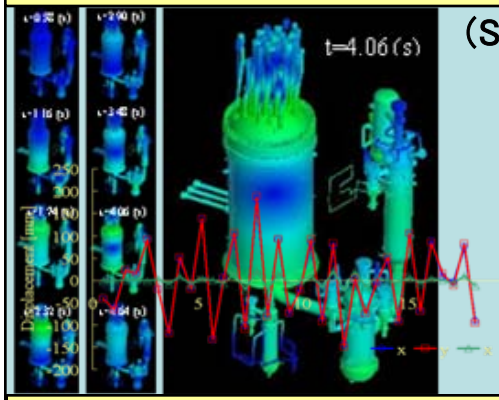
原子力施設の耐震性評価技術の実績と5年後達成目標

■ これまでの実績

■ HTTR主要設備の動弾性解析を実施

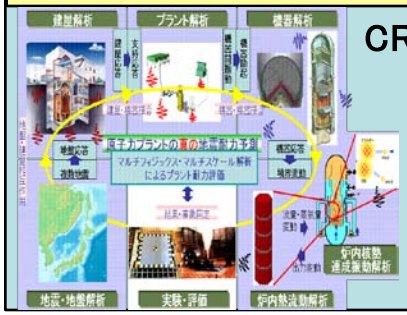
組立構造解析手法に基づく3次元詳細解析の
実現可能性を検証



（SGI Altix3700B×2　512CPU）

規模:　　8000万自由度
部品数:　　2000
入力データ:100GB
メモリ:　　400GB
出力データ:20TB
実行ステップ:200ステップ
（実時間の6秒に相当）
計算時間:　　40時間

2005　SC05　解析コンクール入賞(静解析)
2007　原子力学会部会業績賞
2007　SC07　Finalist(振動解析とデータ自動分析)
2008　SC08　Finalist(熱応力解析とシミュレーション検証)
　　読売新聞（耐震設計とスーパーコンピューティング技術）



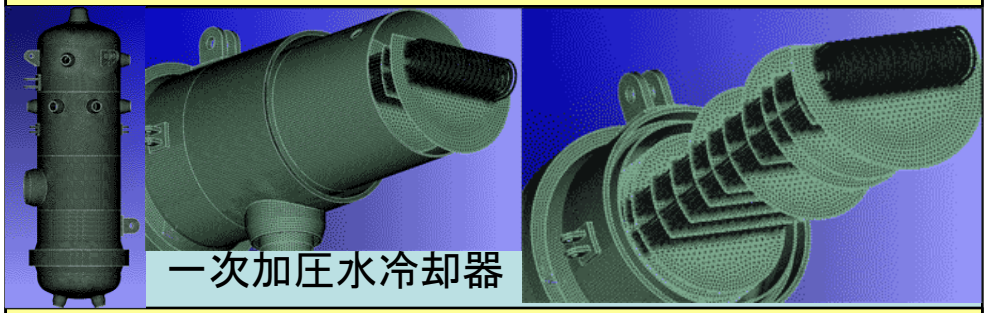
CREST地震耐力シミュレーション構想

東大吉村研、堀研、防災科研、JNES、
電中研、東電、日立、CTC、…

・建屋−機器連成
・炉内核熱流動−振動連成

■ 5年後達成目標

■大規模解析の目標
- ■ 全体規模の構造解析
- ■ 規模:100億自由度～
- ■ メモリ:100TB
- ■ 次世代計算機で～1週間
- ■ 原子炉機器の破断現象
  の発生仮想実験を実施



■詳細解析の目標
- ■原子炉容器内の熱流動−構造連成詳細解析
- ■規模:20億自由度（構造解析）
  300億自由度（熱流動解析）
- ■メモリ:450TB
- ■次世代計算機で～1か月
- ■実運転状態下における流体振動現象発生
  仮想実験を実施

2.4 課題例 高速増殖炉(FBR)サイクル技術開発

資源依存脱却のため新型炉開発：ウラン消費からプルトニウム・リサイクルへ

FBR開発の課題：増殖炉発電の要、冷却材の取扱い

ナトリウム冷却材を用いた設計案作成のための課題

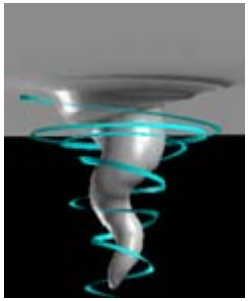
- ナトリウム−水反応、蒸気発生器内流動安定性
- 自由液面から冷却材中へのガス巻き込み
- 大口径配管の高速流による流力振動
- 複雑形状を持つ燃料集合体

etc…

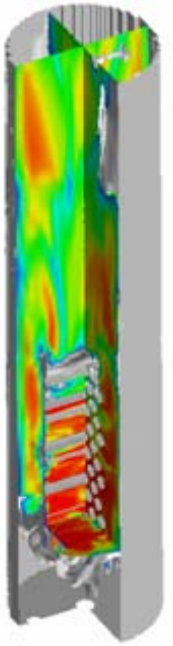
概念設計過程における制約

> 実験の制約：実大実験は予算的に困難
> 解析の制約：計算リソースの不足（現在：13TF）

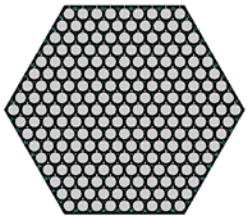
これらの課題を克服し、
国家基幹技術開発として
概念設計の成立へ



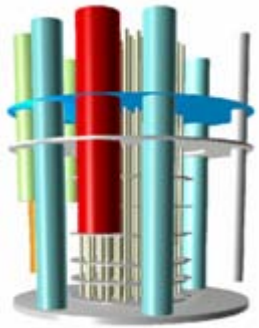
自由液面



蒸気発生器



燃料集合体



炉容器上部構造

計算の詳細化・高速化によって、
①実験困難な（FBR固有の）複雑現象の解明
②FBR設計パラメータの確定に適用

- 現象の十分な理解に基づく革新技術開発と導入
- 設計の最適化、経済性と安全性を高次元で両立

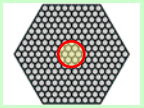
(C) All Rights Reserved, JAEA, 2009

FBRサイクル技術開発のブレークスルー

（１）解析の詳細化・高速化

燃料集合体熱流動解析（SPIRAL）
- ○有限要素法
- ○集合体の部分（7本ピン）解析
- ○約40万要素

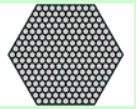
現在の計算所要時間：　～20日/大洗HPC32PE



ALTIX3700Bx2　512PE化

燃料集合体熱流動解析（SPIRAL）
- ○有限要素法
- ○集合体の全体（217本ピン）解析
- ○約1000万要素

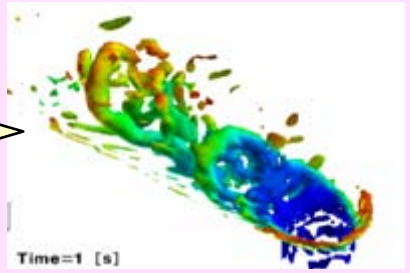
計算所要時間予測：　～2.5時間/PFLOPS



次期調達スパコン　2048PE化～

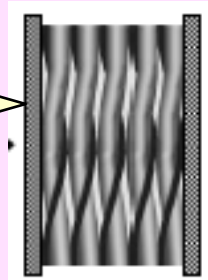
（２）従来困難であった複雑現象の解明

時空間高分解能
詳細化シミュレーション



複雑物理現象素過程の解明
（例：乱流混合）
10m規模の原子炉容器を1cm単位で分析し、機器配置や流速制御等の設計パラメータを確定

マルチフィジックス
大規模シミュレーション



混相熱流体-構造複合事象の解明・制御
（例：燃料変形）
流動＋熱＋構造変形の状態変化を分析し、機器形状設計や機器特性設計の基礎データ獲得

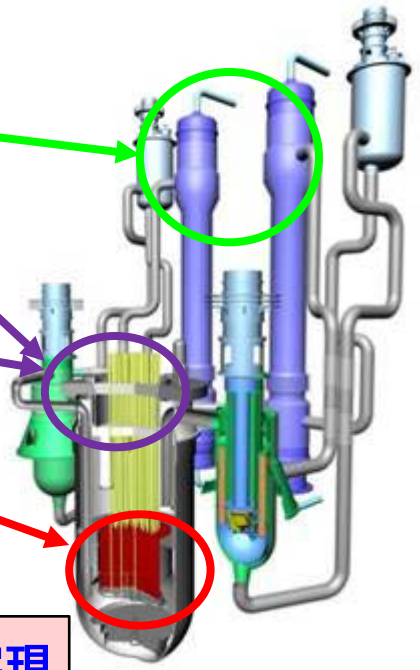
(C)　All Rights Reserved, JAEA, 2009

実績と5年後の目標、さらなる展開

現状の実績：機器構成単位、コンポーネントごとの『部分解析』

- **蒸気発生器**：化学反応を伴う多成分混相熱流動評価　（漏洩対策：信頼性）
- **炉容器上部**：自由液面での渦の発生頻度、形状予測　（コンパクト化：経済性）
- **炉容器上部**：混合の大規模渦の非定常追跡、構造との熱的連成評価
  （コンパクト化：経済性、冷却性能向上：炉心安全性）
- **炉心**：燃料集合体内詳細解析、燃料ピン変形との機械的連成評価
  （高燃焼度化：経済性）

etc.



5年後の目標：機器構成単位、コンポーネントごとの『Design by Analysis』の実現

次世代スパコンを活用した計算の大規模化、マルチフィジックス化により、

- 計算時間短縮で「解析」⇔「設計」のターンアラウンド向上
- 様々な条件での詳細過渡解析による実験の代替

を実現し、「現象の解析」から「解析によるFBR最適化設計」へ

実証炉の実現のために

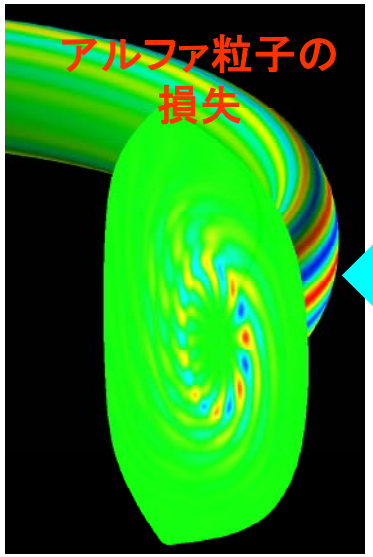
■ 新しい科学技術課題への展開

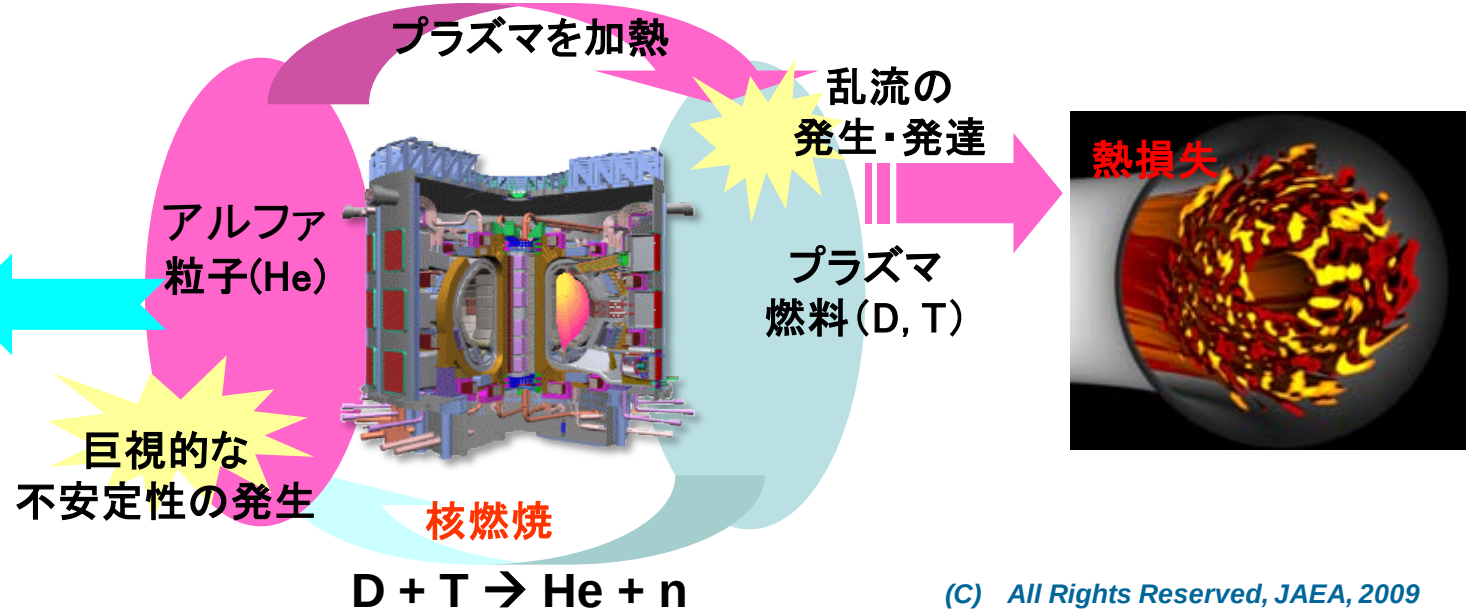
- FBRプラントまるごとシミュレータによる『Design by Analysis』
- プラント体系でのナノ粒子によるナトリウム反応抑制技術
- プラント技術応用によるガラス固化体溶融炉シミュレータ

2.5 課題例 核融合研究開発における課題

現状の課題は長時間核燃焼の実現 ⇒ 核融合をエネルギー源とした新型炉へ

核燃焼(D + T → He + n)の条件	課題(障害)となる現象	計算科学の役割
生成されるアルファ粒子(3.5MeV)がプラズマを加熱して10keV以上を維持	巨視的な不安定性が発生してアルファ粒子が損失	プラズマの特性予測(高エネルギー粒子・電磁流体連結シミュレーション)
高温プラズマ(10 keV以上)を実現して核融合反応を持続	乱流の発生・発達が熱損失を引き起こす	プラズマの密度・温度分布の予測(乱流輸送シミュレーション)





(C) All Rights Reserved, JAEA, 2009

これまでの実績と次世代スパコンによる革新

現状(~10TF)

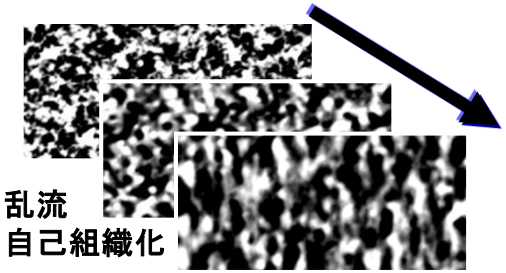
●トーラスコード開発
MEGA:電磁流体・粒子ハイブリッドコード
GT5D:5次元格子第一原理乱流コード
●要素物理の検証

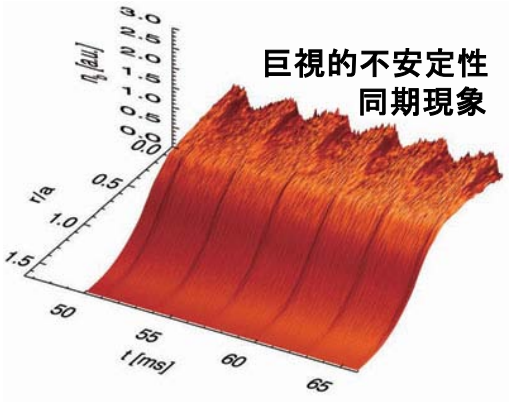
BA 計算機(~1PF)

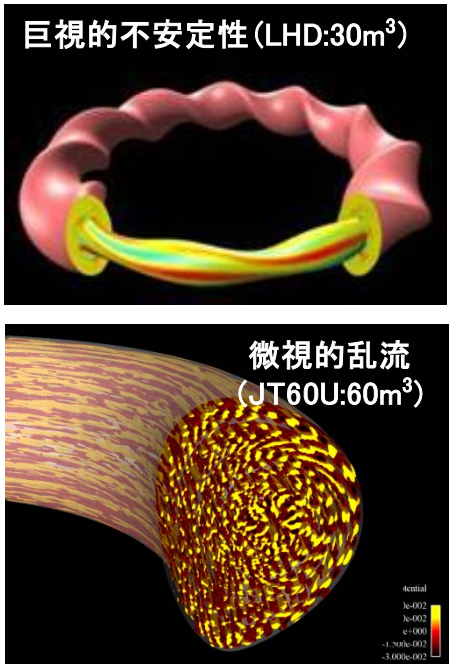
●既存コードによる装置直接計算
JT60U:60m^3,LHD:30m^3
●高温プラズマ数値実験
→実験データ検証
→コード性能試験

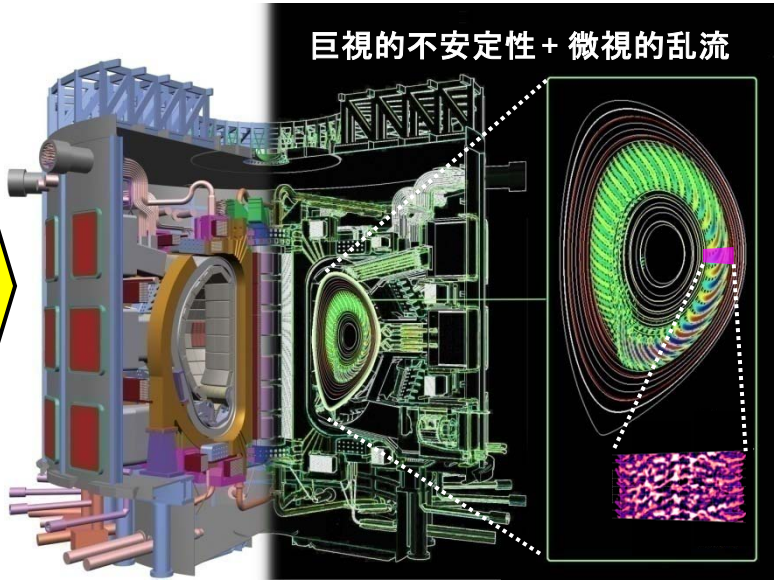
次世代 計算機(~10PF)

●電磁流体・乱流統合第一原理コード開発
●ITER直接計算
ITER:800m^3
●核燃焼プラズマ数値実験
→ITER性能予測
→炉心シミュレータ開発









(C) All Rights Reserved, JAEA, 2009

5年後の目標とその後の展開

5年後の目標

統合第一原理モデルによる長時間核燃焼シミュレーションの実現から炉心シミュレータ開発へ

↓

ITER実験の事前予測

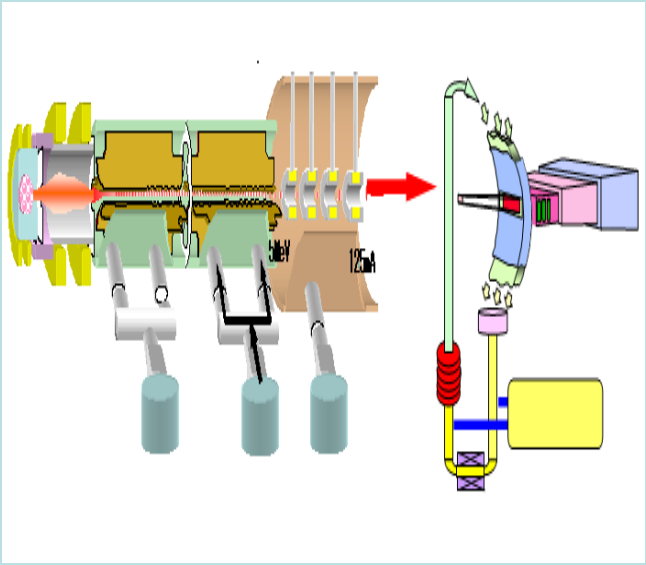
↓

ITER実験時間獲得に向けた国際競争力の確保・向上

その後

モデルの改良・予測性能の向上

熱損失を最小化、エネルギー出力を最大化する手段の確立



核融合材料開発研究
（材料シミュレーション）

炉シミュレータの実現へ
炉の開発期間の短縮と
開発コストの低減を実現

魅力的な材料の開発

国際核融合材料照射施設
工学実証・工学設計活動
（IFMIF-EVEDA）

2.6 課題例 原子力を支える材料研究

原子力材料研究 現行原子力の安全安心から将来の原子力開発の成否を左右

- 1,原子力構造材料
  - **軽水炉** 30年以上を経た原子炉
    - 構造材劣化機構の解明
    - 高経年化（亀裂進展）予測
  - **高速炉・核融合炉** 極限環境でも強固な構造材の開発
- 2,原子力機能材料
  - **軽水炉** 核燃料の経年変化
  - **高速炉** 新型核燃料（未知のアクチナイド化合物）の物性予測
  - **核融合炉** 超伝導線材（高臨界電流）の開発

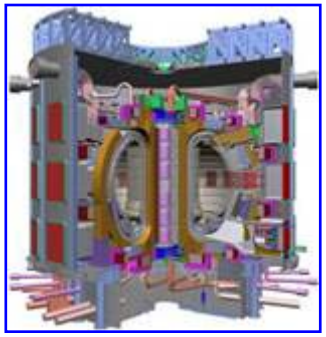
軽水炉

高経年化予測

高速炉

新型構造材開発
新型燃料開発

核融合炉



新型構造材開発
超伝導材開発

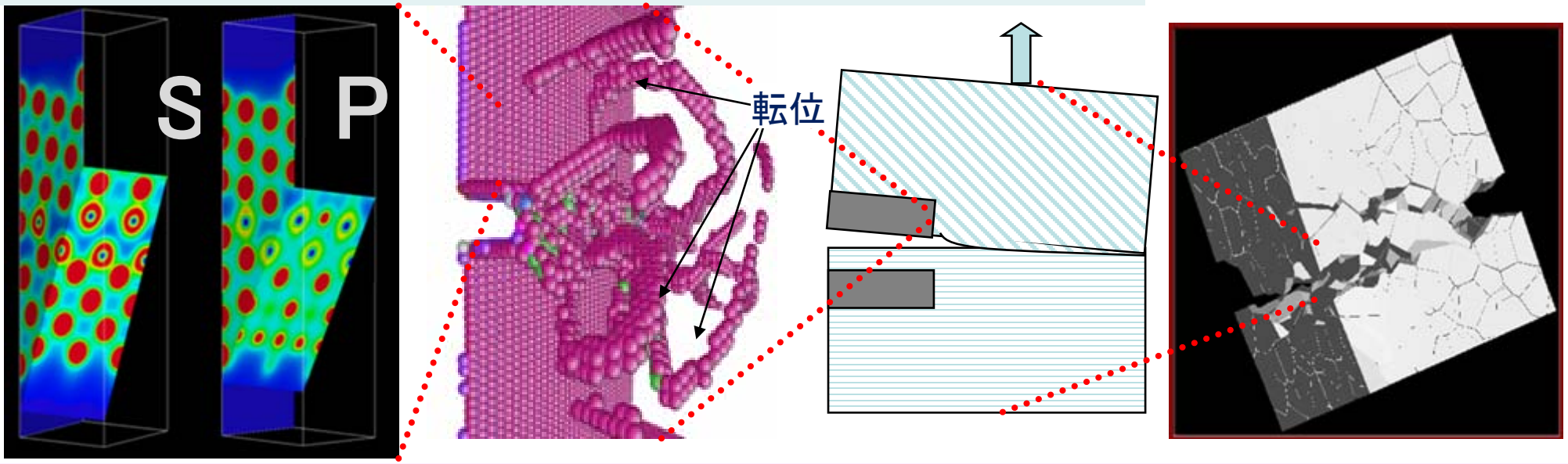
(C) All Rights Reserved, JAEA, 2009

原子力を支える材料研究　例1

30年以上経た原子炉の構造材料の劣化･高経年化予測
極限環境の高速炉及び核融合炉･構造材料の劣化予測
} 低コストの数値実験

マルチスケール･シミュレーションによるき裂進展予測
{ 各スケールの高精度化
スケール階層性モデルの検証

⇒ **材料の健全性に関する知見の蓄積と活用**



	超大規模転位芯の第一原理計算		超大規模分子動力学		超大規模有限要素計算
これまでの実績	数十原子 （Altix3700Bx2：128～256node 4～5時間）	困難な接続	ナノ（10^{-9}m） （Altix3700Bx2：256node2～3日）	困難な接続	数千要素 （Altix3700Bx2：48～64node 1～2週間）
5年後の達成目標	数千原子 （数万コア10時間）	繋がる階層性	サブミクロン（10^{-7}m） （数万コア12時間）	繋がる階層性	数100万要素 （数万コア1週間）