

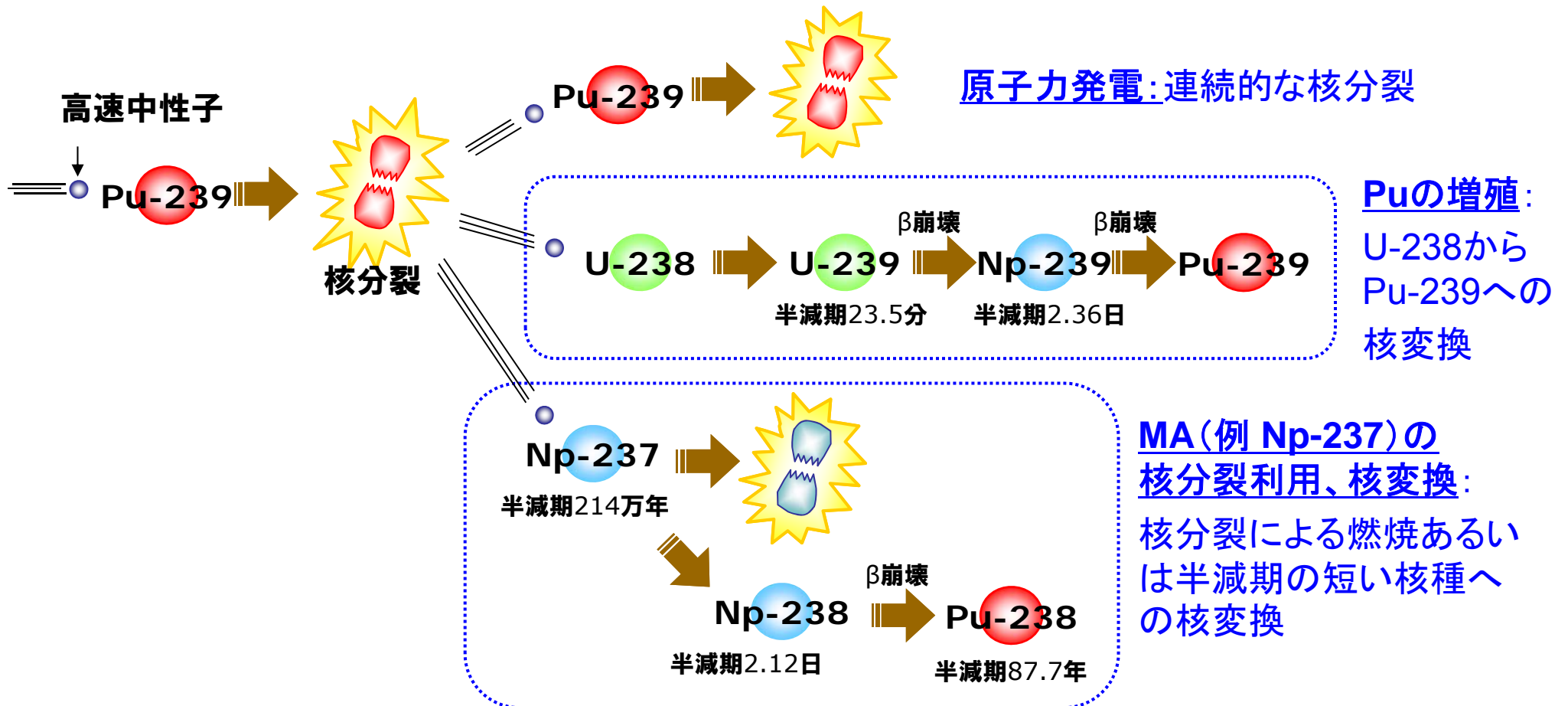


# 高速炉の役割と「もんじゅ」への取り組み

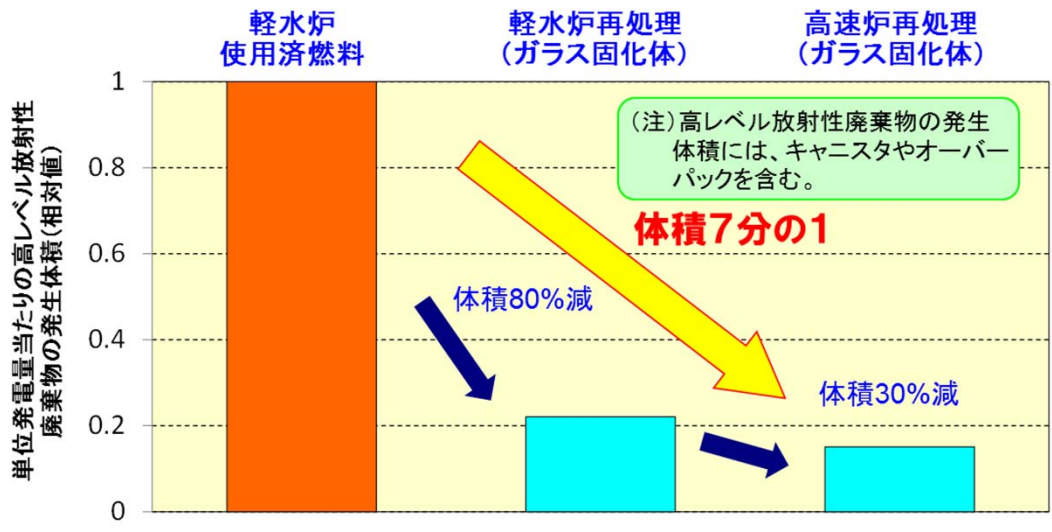
平成26年10月9日

日本原子力研究開発機構  
青砥紀身

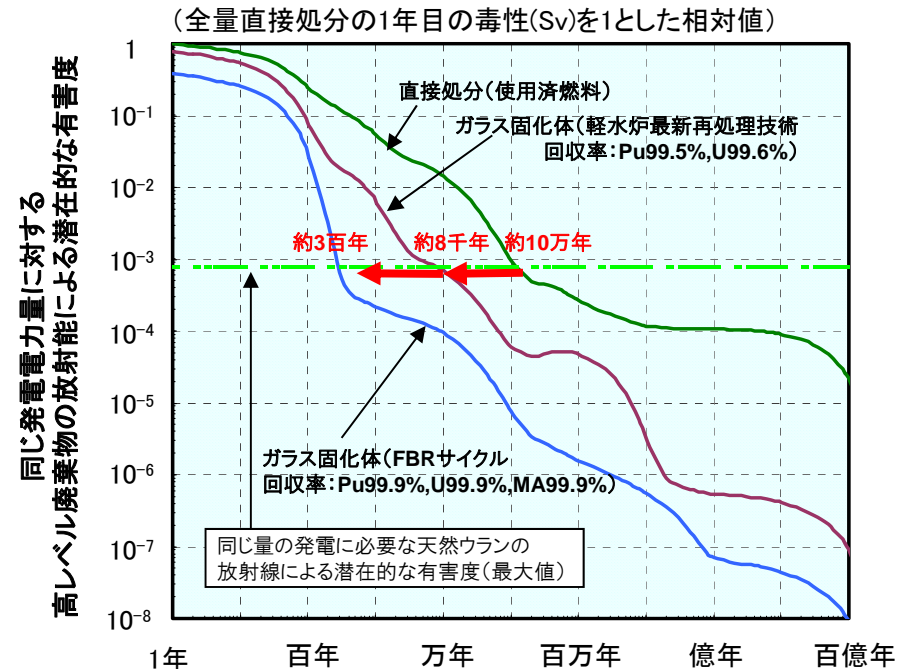
- 核分裂の際に発生する中性子数が多い。
- ウラン(U)、プルトニウム(Pu)及びマイナーアクチニド(MA)の核分裂割合が高い。
- U、Pu、MAを燃料として核分裂を継続しつつ、Puの増殖やMAの核分裂利用、核変換が可能。



- 高速炉サイクルでは、Pu及びMAをサイクルシステムに閉じ込めることにより、システム外に排出する長半減期同位体量が少ないため、廃棄物減容、有害度低減に大きな効果
- 軽水炉燃料直接処分と高速炉サイクルのガラス固化処分の比較
  - 高レベル放射性廃棄物発生量低減
  - 高レベル放射性廃棄物の廃棄体定置面積低減
  - 高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度の低減、継続時間の短縮

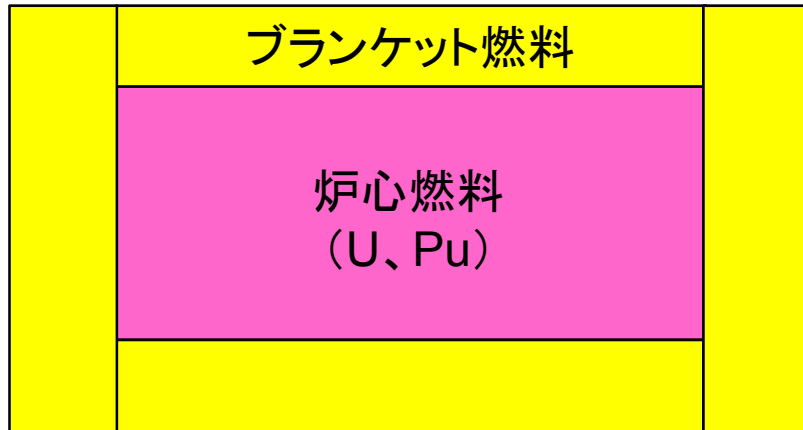


廃棄物発生量の低減



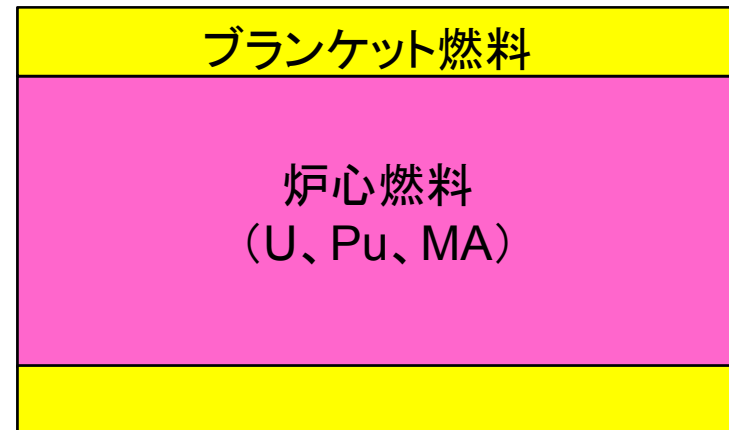
潜在的有害度の継続期間の短縮

- 炉心に装荷する燃料の組成を調節することにより、Puの増殖もMAの核分裂利用、核変換も可能であり、サイクルシステム内のTRU(Pu、MA)の量の調整が可能
  - 炉心燃料の周りにUから成るブランケット燃料を設ける→Pu増殖
  - ブランケット燃料を設けず、炉心燃料のPu濃度を高める→Pu減少
  - 炉心燃料のMA濃度を高める→MA減少



Pu増殖炉の炉心概念

径方向、軸方向にブランケットを設けて、短期間にPuの増殖が可能ないように設計

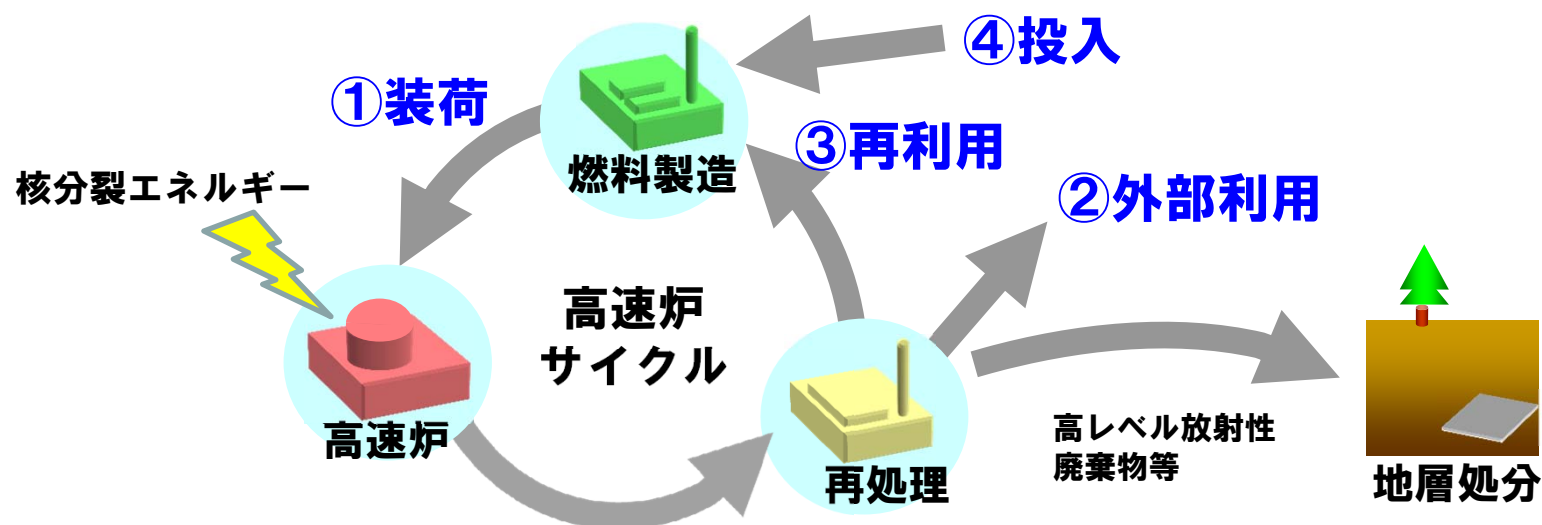


高速炉の炉心概念

目的に応じて、炉心燃料の組成、ブランケットの配置、量を調整  
(ブランケットを設けないこともある。)

代表例(注)	①装荷	②外部利用	③再利用	④投入	意義、ねらい
Pu増殖モード	U、Pu、MA	Pu増加分(発電規模増加に利用)	U減損、Pu装荷分、MA	U減損分	Puストックなしで高速炉発電規模拡大、U資源最大利用
持続モード	U、Pu、MA	なし	U減損 PuとMAは不変	U減損分	U資源を持続的に最大利用、廃棄物の影響最小化
TRU管理モード(1)	U、Pu、MA	なし	U、Pu、MA減少	U、Pu、MA減少分	軽水炉サイクルのTRU量調整、廃棄物の影響低減
TRU管理モード(2)	U、高次化Pu	Pu(軽水炉サイクルで利用)	U、高次化Pu	U減損分、高次化Pu	軽水炉サイクルの高次Pu利用により、Pu量調整

(注) 表中示したサイクルのモード概念は代表例であり、MA循環の有無、循環させるMAの種類等の組合せは他にもあり得る。さらに、長半減期の核分裂生成物(FP)の核変換に利用することも考えられる。



## 開発当初(1966年):Pu増殖モード

- ウラン資源制約回避、エネルギー需要増加対応のため、高速増殖炉を導入
- 官民の総力を挙げた国のプロジェクトとして実施
- 導入に必要なPuを高速増殖炉で生産するため、短期増殖性を指向

## 原子力立国計画(2006年):定常モード(移行期にはPu増殖モードも利用)

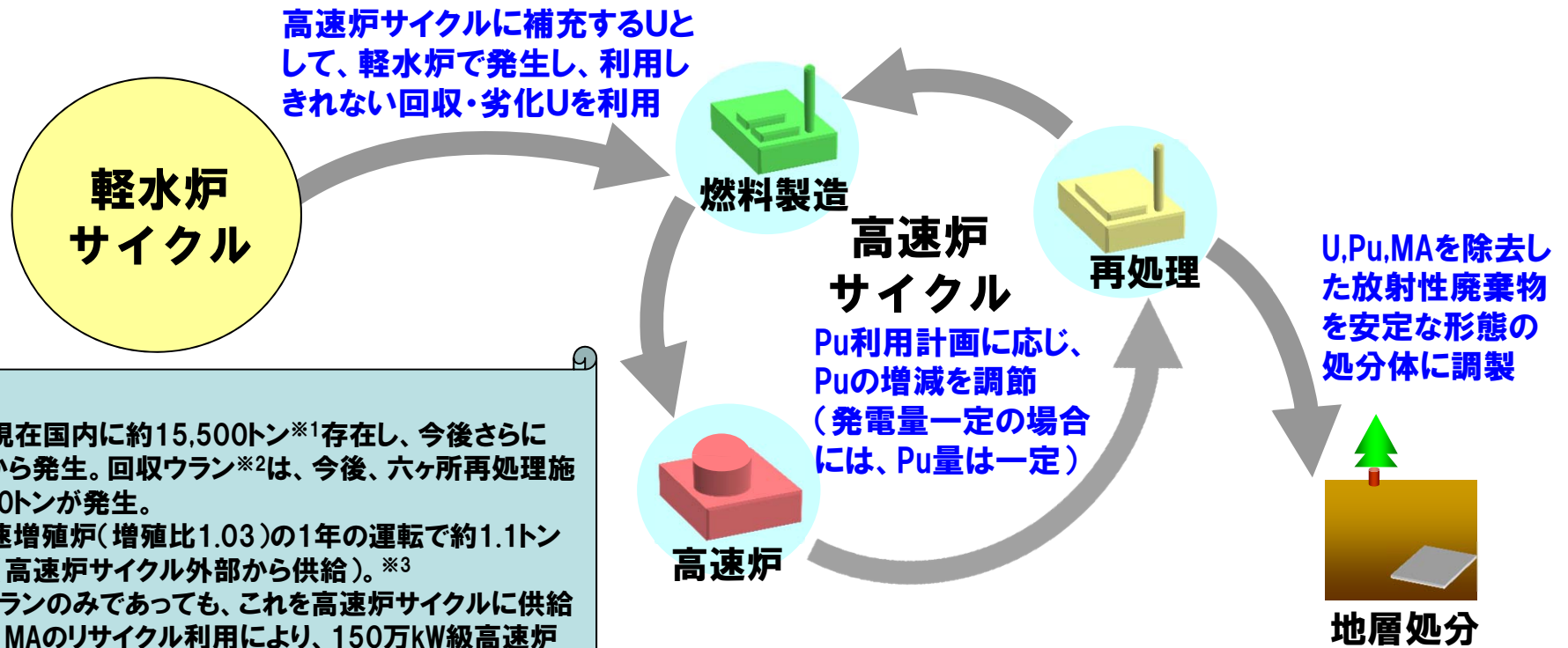
- 2030年以降も、発電電力量の30～40%程度以上の役割を原子力に期待
- 高速炉の2050年の商業ベース導入を目指す(将来のMAリサイクルを想定)
- 移行シナリオ策定(2025年頃実証炉及び関連サイクル施設、2045年頃第2再処理)
- 安全性、経済性、環境影響、資源の利用効率、核拡散抵抗性、軽水炉と高速炉の共生の観点から性能目標を設定

## エネルギー基本計画(2014年):持続モード(将来の持続的エネルギー源)、TRU管理モード(廃棄物減容・有害度低減の可能性追求)

- 原子力は重要なベースロード電源
- 使用済燃料問題解決に向け取組の抜本強化及び廃棄物の減容・有害度低減のための核種変換技術開発を含む総合的推進
- 核燃料サイクルを推進し、もんじゅ研究計画に示された成果とりまとめを目指す
- 核燃料サイクルの中長期的対応には、戦略的柔軟性が必要



- 新たなウラン資源を用いずに、高速炉サイクルシステムで持続的に発電
- Pu, MAのリサイクルにより、廃棄物側への移行量を合理的な範囲で最小化
- 安全性、経済性、核拡散抵抗性など、システム実現に対する要求条件と調和

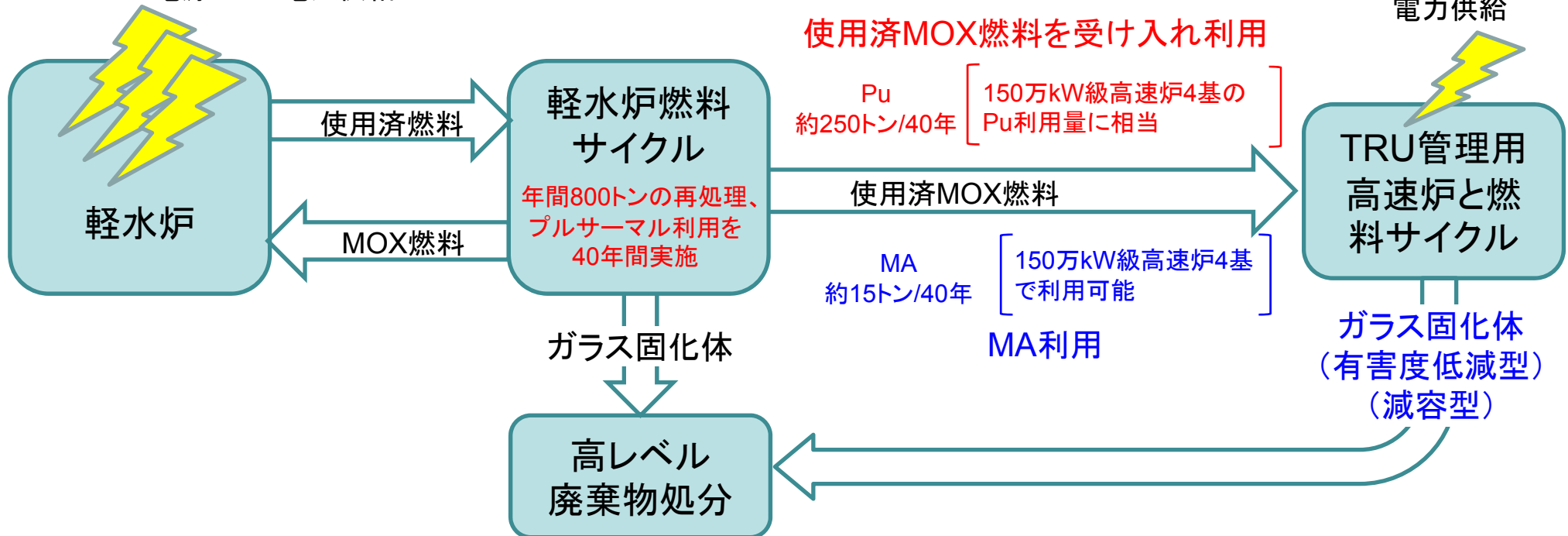


**【諸量の例】**  
 劣化ウランは、現在国内に約15,500トン<sup>※1</sup>存在し、今後さらに国内濃縮施設から発生。回収ウラン<sup>※2</sup>は、今後、六ヶ所再処理施設から約30,000トンが発生。  
 150万kW級高速増殖炉(増殖比1.03)の1年の運転で約1.1トンのウランを利用(高速炉サイクル外部から供給)。<sup>※3</sup>  
 現存する劣化ウランのみであっても、これを高速炉サイクルに供給していけば、Pu、MAのリサイクル利用により、150万kW級高速炉31基を500年以上運転可能。<sup>※3</sup>

※1:劣化ウランは、我が国における平成23年保障措置の実施結果等について、「別紙2:我が国における保障措置に係る核燃料物質量一覧(2011年)」で公表された量(約15,514トン)([http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kaihatu/gensi/hoshou/1324742.html](http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/gensi/hoshou/1324742.html))を使用。  
 ※2:回収ウランは、六ヶ所再処理施設で使用済燃料32,000トンが処理されるとして、回収される量(約30,000トン)を想定。  
 ※3:高速増殖炉の特性データは、「高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会、核燃料サイクル分野の今後の展開について【技術的論点整理】、第28回原子力委員会資料 第1-1号参考2-2(P39)、平成21年7月」を使用。

- TRU管理モード: 高速炉を組み合わせることで、当面の我が国の軽水炉燃料サイクルのTRU管理をより柔軟に実施

ベースロード電源として電力供給

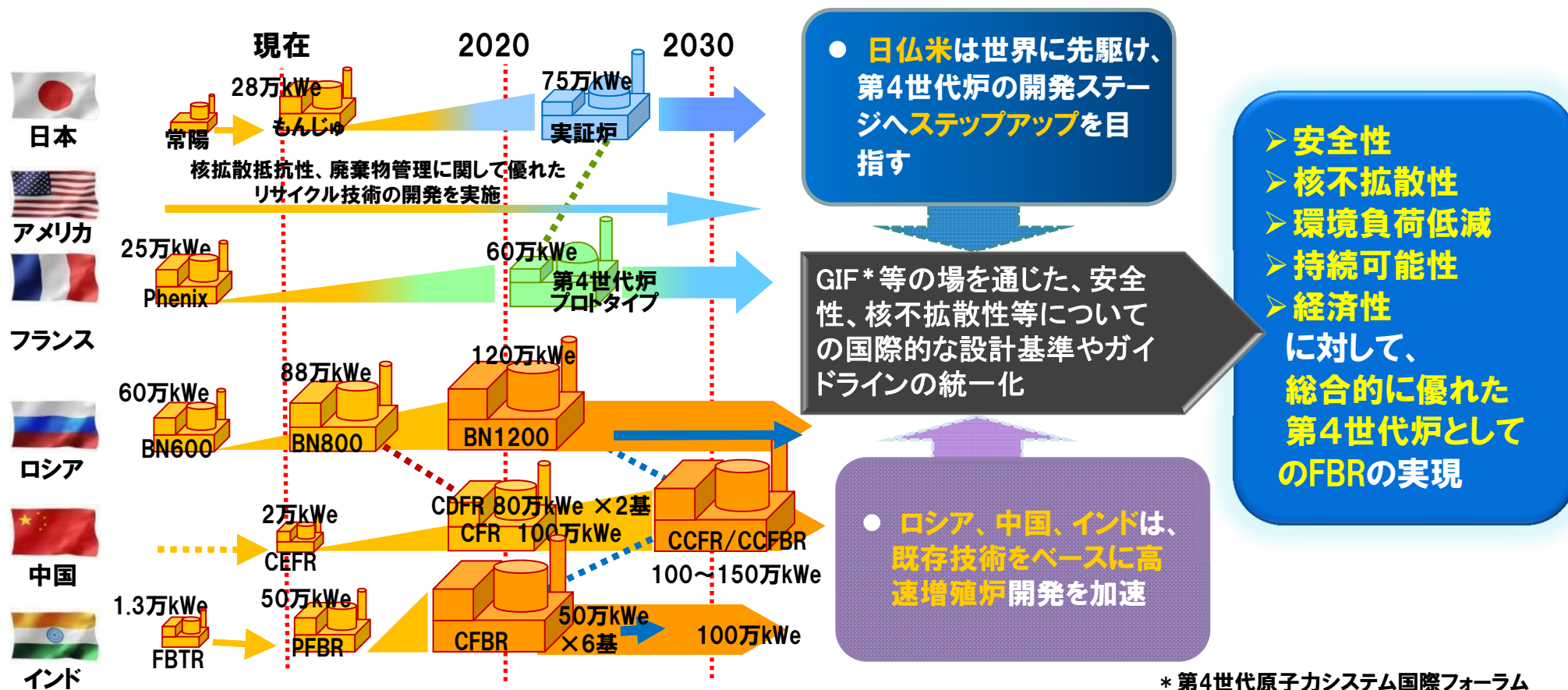


高速炉サイクルによる軽水炉燃料サイクルのTRU管理の一例 (使用済プルサーマル燃料のリサイクル利用するケース)

(出典) 核物質量は、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会原子力科学技術委員会 もんじゅ研究計画作業部会 第10回 資料2をもとに概算。



- ロシア、インド、中国 : 高速炉建設、運転開始が着々と進捗→増殖モード、持続モード
- フランス : 実証炉の開発計画(ASTRID計画)→TRU管理モード、持続モード
- アメリカ : 使用済み燃料の管理方策検討のため、幅広い研究→TRU管理モード



- 高速炉開発を進める各国は、安全性、経済性、環境影響低減、資源利用等の要求を高いレベルで総合的に満足する実用炉の研究開発を進めている。
- 我が国では、エネルギー基本計画を踏まえて、もんじゅ成果とりまとめ、高速炉による廃棄物減容・有害度低減研究及び安全性強化のための研究開発を優先的に実施するとともに、米仏等との国際協力を進めつつ高速炉の開発を行う。

## 世界の高速炉開発動向

### 現状

- Na冷却MOX燃料高速増殖炉の基本技術確立
- プラント運転経験蓄積、性能確認
- 新規計画進捗

### 開発課題

- TRUリサイクル技術
- 安全性に関する国際合意
- 革新技術、革新的プラント概念

### 開発目標(第4世代高速炉)

- ✓ 安全性、経済性、環境影響低減、資源利用等を高いレベルで実現
- ✓ 国情により優先順位は異なる

## 我が国の開発計画

### 高速炉技術開発の現状

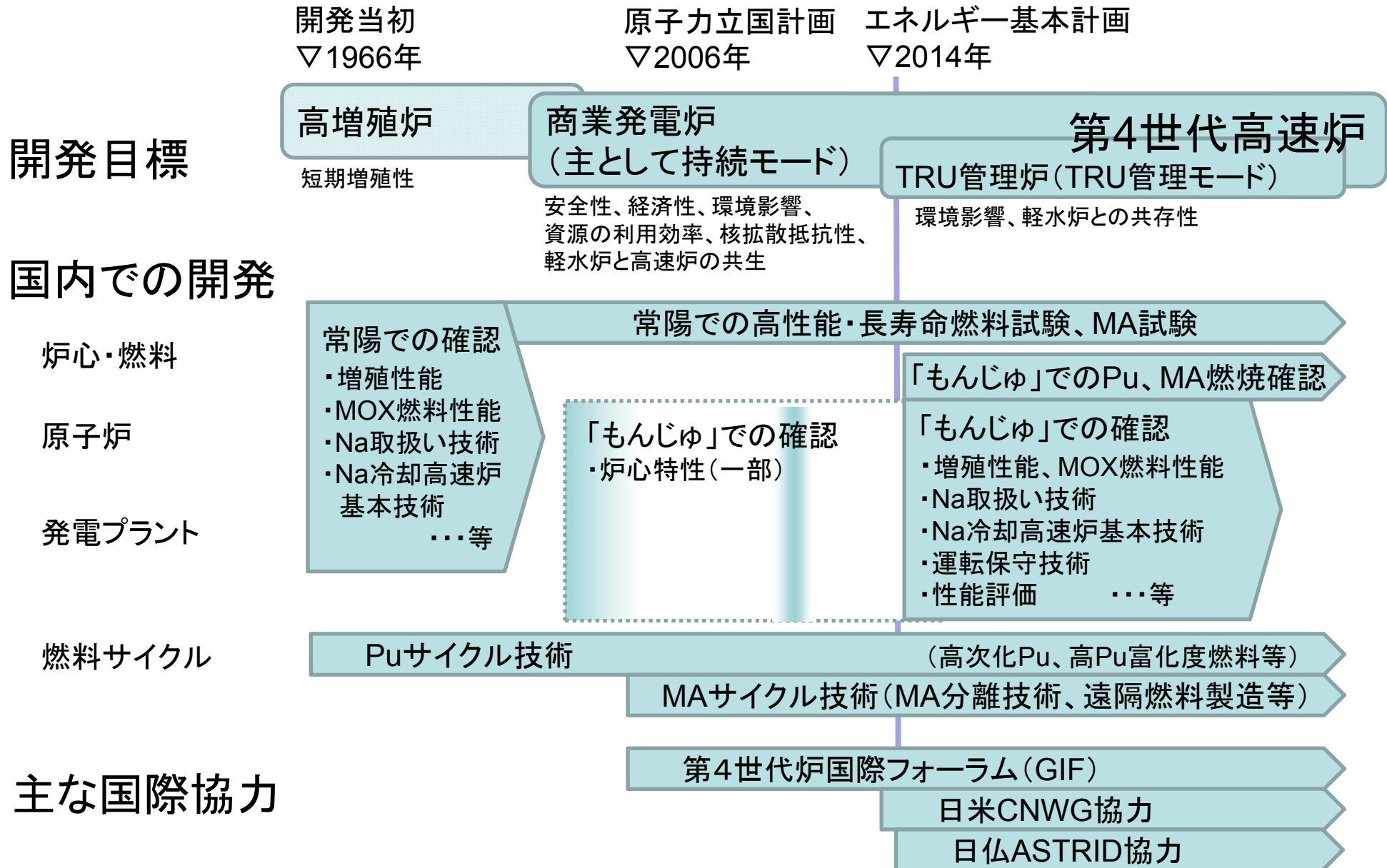
- Na冷却MOX燃料高速増殖炉の基本技術確立
- もんじゅは性能試験実施中に長期停止

### エネルギー基本計画

- 高速増殖炉開発の成果とりまとめ
- 廃棄物減容・有害度低減研究
- 高速炉安全性強化研究
- 国際協力を進めつつ高速炉開発

### 開発のねらい

- ✓ 高速炉の廃棄物減容・有害度低減効果を核燃料サイクル推進、使用済み燃料問題解決に活用
- ✓ 将来の第4世代高速炉開発へ反映



- 「もんじゅ」は、廃棄物の減容・有害度の低減や核不拡散関連技術等の向上のための国際的な研究拠点と位置付け、もんじゅ研究計画に示された研究の成果とりまとめを目指す。(エネルギー基本計画)

中間評価

全体評価

「もんじゅ」の工程

性能試験(40%~100%出力)	定格運転(初期炉心)
性能試験+第1サイクル運転	第2サイクル~第5サイクル運転

研究  
 定格運転(平衡炉心~)  
 第6サイクル~

高速増殖炉開発の成果の取りまとめ

<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 発電システム成立性の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 発電システム信頼性の確認</li> <li>▶ 炉心燃料の信頼性実証</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 供用期間中検査(ISI)技術の開発、実機適用準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ISI技術の実機適用</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 設備点検・故障対応経験を通じた保守管理技術の整備</li> </ul>	

成果の取りまとめ  
 ・長期の本格運転による発電システムの経年特性確認/健全性確認  
 ・ナトリウム大型機器の経年特性/健全性確認

廃棄物の減容・有害度低減

<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Amを多く含んだ初期炉心特性の確認(臨界特性、出力特性等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Am含有初期炉心の燃焼特性確認</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Am,Np含有MOX燃料等の照射試験</li> </ul>	

・高燃焼度燃料の実証  
 ・仏実証炉(ASTRID)初装荷燃料照射試験

高速増殖炉/高速炉システムによる環境負荷低減の有効性の確認

<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ MA含有燃料製造技術開発、MA分離技術開発</li> <li>▶ MA含有燃料ペレットの照射挙動確認(常陽)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 長寿命材料の照射性能確認(常陽)</li> </ul>
--	--

・包括的アクチノイドサイクル国際実証(GACID)試験

高速増殖炉の安全性強化

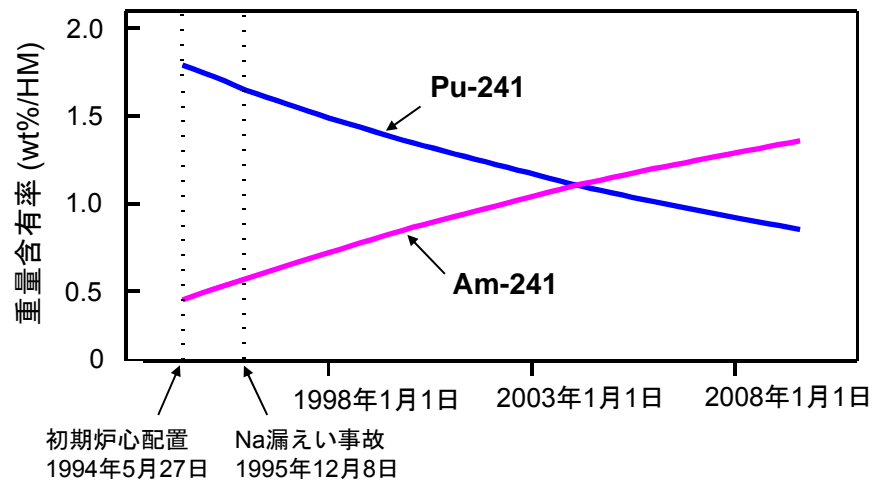
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ SA評価技術の構築と安全性向上策の抽出(自然循環除熱試験)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ SAM策の充実とその実証的な確認や訓練・運用</li> </ul>
---	--

高速増殖炉/高速炉全体の安全技術体系の構築

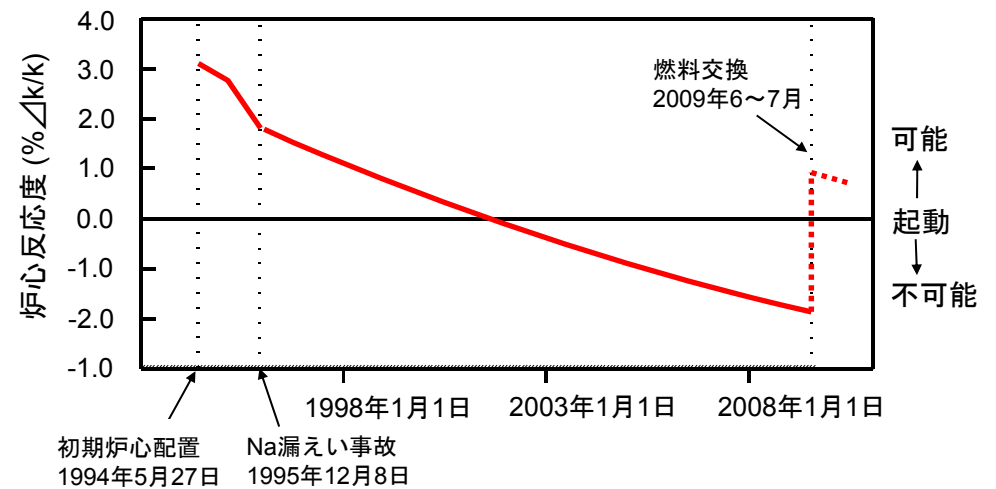
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 国際標準安全設計ガイドライン(SDG)構築、苛酷事故時の安全性確保のための試験</li> </ul>
---

■ :「もんじゅ」で実施  
 赤字:国際協力で実施またはその可能性あり

- 「もんじゅ」炉心には、長期停止期間中にMAの主要な元素であるAmが蓄積
- 2010年の性能試験において、平均1.5%のAmを含む高速炉炉心のゼロ出力臨界状態での核特性データを確認
- 今後の試験において、出力運転状態でのAmを含む実規模炉心の核特性、燃焼特性データを取得



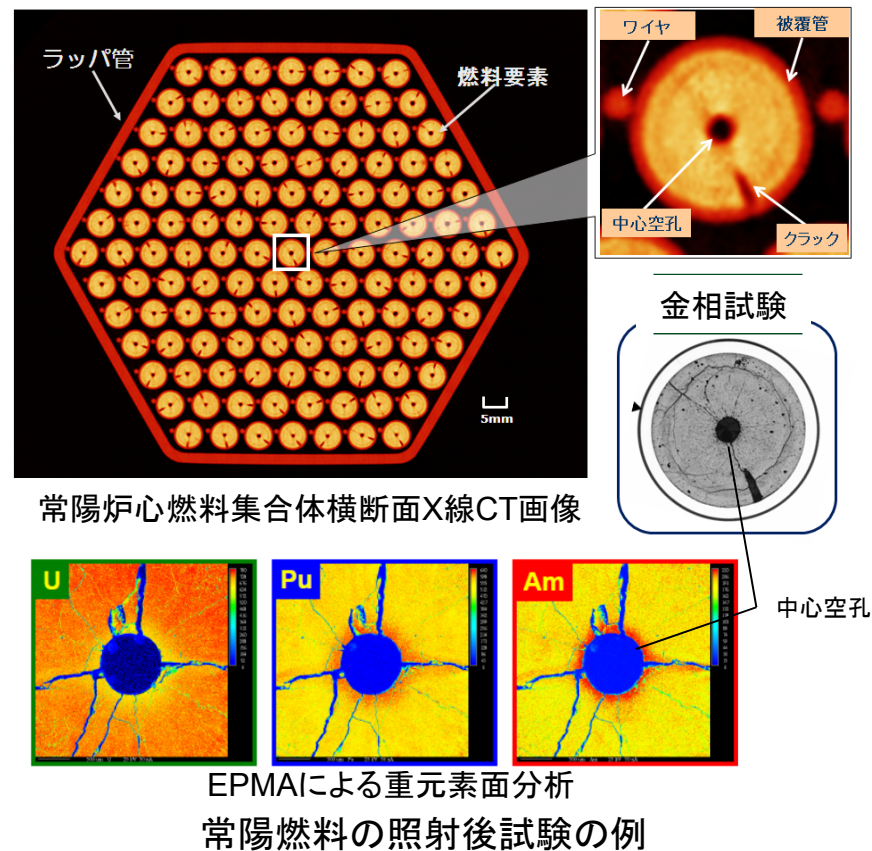
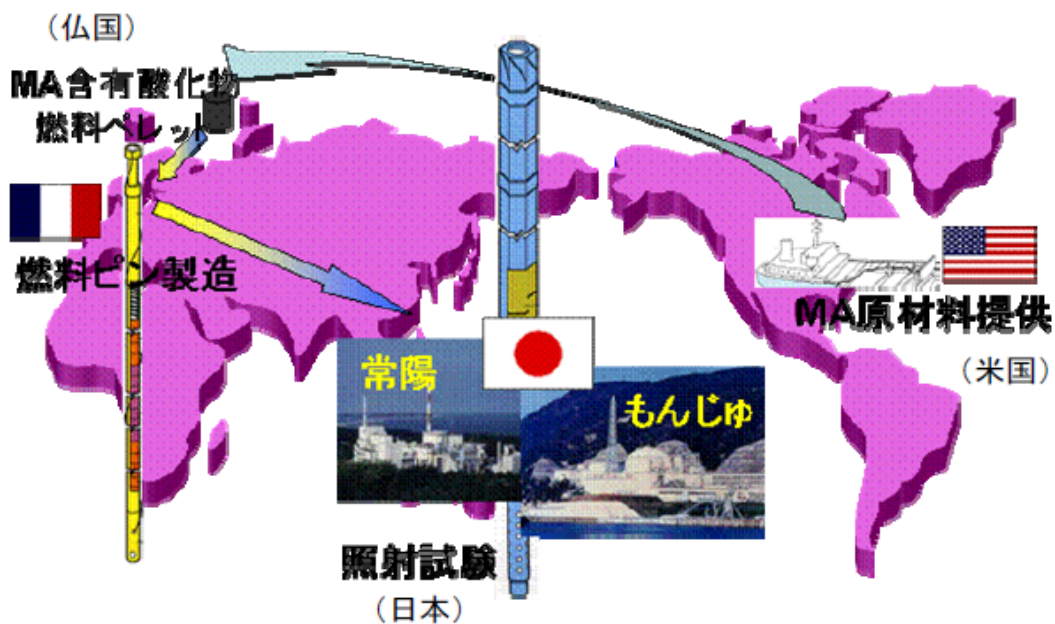
Pu-241のベータ崩壊によるAm-241の生成



炉心反応度(180 °Cの状態に換算)

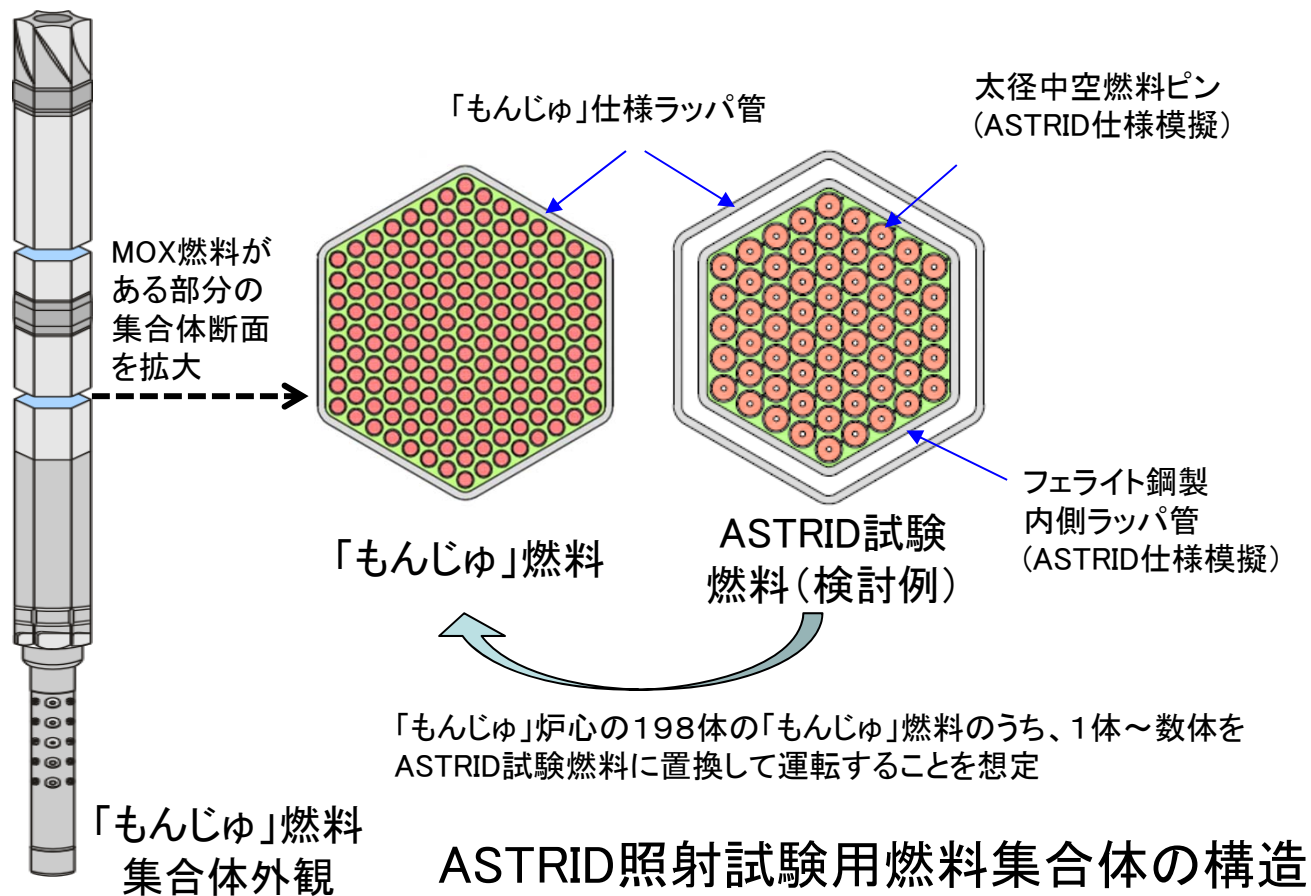


- 「もんじゅ」は実規模の燃料照射が行える世界唯一の高速炉
- 日本国内にMA含有MOX燃料の製造、照射後の試験施設完備
- 国際協力による照射試験計画の検討
  - 日米仏協力によるMA含有燃料の照射試験(GACID計画)
  - 日米協力によるMA含有燃料試験



GACID (Global Actinide Cycle International Demonstration) 計画

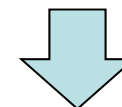
- フランスCEAは、ASTRID用燃料を模擬したMOX燃料集合体を照射し、設計の妥当性、性能を確認する試験を「もんじゅ」で実施したいとの希望を表明
- 「もんじゅ」で実施可能な試験の内容についての検討をフランスCEAと共同で進め、将来の実施可能性について評価



## 照射試験



高速増殖原型炉「もんじゅ」(敦賀)



## 照射後試験 (PIE)



照射燃料集合体試験施設 (大洗)



- 高速炉はU、Pu及びMAを原子炉燃料の原料として利用できる優れた核特性を有し、Pu及びMAのリサイクルを可能とする技術を開発することにより、U資源利用率の大幅な向上とともに廃棄物減容・有害度低減に大きく貢献できる可能性がある。
- この特性を活かして安全性、経済性、環境負荷低減等、持続的エネルギー供給原子力システムとして求められる要求を高いレベルで満足する第4世代高速炉の開発が各国で着々と進められている。
- エネルギー基本計画においては、米仏等との国際協力を進めつつ高速炉の開発に取り組むとともに、「もんじゅ研究計画」に示された高速増殖炉開発の成果とりまとめ、廃棄物減容・有害度低減研究、安全性強化研究を行うこととされている。
- これらにより、高速炉による廃棄物減容・有害度低減の効果と実現性を明らかにして、我が国の核燃料サイクル推進及び使用済燃料問題の解決に貢献するとともに、将来の第4世代高速炉開発に反映可能な成果が得られると期待できる。
- 「もんじゅ」はその研究開発の要であり、MAの主要元素であるAmを多く含有するMOX炉心の特性確認やAm含有MOX燃料の照射試験を実施し、高速炉でのMAリサイクルの積分的な実証データを取得する計画である。
- 「もんじゅ」は世界的にも貴重な高速中性子の照射場として国際研究拠点としての期待も高く、そのミッションと期待に応えるべく、JAEAとして最大限努力する所存。