

原子力利用の新たな概念、革新的技術を創  
出し、新たな科学技術を拓く  
—原子力基礎・基盤研究—

日本原子力研究所  
田中俊一

# 原子力エネルギー利用に係る課題

## 軽水炉サイクルの円滑な推進

- ・ 高燃焼度化、高経年化対策等の軽水炉技術の高度化、プルサーマル計画等の実施。
- ・ 六ヶ所再処理施設等の安全、安定運転

## 核燃料サイクルの柔軟性の確保

- ・ 軽水炉サイクルからFBR サイクルへの円滑な移行を支える産業基盤の維持。

## 廃棄物の処理処分実施に関する技術開発

- (1) 高レベル廃棄物処分
  - ・ 高レベル廃棄物の地層処分の着実な実現。
  - ・ 公衆に理解しやすい安全評価シナリオの構築。
- (2) 廃止措置及びTRU、RI 研究所等廃棄物
  - ・ 廃止措置及びTRU、RI 研究所等廃棄物の処理 / 処分コストの大幅なコスト低減化。

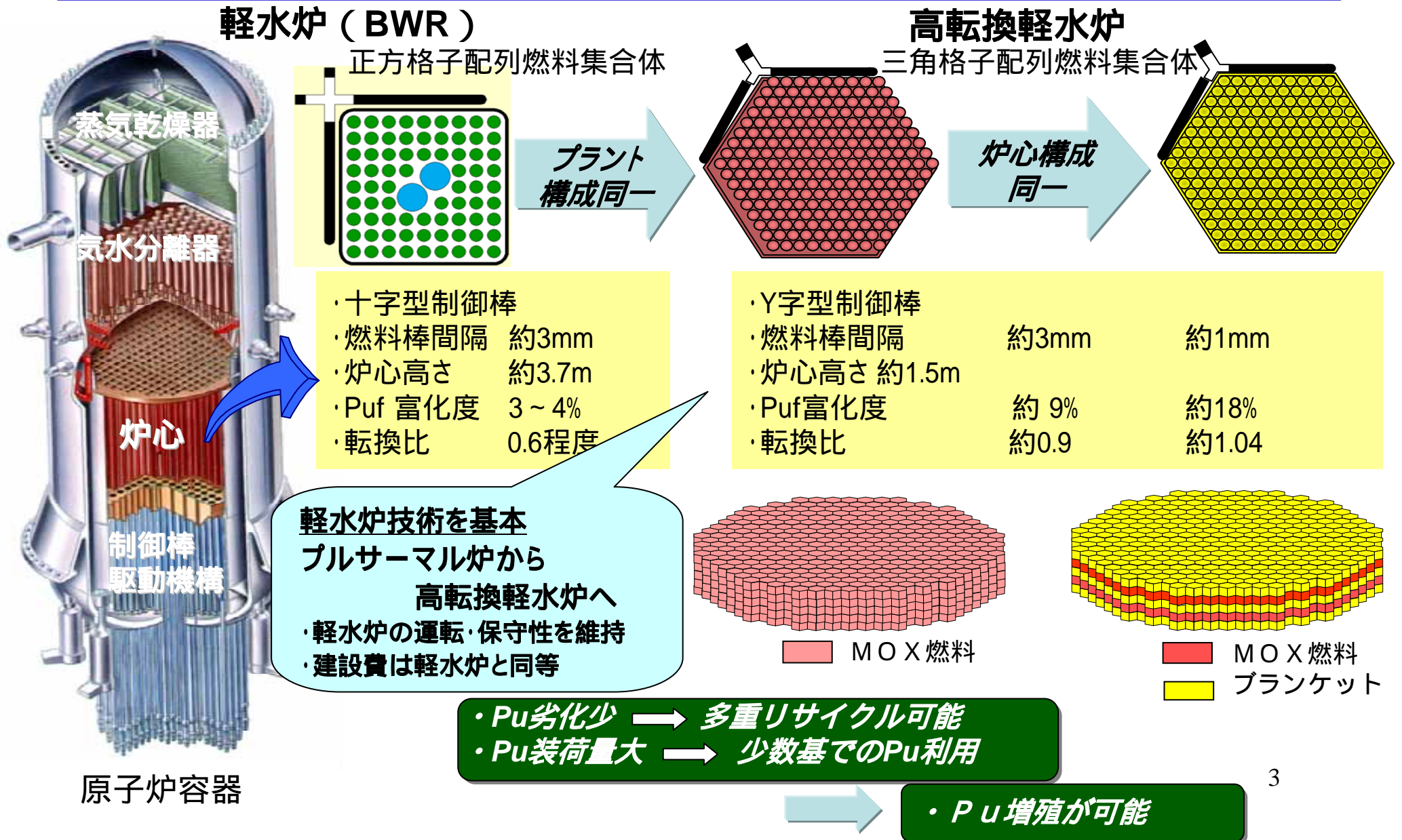
# 原子力利用の新たな概念、革新的技術を創出し、 新たな科学技術領域を拓く研究開発

基礎・基盤研究の根源的役割は、原子力の課題の根本的な解決、あるいは原子力をめぐる議論のパラダイム転換

- 軽水炉による柔軟なプルトニウム利用を可能とする技術オプションの提示
- 高レベル廃棄物処分の概念を変える研究開発
- 安全性の高い原子炉の開発
- 原子力による水素製造技術開発
- 放射線影響から修復の可能性を探る研究開発

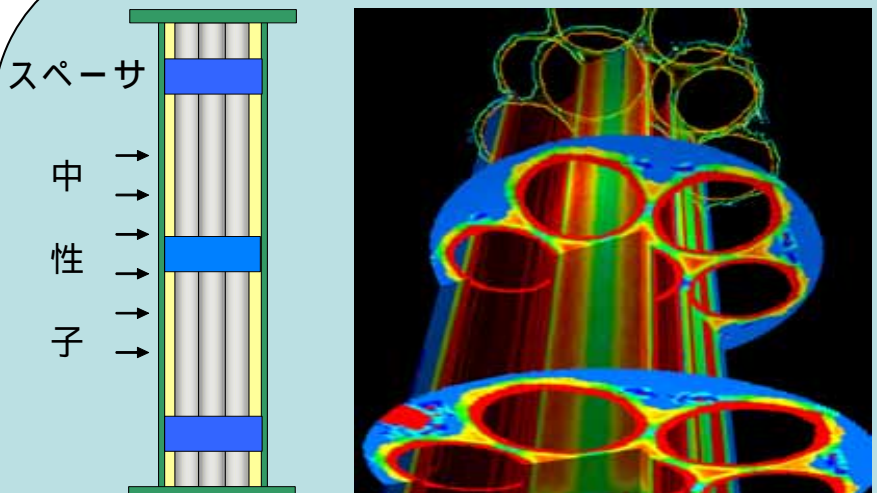
# 軽水炉による柔軟なプルトニウム利用の可能性

## 高転換軽水炉(革新的水冷却炉)



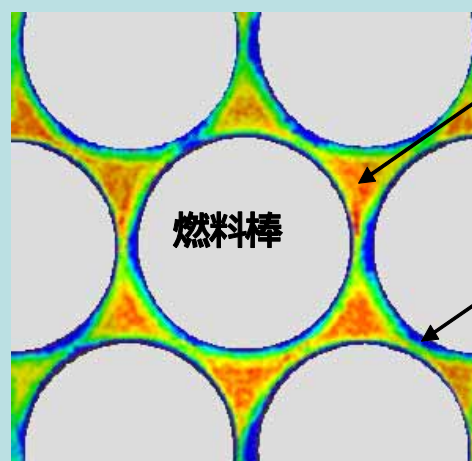
# 高転換軽水炉設計を支える量子ビーム技術と計算科学

量子ビームの提供する新しい観測手段と計算科学によるシミュレーション技術の融合  
⇒ 約1mm間隔の稠密燃料集合体の冷却性能確認



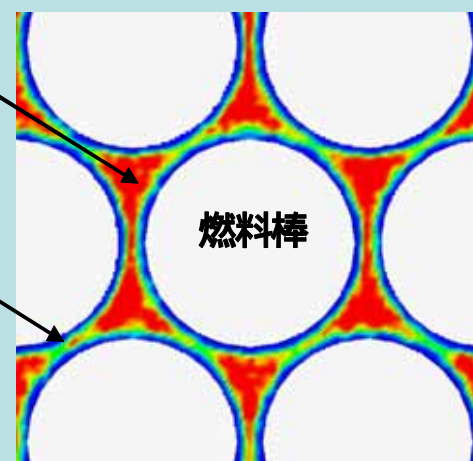
スペーサ  
中  
性  
子

中性子トモグラフィー  
燃料集合体内の水と蒸気の混合した流れの状況を直接観察



燃料棒  
蒸気  
液膜

中性子による  
観察結果



燃料棒  
蒸気  
液膜

シミュレーションによる  
予測結果  
(燃料棒間隔：1.3mm)

地球シミュレータを用いた大規模シミュレーション

革新的水冷却炉の開発における新しいアプローチ

# 高レベル廃棄物処分の変える研究開発

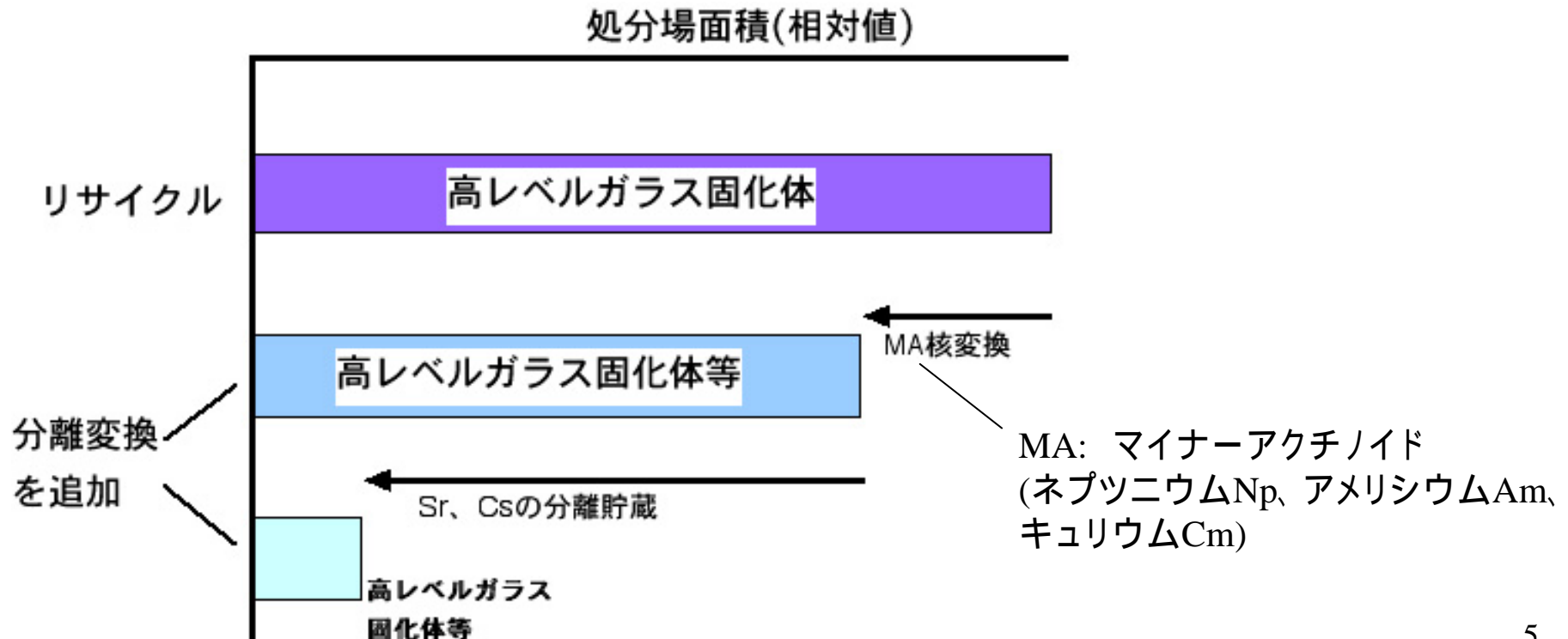
経済的な分離技術により発熱性の核分裂生成物(FP)を除去することができれば、高レベル廃棄物処分コストは大幅に低下する。

## 発熱性FP (= Sr, Cs)分離の目的

- ・ 廃棄物の減容
  - ・ 発熱性廃棄物の集中化
- 廃棄物処分の合理化  
低コスト化

## 技術開発の要件

- ・ 安定化固化につながる分離法





# 分離・変換に関わる基礎・基盤研究

## [主な課題]

### ・分離技術

(1) 化学的性質が互いに酷似するマイナーアクチノイド(Am, Cm)と希土類元素FPの経済的な分離

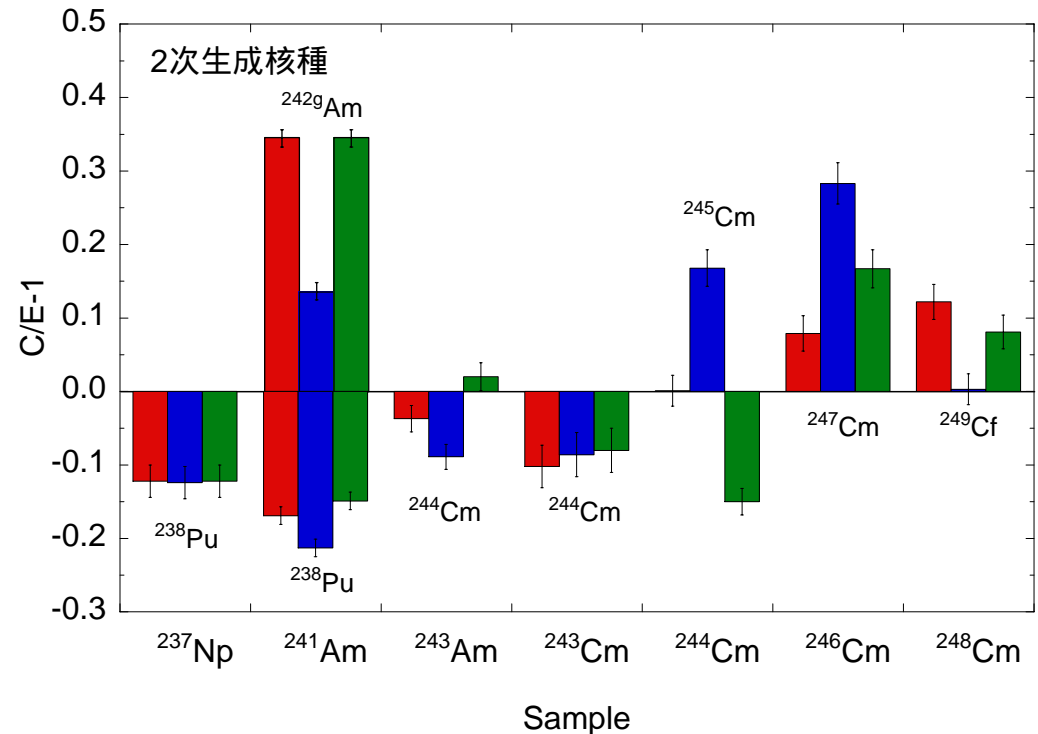
(2) Sr, Csの経済的な分離、貯蔵技術の開発が重点課題。抽出剤分子設計レベルからの基礎研究の積み上げが必要

### ・核データ

マイナーアクチノイドの核データの誤差は現状で極めて大きい(図)

### ・超ウラン元素取り扱い

大きなアルファ崩壊熱、自発核分裂等による高速中性子に対処できる加工・再処理技術開発。そのための基礎物性データ拡充。

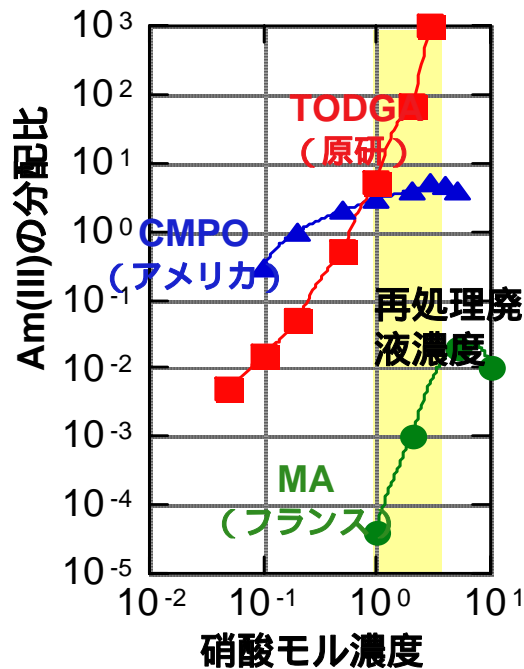


高速炉でマイナーアクチノイドを照射したとき、2次生成核種(照射によって生成された核種)の計算値(C)と実測値(E)の比。色分けは主要な断面積データ・ライブラリによる予測値の違い。  
JENDL-3.3(日本), ENDF/B-VI(米), JEFF-3.0(欧)

# 核種分離のための新しい抽出剤の探索

マイナー・アクチノイドと核分裂生成物のうちの希土類(ランタン、ネオジム等)とは化学的性質が極めて近くて、経済的に分離することは極めて難しい。発熱性核種のストロンチウムやセシウム of 効率的な分離法も探索段階。基礎研究によるブレークスルーが最も望まれる分野。

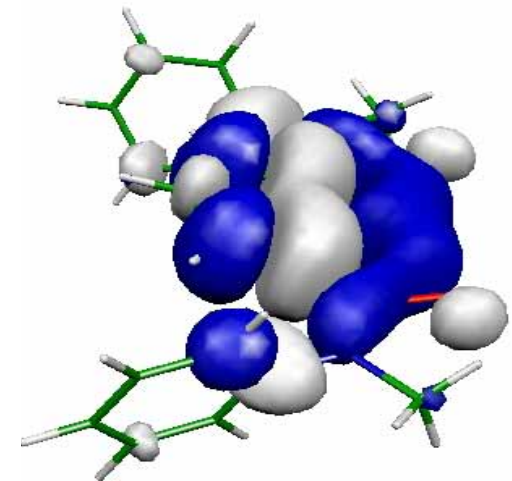
量子ビームによる最先端分析技術と計算科学による分子設計との組み合わせにより、マイナー・アクチノイドを経済的に分離・抽出するための試薬を開発。



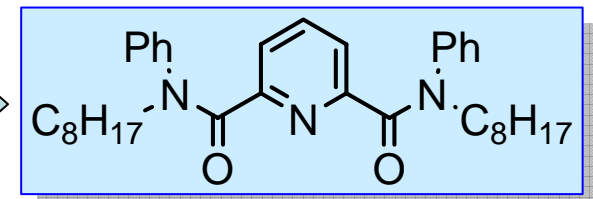
**TODGA: 超ウラン元素や発熱性核分裂生成物のストロンチウム(Sr)を強力に抽出**

マイナー・アクチノイドと希土類との分離のための新抽出剤開発

放射光を利用した構造の確認・決定



計算科学による試薬分子中の電子の分布の評価



アクチノイド用抽出剤の分離性能比較



# 放射性廃棄物を資源に変える放射線触媒反応の研究

## (例) 6価クロムの無毒化

ありふれた酸化物を触媒としてガンマ線（電子線）を照射するだけで、6価クロムを還元し、強磁性体等の原材料となる4価クロムや3価クロムの固体として回収

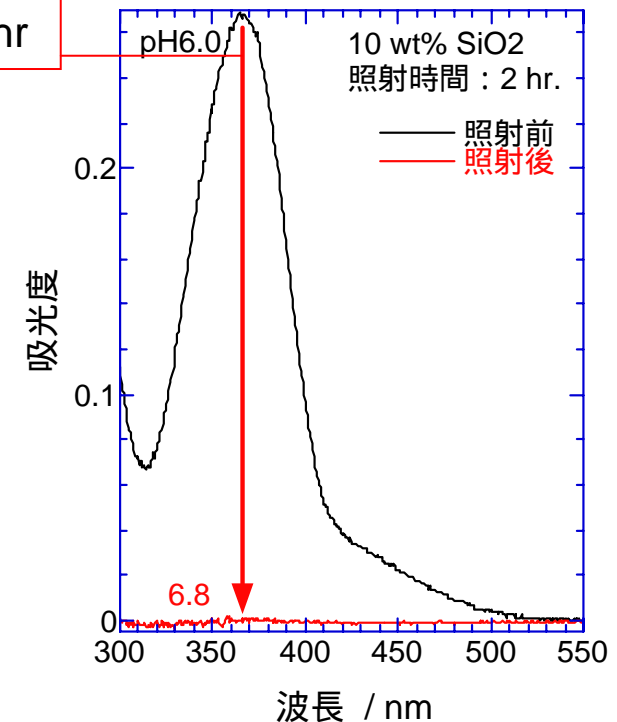
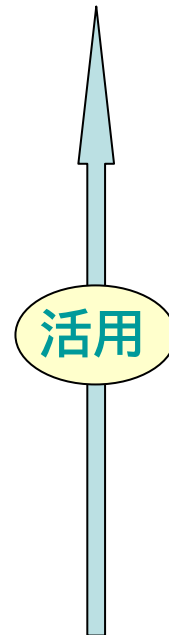
照射：高崎研コバルト照射施設

- 吸収線量率：9-17 kGy/hr

### 水溶液中のクロムのICP測定結果

	水溶液中に共存する固体の種類				
	ナシ	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
照射前のクロム濃度	4.7				
照射後のクロム濃度	4.4	0.05	0.21	2.1	<0.03

6価クロムの排出基準：0.5 ppm(水質汚濁防止法)  
0.05 ppm(環境基本法)



6価クロムの濃度測定結果の照射前後の変化

100万kWe原発からのFP's (冷却期間2.5年)

Cs-137 ( $T_{1/2}=30\text{yr}$ ) 約30kg(250万Ci)

Sr-90 ( $T_{1/2}=29\text{yr}$ ) 約12kg(170万Ci)

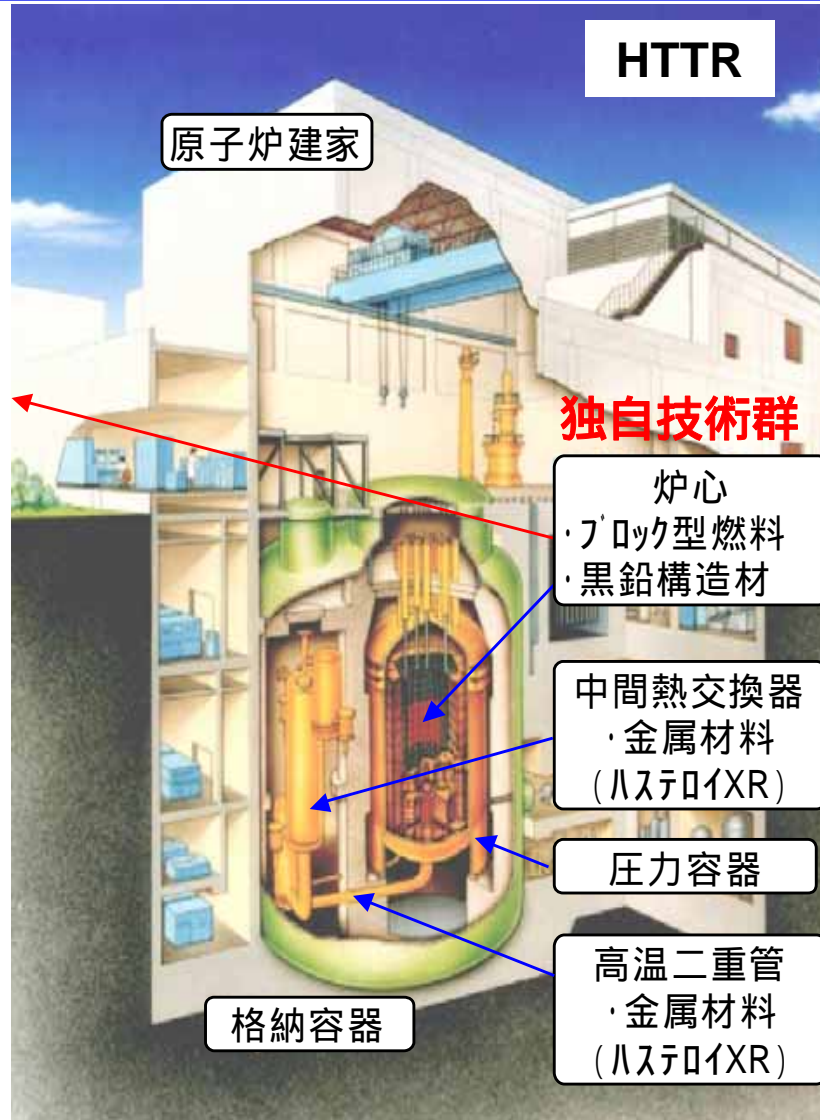
# 安全性の高い次世代原子炉の開発

## - 高温ガス炉 -

### 高温ガス炉

高い自己制御性を持ち、かつ原子炉压力容器からの放熱で十分崩壊熱を除去できるという、安全上、優れた原子炉特性を持つ。

冷却材の大量に漏れる**減圧事故**の場合も、燃料の最高温度は、原子炉の自己制御性により初期温度を上回ることなく低下し安定します。また、異常時の温度変化は緩慢であり運転員が余裕を持って異常状態に対処することが可能



出力	30 MW
冷却材	ヘリウムガス
入口温度	395
最高出口温度	950
圧力	40 気圧

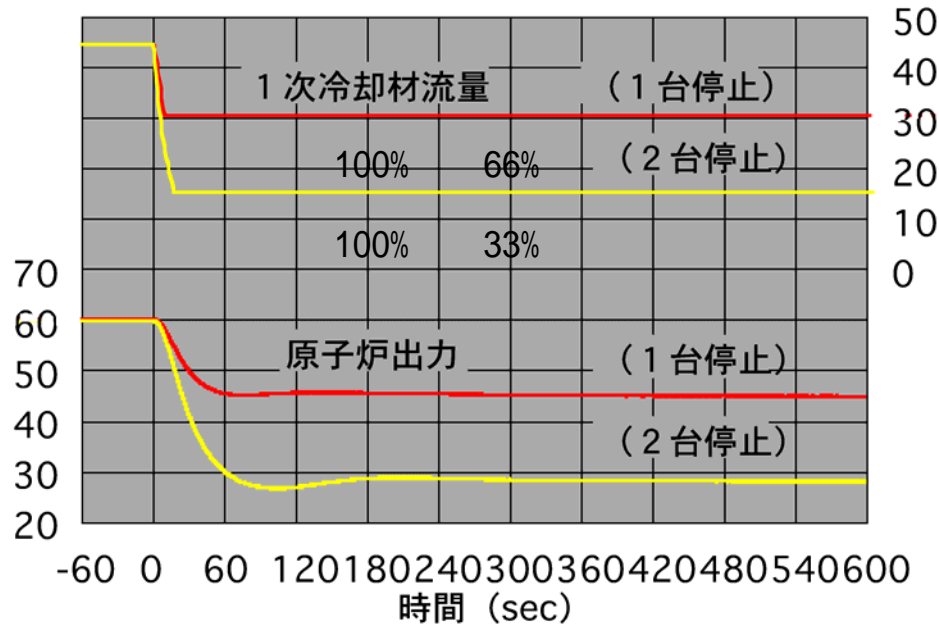
### 経緯

着工	平成3年
初臨界	平成10年11月
最大熱出力	30MW、平成13年12月

**世界初**  
取り出しガス温度950  
平成16年4月

# 高温ガス炉の高い安全性

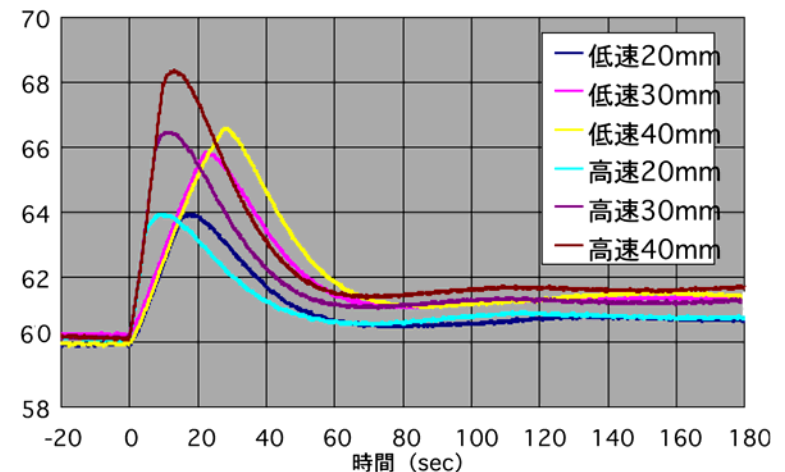
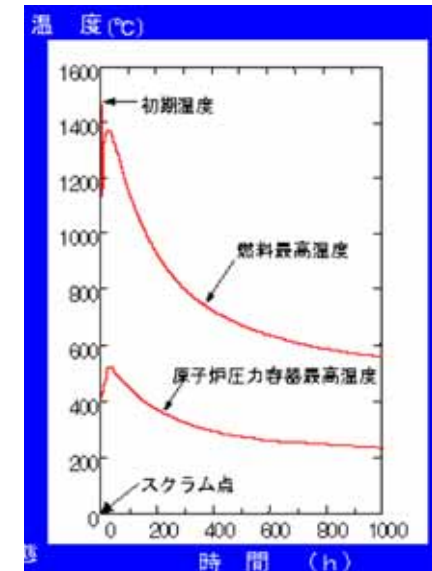
HTTRでは高温ガス炉の固有の安全性を確かめる各種試験を実施。



ヘリウム循環機部分停止の結果

炉心の冷却に用いるヘリウムガスの流量が急速に低下した場合においても、原子炉出力は、冷却材流量の低下に応じて自然に低下し、原子炉を停止することなく炉心温度の大きな上昇を避けられる（炉心溶融事故のない原子炉）

冷却材のヘリウムが大量にもれる減圧事故は実験はできないが、燃料温度低下は解析で確認。解析の確かさは他の各種試験で検証。



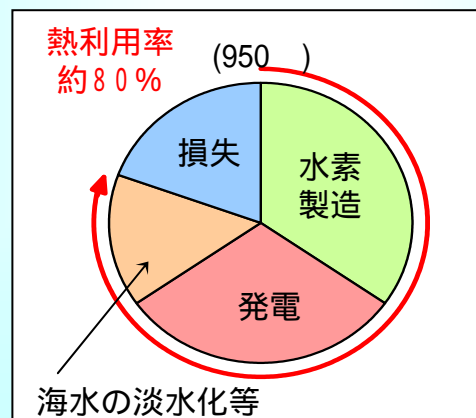
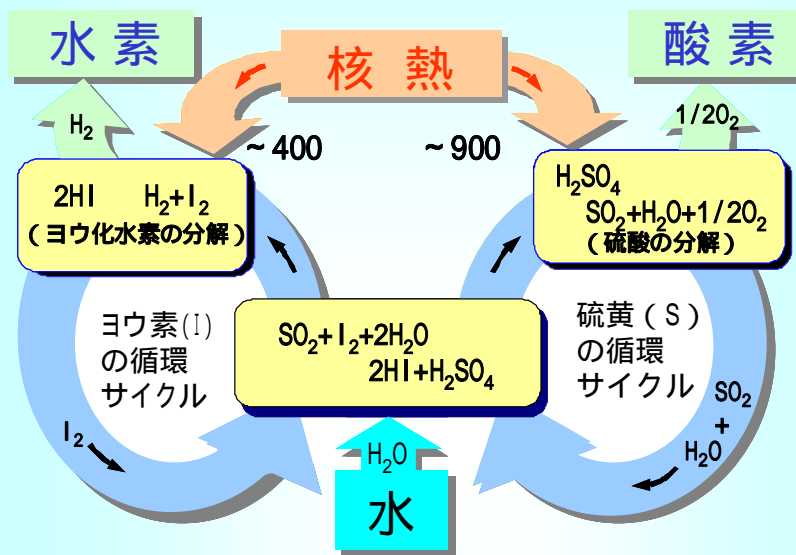
制御棒引き抜き事故を模擬した試験：出力が自動的に低下する

燃料による核分裂生成物の閉じ込め性能が極めて高い 格納容器への要求が低い

# 原子力による水素製造・利用技術の開発

## 水から水素を取り出す 熱化学法ISプロセス

### ISプロセスの概要



毎時31リットルで175時間連続して  
水素発生に成功  
(平成16年6月)

### 課題

- 実用材料容器における試験
  - 高圧・高温に耐える実用材料を用いた水素製造試験。

### ■ 高耐食材料の開発試験

- 強腐食性のISプロセス環境に耐える装置材料を開発、試験(SiCセラミック)。

### ■ プロセス高効率化の研究

- 高崎研で開発を進めているフッ素系分離膜等を用い、40%台の水素製造効率の達成を目指す。

# 原子力による水素エネルギー利用システム

水素利用社会の実現には、水素製造・供給インフラや燃料電池等の性能・経済性の向上が課題。

中性子を利用した物質科学  
中性子により固体中の水素を「見る」

## 放射線による電解質膜開発

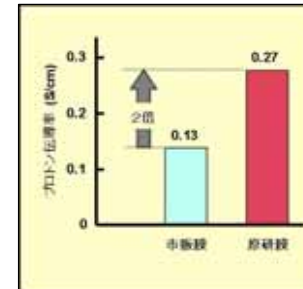


高温ガス炉

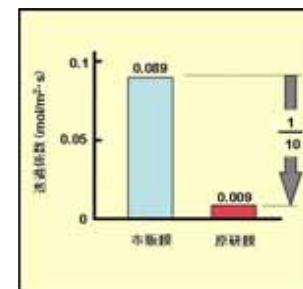
水素吸蔵材料開発

貯蔵・輸送

燃料電池



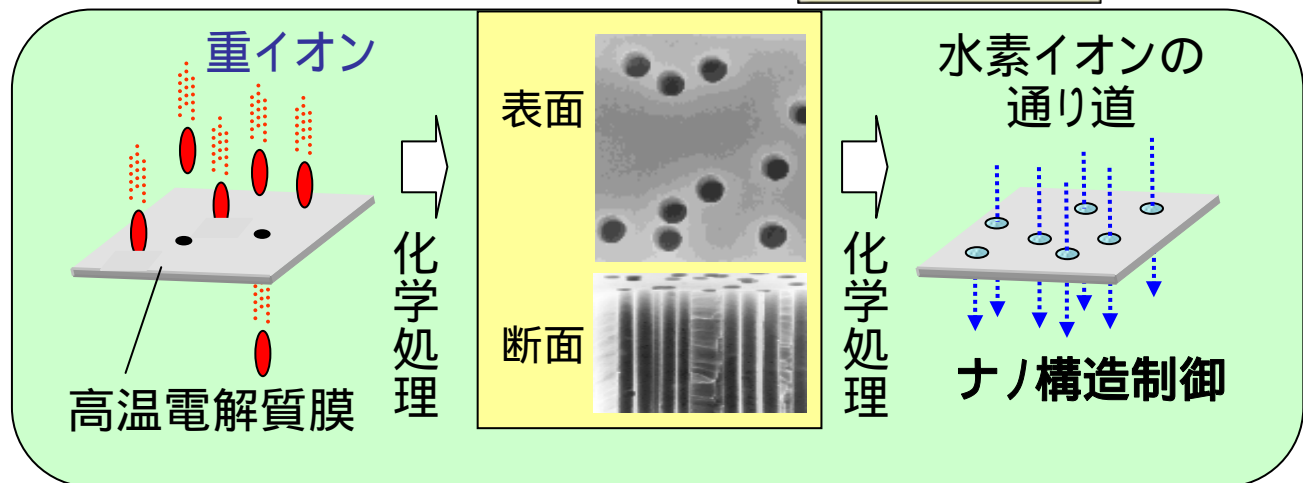
燃料電池用電解質膜(厚さ 50 μm)の導電性  
(80%、相対湿度95%条)



燃料電池用電解質膜のメタノール透過性  
(30 vol%メタノールを含む水溶液中、温度60℃)

### 原研での研究開発

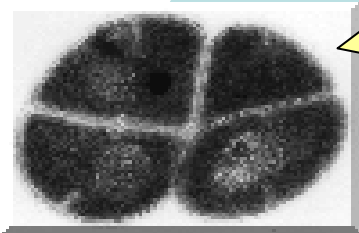
- ・PTFEの放射線加工による高温電解質膜を開発
- ・イオンビームを用いて高イオン導電性電解質膜を開発





# 放射線影響から修復の可能性を探る研究開発

耐放射線性に関する研究  
(放射線科学)



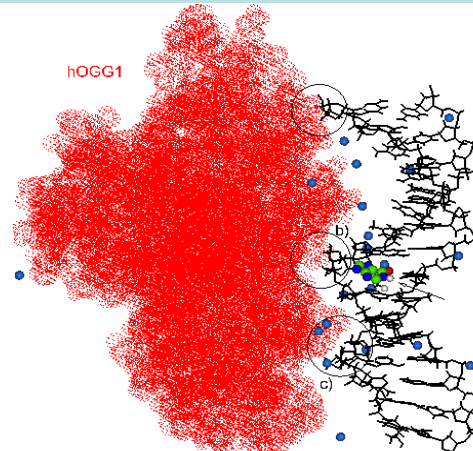
人細胞の1000倍  
の放射線耐性

放射線抵抗性細菌

(*Deinococcus radiodurans*:DR)

DNA修復タンパク質(遺伝子)PprA 発見  
切断部位を選択的に認識して結合させる  
タンパク質RecAの作用を活性化

DNA修復過程のシミュレーション  
(計算科学 + 保健物理研究)



損傷によりDNAの立体構造が変化し、静電エネルギーの微少な変化が起こり、この変化を修復遺伝子が認識し、損傷DNAの結合し、修復することを解明

修復遺伝子候補の選択  
(計算科学 + 生命科学)

DRゲノムデータ(300万塩基)から  
修復遺伝子DR1208,DR2199遺伝子同定

安全規制における線量評価法の信頼性向上  
放射線影響修復タンパク質(酵素)の開発

DNA修復反応促進タンパク質  
(DNAクローニング試薬として製品開発中)



# 新時代に向けての課題

- 産業界との連携強化
- 施設基盤の維持
- 人材基盤強化と流動性の拡大

# 産業界との連携強化の必要性

## 産業の構造変化と国際競争力

- 産業の知的集約化

→ 効率向上

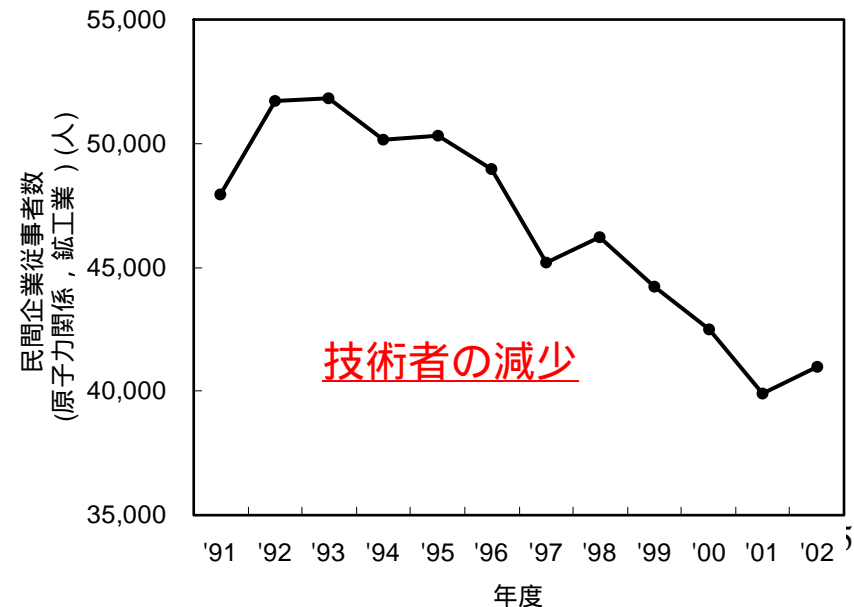
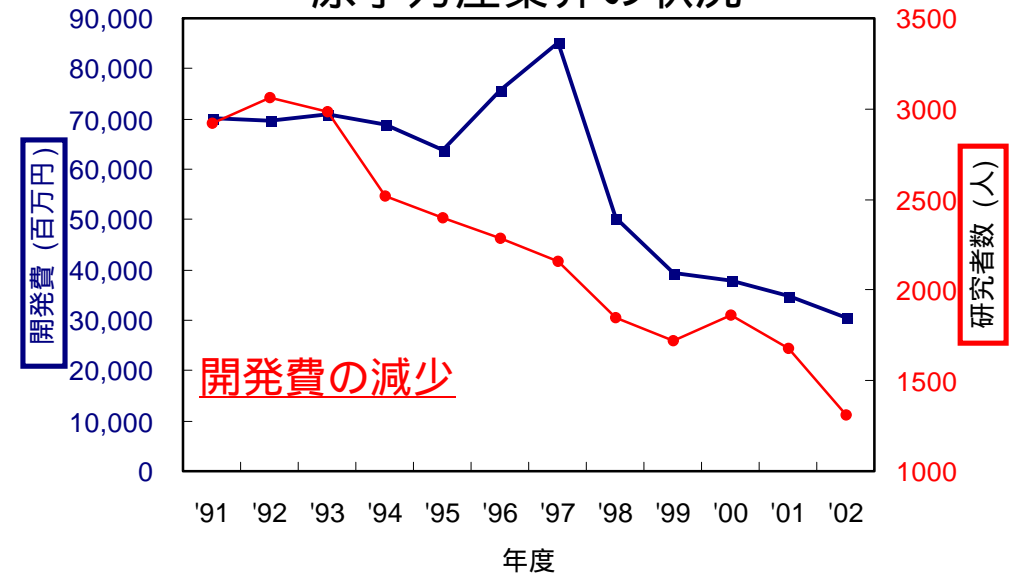
- 安全性と経済競争力向上

- 国の役割

産官、官官を超えた協調の枠組み形成

原子力技術基盤(人材、開発試験施設、データベースを含む知的集約インフラ)の維持、提供。

### 原子力産業界の状況



# 施設基盤の維持

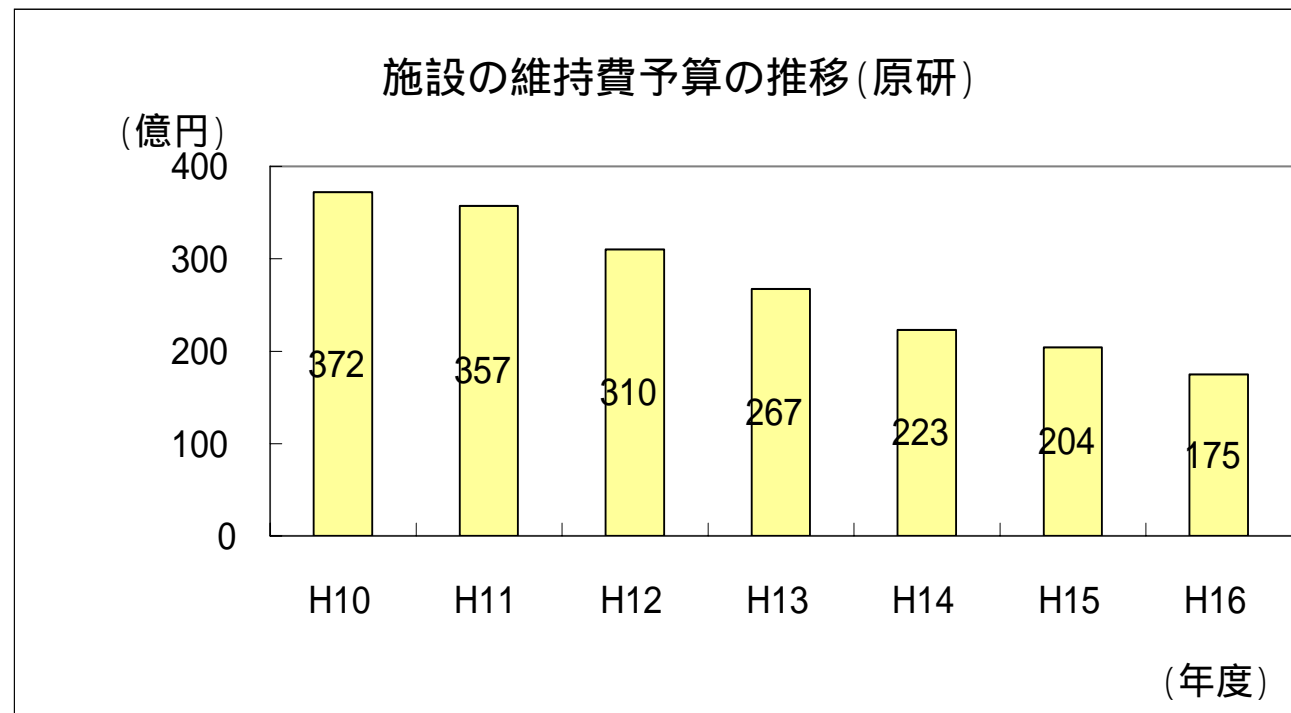
- ・独立行政法人としての研究機関は基本的に国からの運営費交付金によって運営。
- ・運営費交付金から研究費、施設維持管理費、人件費を支出。施設維持管理費を始めとする固定的経費については極力削減。
- ・独法としての自身の研究開発成果の最大化を図りつつ、大型施設の維持管理とそれらの産学への共用を進めて行くことの困難。

原子力産業界の事業環境の変化や大学の国立大学法人化という背景も踏まえ、国の公共財として保持しておくべき原子力研究施設について位置づけの明確化が必要。

## 原研の研究施設維持費

施設維持費は最近6年間で半減。選択と集中により多くの施設を廃止・停止してきたが、必要な施設の維持が困難になってきている。

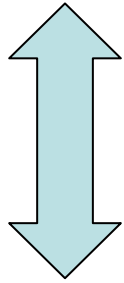
併せて若手技術者の確保と技術継承も課題。



# 人材基盤強化と流動性の拡大

## 原子力の革新と持続的な発展のための重要課題

- ・技術基盤の継承
- ・優秀な人材の確保
- ・大学との連携・協力  
(教育基盤施設維持)

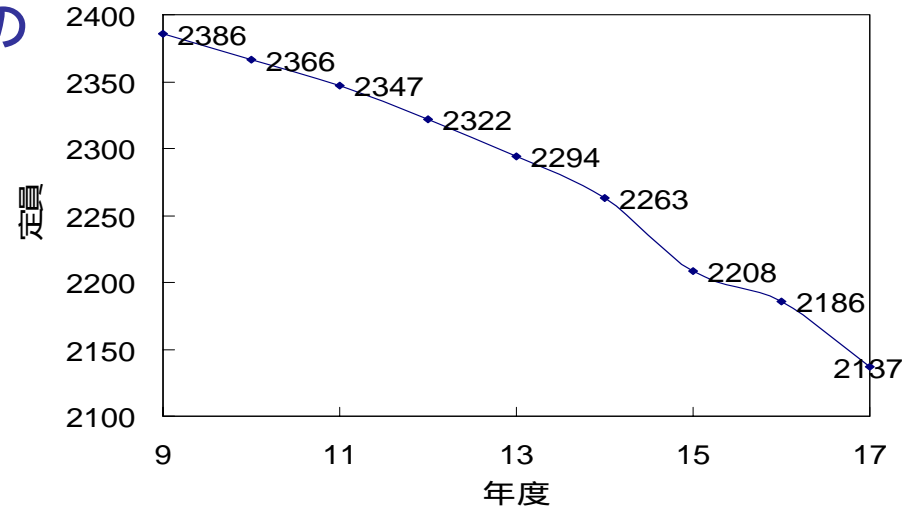


整合性？

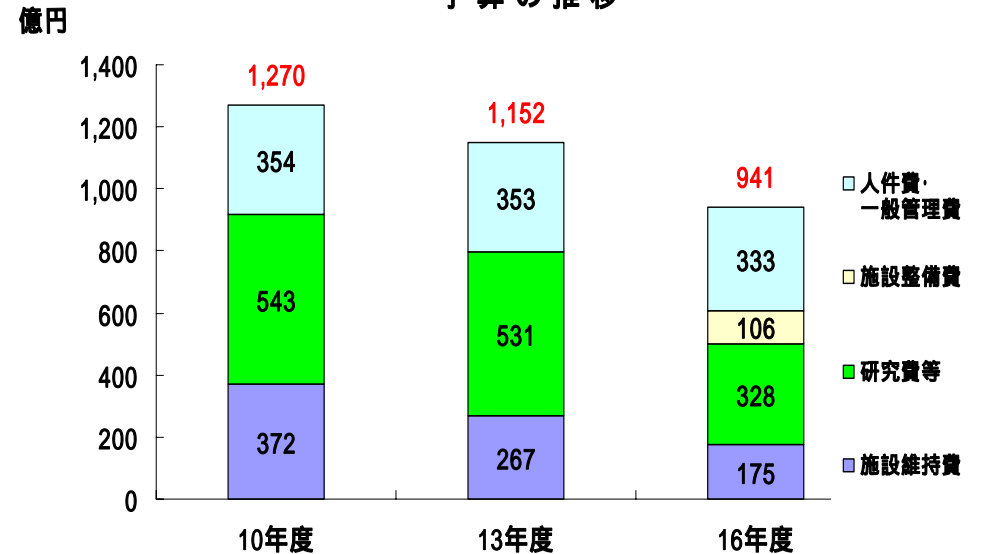
## 急激な予算と人員削減の影響

- ・人材の育成、確保が困難  
(アウトソーシングの一層の活用は不可避)
- ・共用施設等の維持が困難

原研の定員の推移



予算の推移



# 終わりに

原子力をめぐる状況の停滞に原子力技術イノベーションの停滞が関与

【米国を革新せよ：米国競争力評議会】

- 冷戦の終結が発見につながる先端的研究への投資削減のきっかけになり、大胆な発見から漸進的な研究へと資源投入の対象をシフト  
発見の最前線に改めて重点を置く、個別分野の研究と分野横断的な研究の融合、学際的研究を支えるインフラの充実などを提言。

我が国の原子力技術は、海外からの導入技術に始まり、発見よりも応用・定着に注力する傾向が維持されてきた。

国際競争力ある原子力技術・産業の育成のためには、原子力分野における革新的・挑戦的な基礎的研究、分野融合・横断的な基盤的研究が極めて重要。