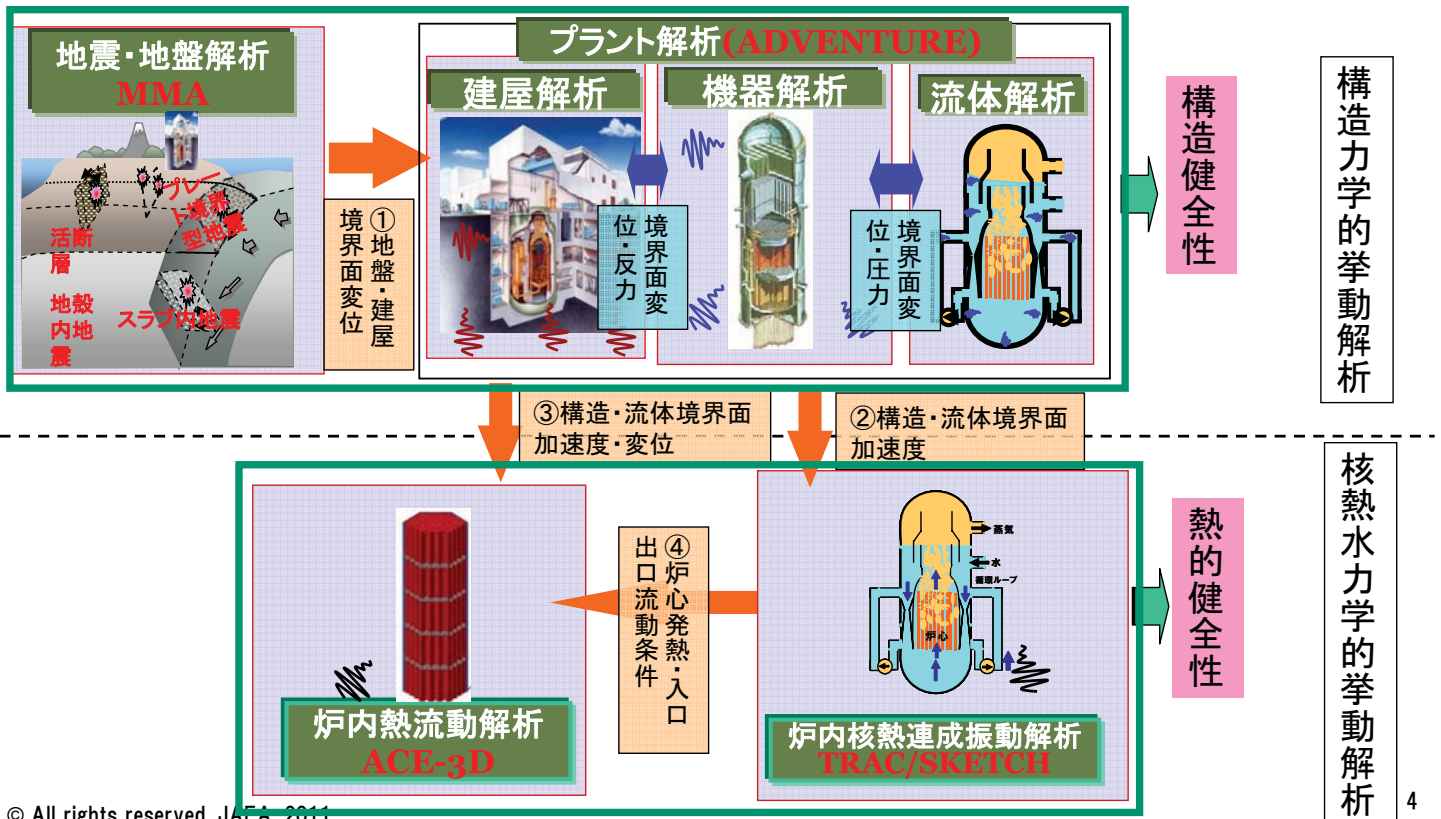
本研究の成果の位置づけ

- ・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

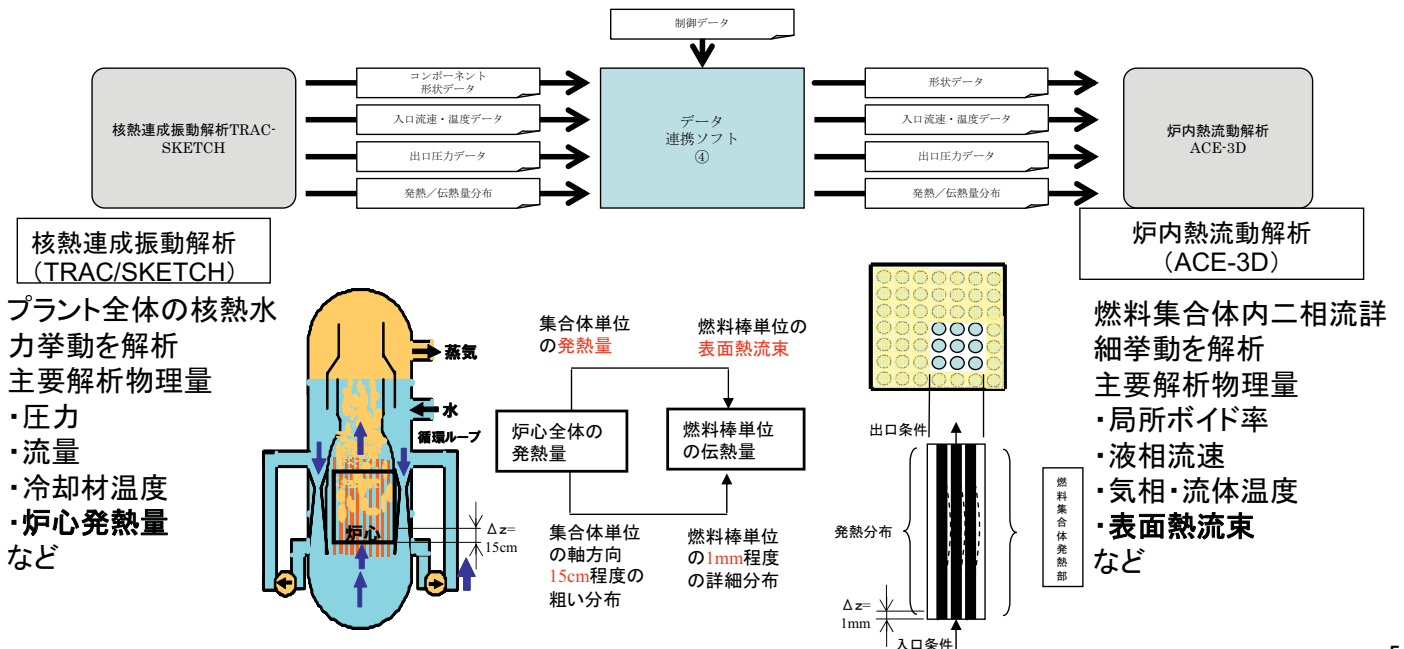


© All rights reserved, JAEA, 2011

4

解析間データ連携具体例: ④核熱連成振動解析—炉内熱流動解析

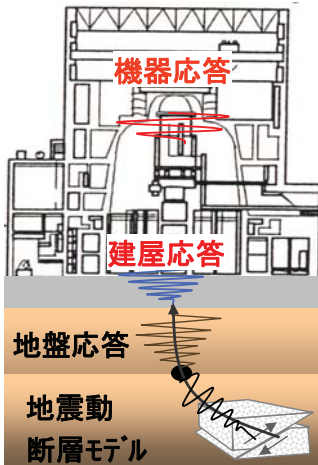
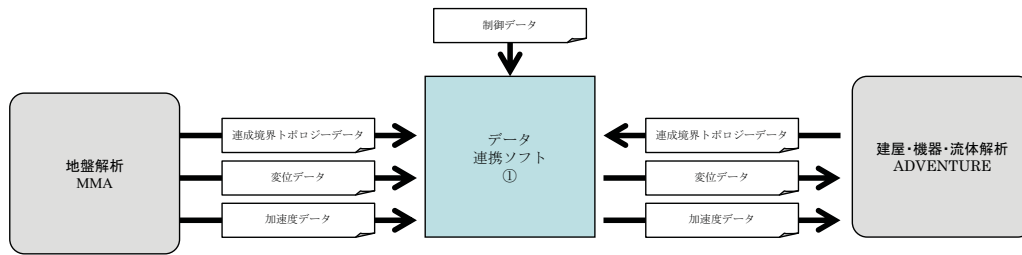
- ・マルチフィジックス性: TRAC/SKETCHによる炉心発熱量からACE-3Dで必要とする燃料棒表面熱流束へ熱量を保存して変換
- ・マルチスケール性の考慮: TRAC/SKETCHによる粗データからACE-3Dで必要とする詳細情報を伝熱量を保存して変換



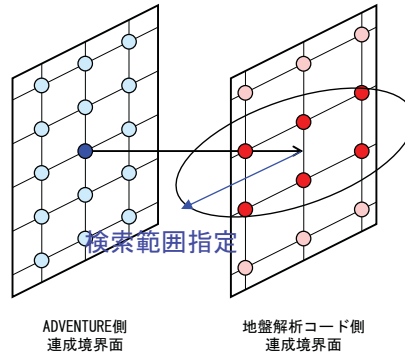
© All rights reserved, JAEA, 2011

5

解析間データ連携: ①MMA – ADVENTURE



建屋・機器・流体解析
地盤解析



データ連携方式

・変位及び加速度は、距離の逆数を重みとした内挿で提供

- 以下、ユーザー指定
- ・検索範囲指定
- ・座標原点位置及び方位の相違の補正
- ・単位変換
- ・ADVENTUREの要素種類対応 (四面体、六面体の1、2次)

連携機能の高度化

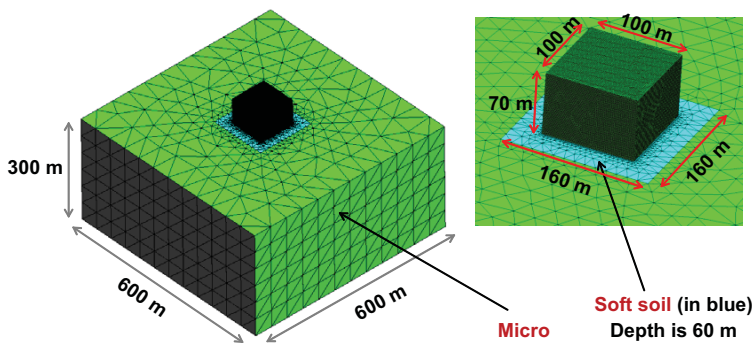
・大規模データによる解析効率化のため、解析ステップごとのデータ連携機能を追加。

解析間データ連携: ①MMA – ADVENTURE

MMAによる地盤解析概要

○条件概要:

- ・地震波はMMA内で自動生成
- ・建屋はBWRプラントを想定
- ・今回は、地盤と建屋の境界部の応答で連携。



Note: Structure is embedded to the soil by 30m

マイクロ解析モデルの概要

地盤および構造物の物性

Layer	1	2
P wave (m/s)	1850	3200
S wave (m/s)	500	1700
Density (kg/m ³)	1950	2300
Q	60	200

Layer	micro	Soft soil	Structure*
P wave (m/s)	1850	1500	3373
S wave (m/s)	500	400	2127
Density (kg/m ³)	1950	1600	2500
Q	60	50	200

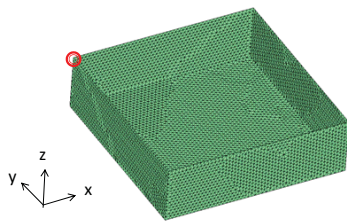
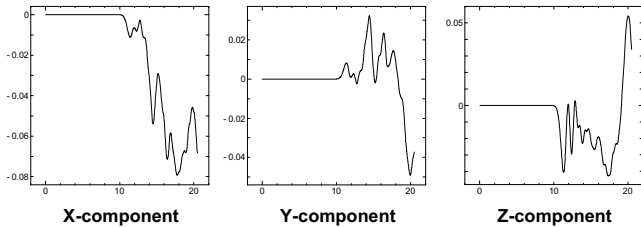
* Young's modulus of structure: 26.46 GPa
Poisson's ratio = 0.1699

解析間データ連携: ①MMA – ADVENTURE

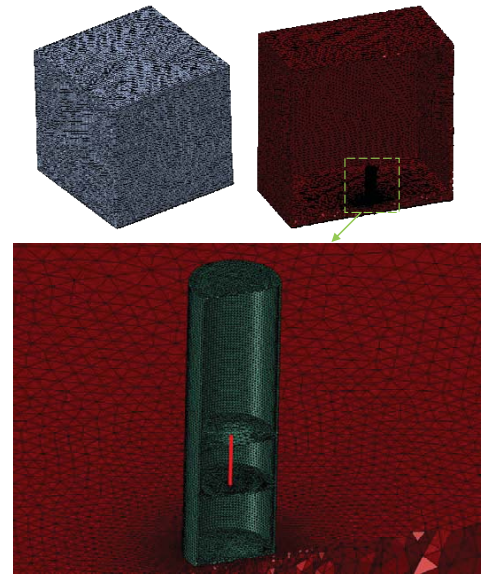
ADVENTUREによるプラント解析概要

○条件概要

- ・機器は原子炉压力容器および燃料棒を簡略に模擬
- ・中越沖地震に関する資料を基に、スクラム信号は、建家基礎版から取り出すとする。



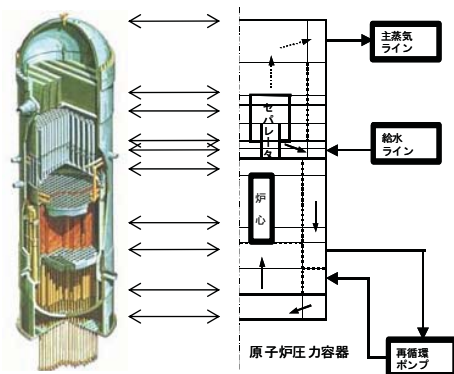
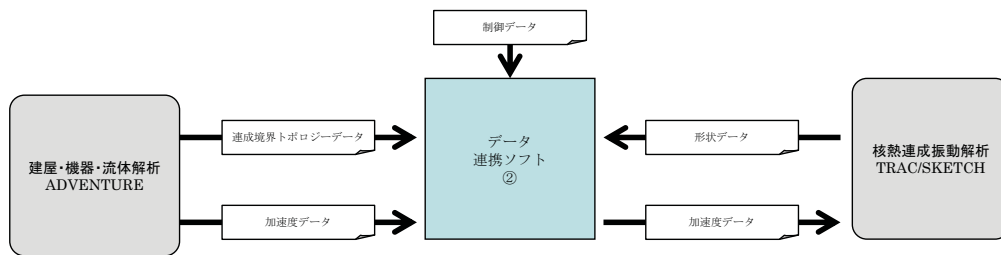
MMAのInterfaceの応答結果 (変位の時刻歴応答)



ADVENTURE用プラント解析モデル

- ・292174 Tet Elements
- ・78578 Nodes
- ・Interface(データ連携面)に 5778 nodes

解析間データ連携: ②ADVENTURE – TRAC/SKETCH



建屋・機器・流体解析 (ADVENTURE)

核熱連成振動解析 (TRAC/SKETCH)

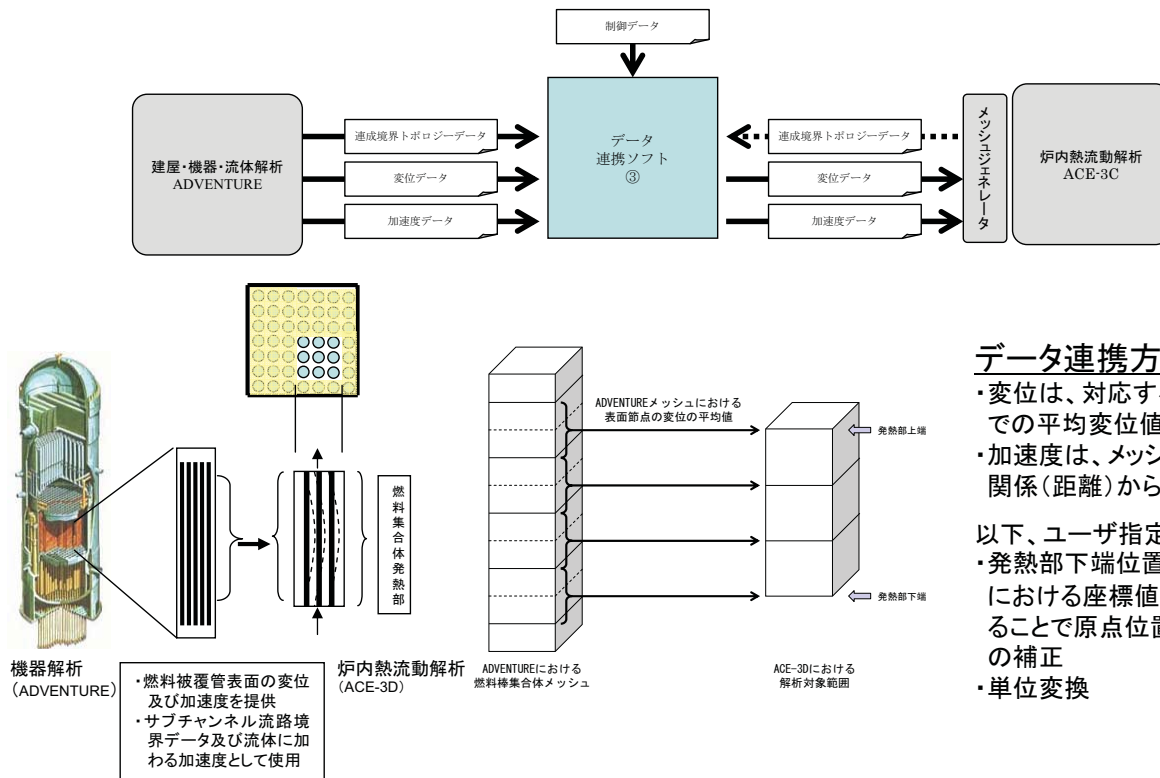
データ連携方式

- ・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(压力容器内面下端を原点とする)
- ・単位変換

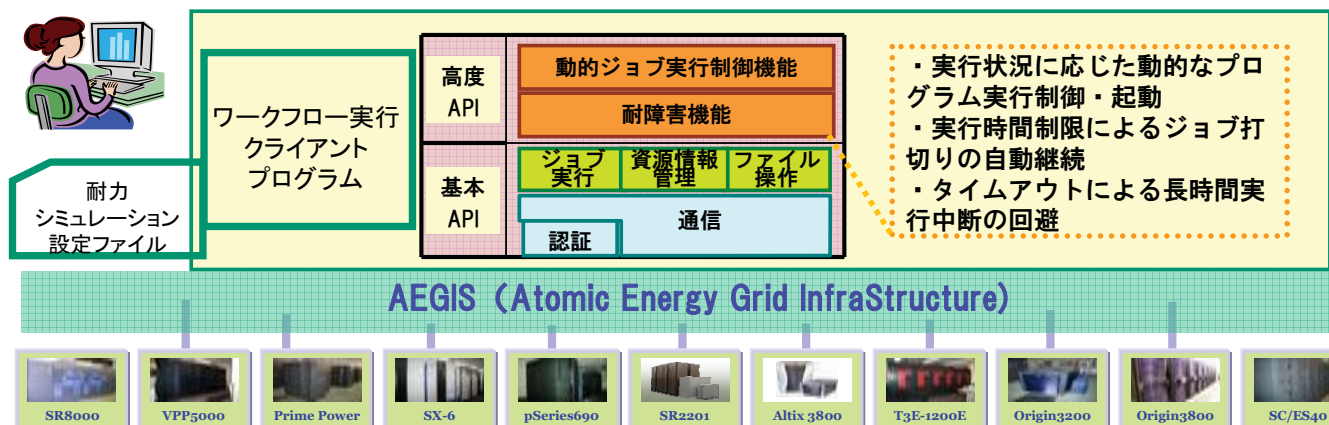
解析間データ連携: ③ ADVENTURE - ACE-3D



大規模長時間実行アプリケーション実行環境の開発

原子カグリッド基盤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し、実行情報を手元のPCに集約



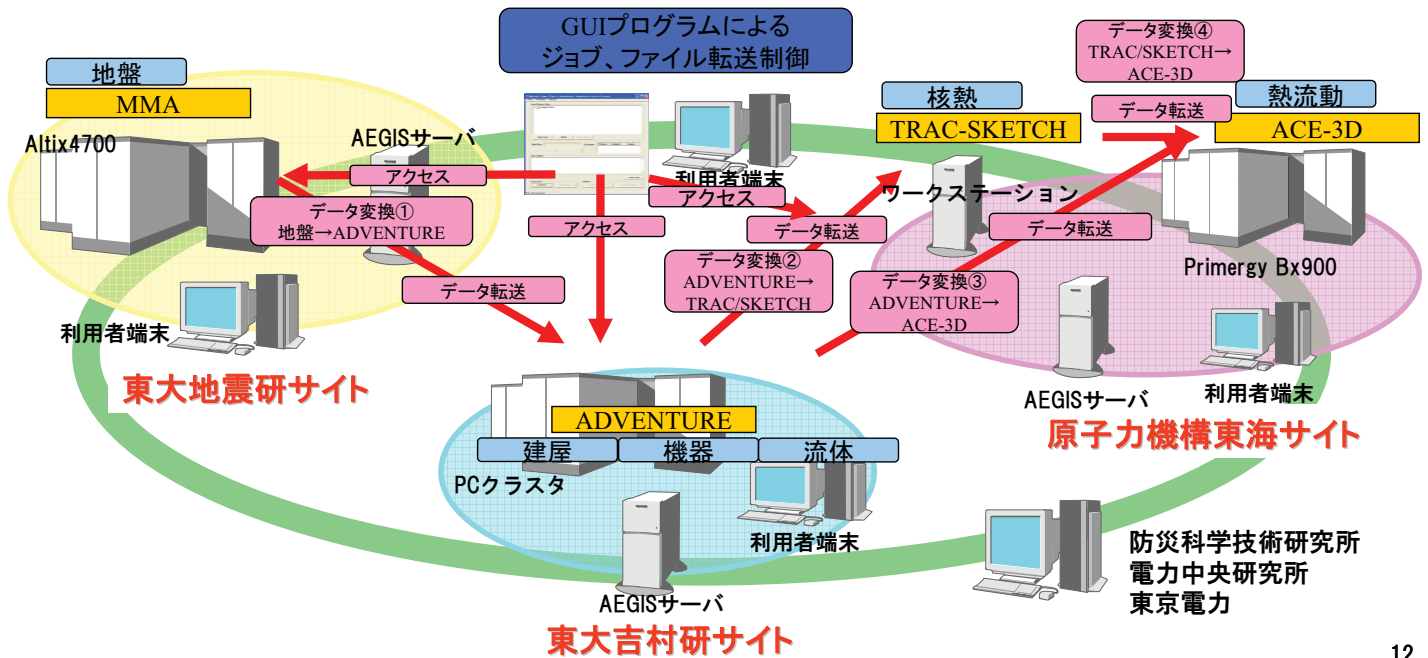
統合化地震耐力予測シミュレーションの実装イメージ

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Primergy Bx900

クライアント接続

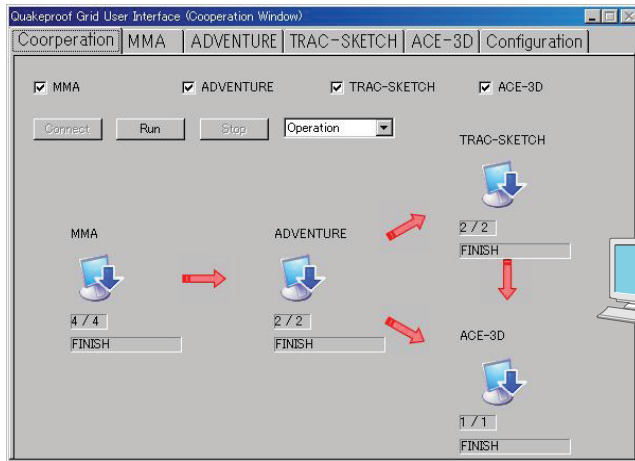
- ・防災科学技術研究所
- ・電力中央研究所
- ・東京電力



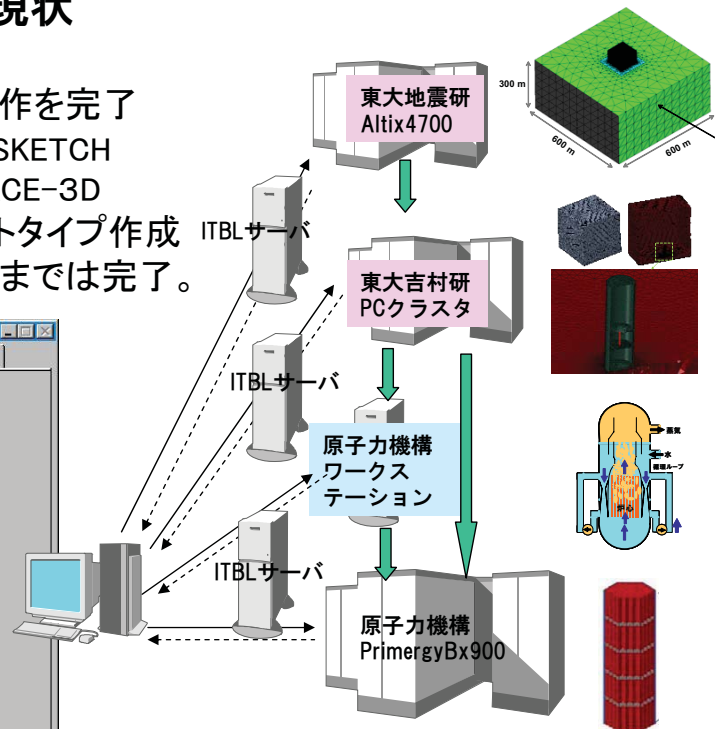
実装の現状

要素機能を試作し、動作確認を実施中

- ①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
- ②グリッド環境の構築。解析制御機能のプロトタイプ作成
- ③地震・地盤～プラント～核熱連成振動解析までは完了。



解析制御機能プロトタイプGUI画面



実行計算機の動作

(は完了・ は作業中)

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(完了)
- ・データ連携機能の高度化(完了)
- ・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(完了)
- ・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
完了予定)
- ・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)