

戦略分野選定に向けた提案

原子力エネルギー分野の技術革新と 次世代スパコンの戦略的活用

2009.02.25 (水)

中島 憲宏 <nakajima.norihiro@jaea.go.jp>

日本原子力研究開発機構

Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

&

核融合科学研究所

National Institute for Fusion Science (NIFS)

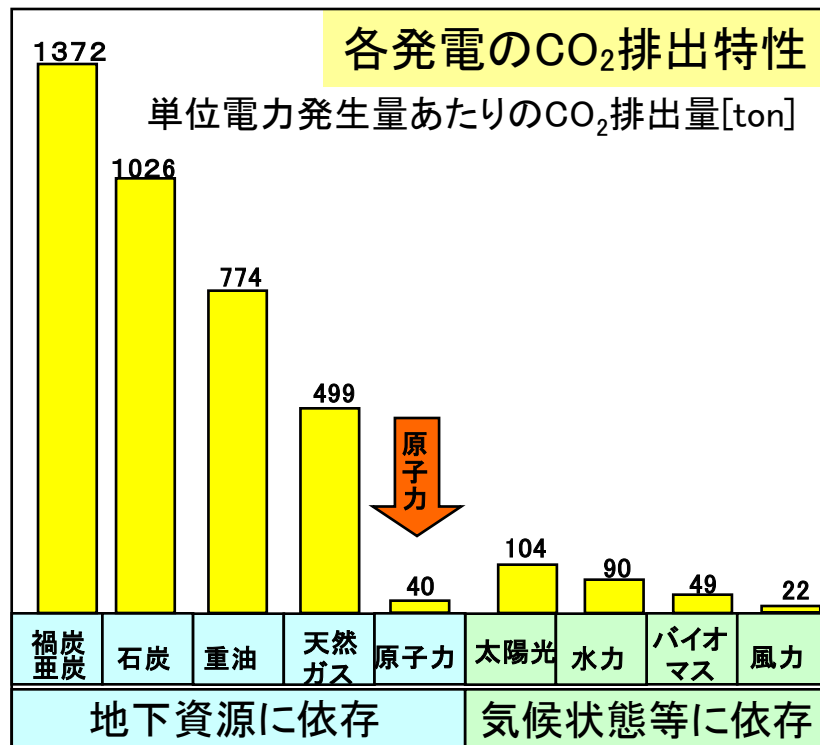
1. 社会的・国家的な要請
2. 次世代スパコンでなければ解決できない課題と見通し
3. 拠点体制の構築

1. 社会的・国家的な要請

日本社会の課題と国家的要請

- (1) エネルギー安全保障の確立
(2) 地球温暖化対策への貢献 } → 環境と経済を両立し持続可能な発展を実現

原子力エネルギーの重要性 { (1) 環境エネルギー技術革新計画(総合科学技術会議)
(2) 地球温暖化対策に貢献する原子力の革新的技術開発のロードマップ(原子力委員会)



原子力エネルギーの課題

- 安全性と健全性の向上
 - 耐震性の更なる向上
 - 経年劣化対策(一号商用炉稼動から40年・継続利用)

2. 持続可能なエネルギー源確保

ウランの資源偏在: 全輸入
産出国: 米、加、独、豪、旧ソ(軽水炉)

エネルギー源のリサイクル(準国産エネルギーの獲得)
プルトニウム・サイクル(高速増殖炉)

無尽蔵なエネルギー源へ
(核融合)

イノベーション

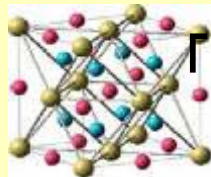
持続可能な計画的展開

原子力・エネルギー分野の課題解決のために

- (1) 軽水炉発電施設の健全性・安全監視
(2) 資源依存脱却のため新型炉開発
- 実機実験が困難
効率的な研究開発
- シミュレーションを用いた
予測科学と実験代替手段の確立



マルチ・スケールとマルチ・フィジックスの総合工学・総合科学の開拓



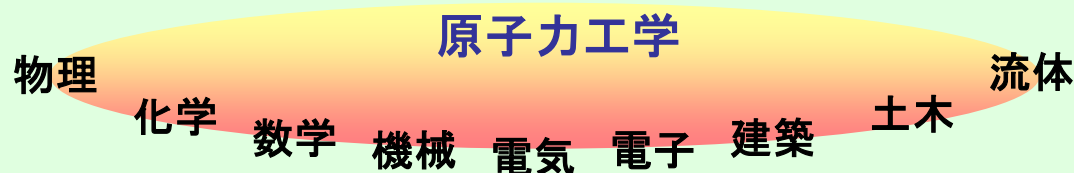
「原子核・電子の世界 (10^{-10}m)」から

「発電プラントの世界 (10^2m)」まで



多様な分野での課題克服にシミュレーション技術が波及

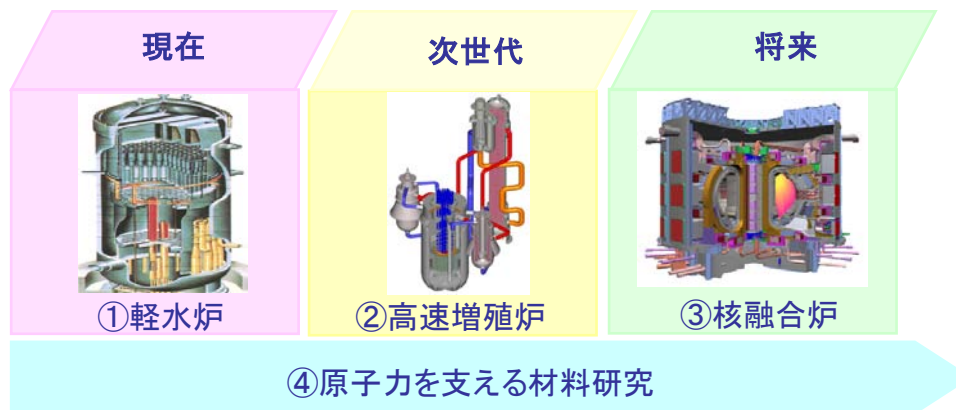
- 材料技術は、鉄鋼業界で様々な種類の鋼板や鋼材の高純度化などへ共同研究的に波及
- 可視化技術は、企業による商品化が進み、48社に原子力分野の可視化技術が波及
- 耐震技術は、原子力分野外での業種（建設、土木、機械）で共同研究的に波及



2. 次世代スパコンでなければ解決できない課題と見通し

地球温暖化・エネルギー問題の克服し、世代を超えて安全に原子力エネルギーを利用するために・・・

- ① 軽水炉の安全性・健全性の向上のために、耐震シミュレーション
- ② 高速増殖炉サイクルの確立のために、FBR設計支援ツールとしての統合的シミュレーション
- ③ 核融合の実現のために、核融合の実証炉を代替するプラントシミュレーション
- ④ 技術革新の基盤として、原子力を支える材料・物性シミュレーション



- (1) 世界のCO₂排出量の約3割を占める「発電」分野に重点化。
- (2) 次世代スパコン稼動後5年間で成果が見込まれ、さらにその後のエネルギー問題の克服につながるテーマに絞込み。
- (3) ①～④の連携を強化し、効率的に研究開発を推進。

1. 原子力施設の安全性、健全性の向上

目 標: 計算の詳細化・大規模化による実運用状態を加味した施設全体の耐震性
評価手段の実現

革新性: 従来の機器単位解析では発現しなかった破損現象解明

波及: 振動による状態変化から、安全性や健全性を予測

2. 高速増殖炉(FBR)開発の効率化によるエネルギー安全保障の早期確立

目 標: 計算の詳細化・高速化によるDesign by Analysisの実現

革新性: 実験困難な(FBR固有の)複雑現象の解明(現スパコンで不可能な計算)

波及: Design by AnalysisでFBR設計を先導し、信頼性・安全性向上、コスト低減
に貢献(FBR実証炉設計の実現)

3. 核融合炉の開発期間短縮・開発コスト低減

目 標: 計算の大規模化によるITERの実物大シミュレーションの実現

革新性: 長時間核燃焼の達成に必要な運転条件の解明

波及: 実験の事前予測による国際競争力の確保・向上と、ITER後の装置をシミュレーション
で代替し、商業炉の開発期間短縮・コスト低減に貢献

4. 原子力を支える材料研究

目 標: 計算の高精度化とマルチスケールモデリング手法の確立

革新性: き裂発生原因の解明、最も困難な物性(アクチナイド化合物)予測

波及: 原子炉構造材の劣化・高経年化の科学的理解及び将来の革新的機能材料開発

原子力施設の耐震性評価における課題と貢献

■地震大国日本における原子力エネルギー安定供給のための重要課題

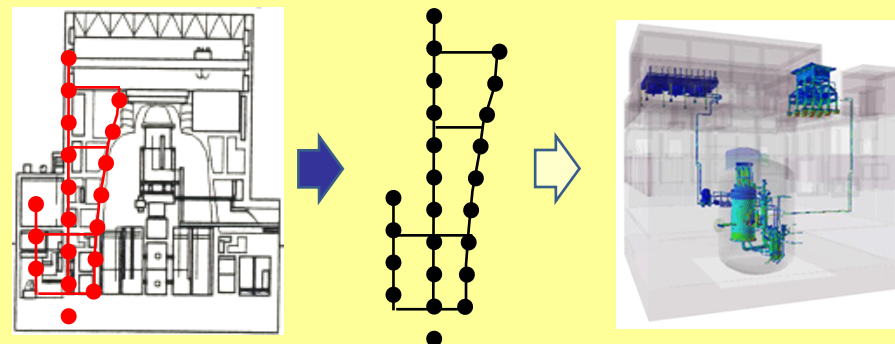
(1) 安全確保を前提とした軽水炉の継続利用

実機実験が困難なために、決定論的
3次元詳細大規模シミュレーションが不可欠
(原子力安全委員会の重点安全研究課題)

【 損傷頻度評価手順 】

機器配管応力評価

PFM解析(破損確率評価)



原子力施設全容規模(丸ごと)のシミュレーション

(質点系モデル)

(設計データモデル)

(2) 発電施設の安全監視や次世代炉耐震設計

耐震安全性評価技術の高度化による
広範な危険予測から予知・予防へ

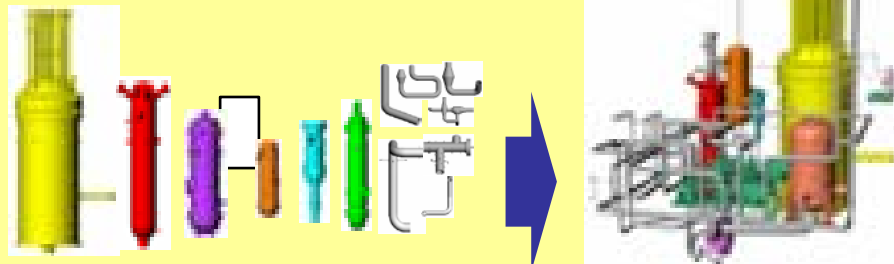
- ・実空間分解能の向上 ➡ 詳細化計算
- ・時刻歴分解能の維持 ➡ 大規模計算

計算の詳細化・大規模化による実運用状態を加味した施設全体の耐震性評価手段の実現

原子力施設全容規模の解析(設計データモデルを使ったシミュレーションの実現)

■大規模複雑構造物のモデル化技術の確立

- 1000万超の部品を組立構造解析手法により組み合わせ解析

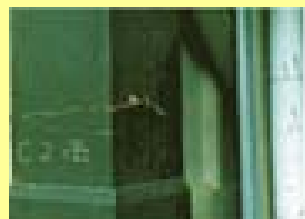


■大規模(設計データ丸ごと)シミュレーションの実現

- 従来の機器単位の解析では発現しなかった現象の解明



座屈現象



き裂

機器損傷の大部分は接合部で発生

■詳細化シミュレーションの実現

- 実験困難な実運用状態下での安全性評価技術の確立
 - 振動の伝搬・反射・減衰の部品間相互作用の精緻化
 - 熱・流動・振動・核反応等を考慮した解析精緻化

計算科学のブレークスルー

組立構造解析手法により大規模複雑問題を解けるようにする。

健全性評価のブレークスルー

発現事象の精緻な解明により全体構造の危険予知を可能に。

安全監視のブレークスルー

マルチフィジックスにより、構造のみの耐震評価より高度な安全状態予測を可能に。

次世代炉耐震設計へのブレークスルー

マルチフィジックスにより、実運用状態での耐震模擬