

# 金属燃料高速炉による放射性廃棄物の消滅処理

国際シンポジウム

「放射性廃棄物低減に向けた現状と将来の展望」

～ゼロリリースを目指して～

於：東京・タワーホール船堀

有江和夫

(株) 東芝 電力システム社

原子力開発設計部、担当部長

2014年 10月 9、10日

# 原子力の廃棄物問題とは？

---

原子力における最大の廃棄物問題

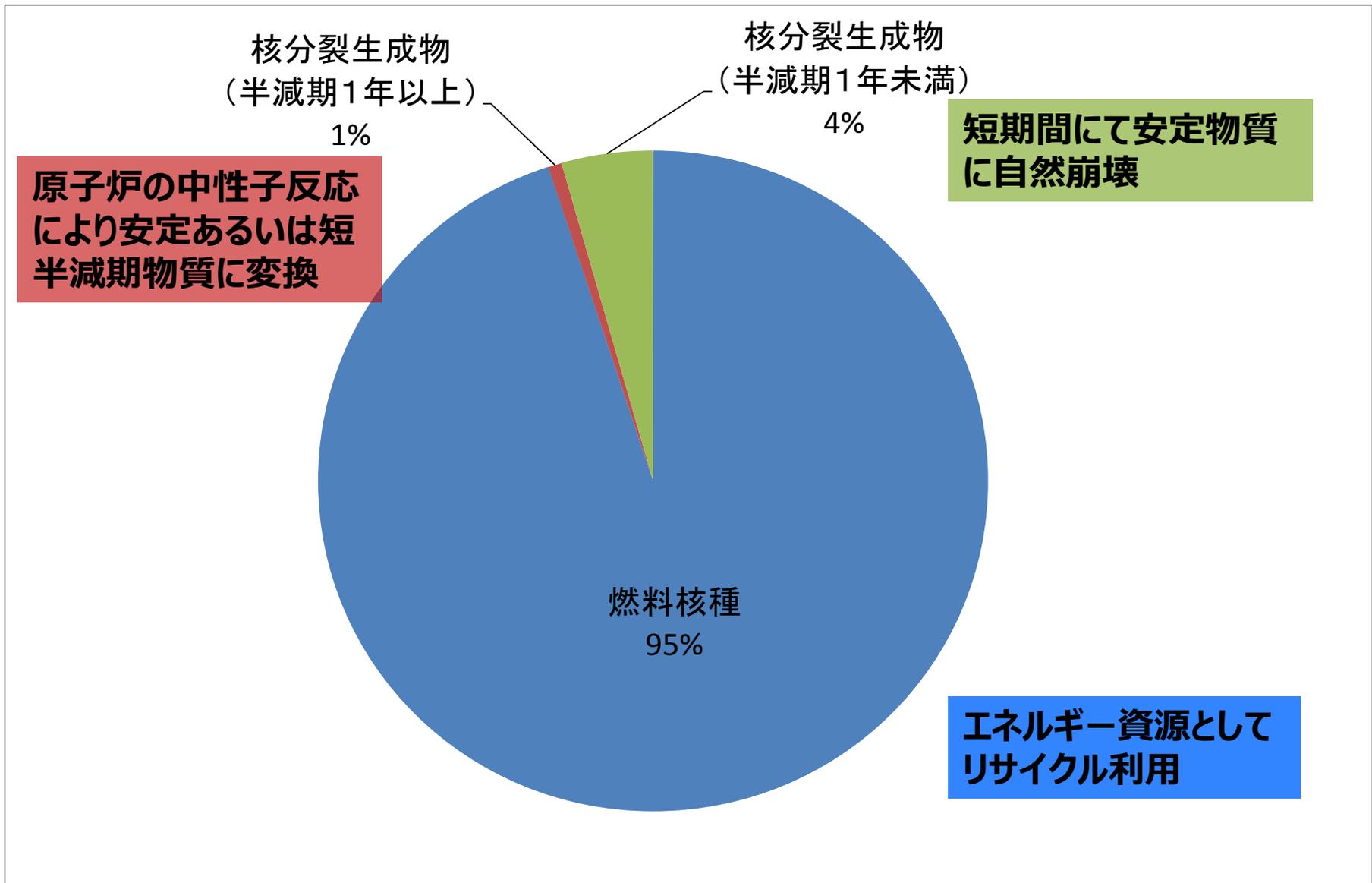


高レベル放射性廃棄物の処分

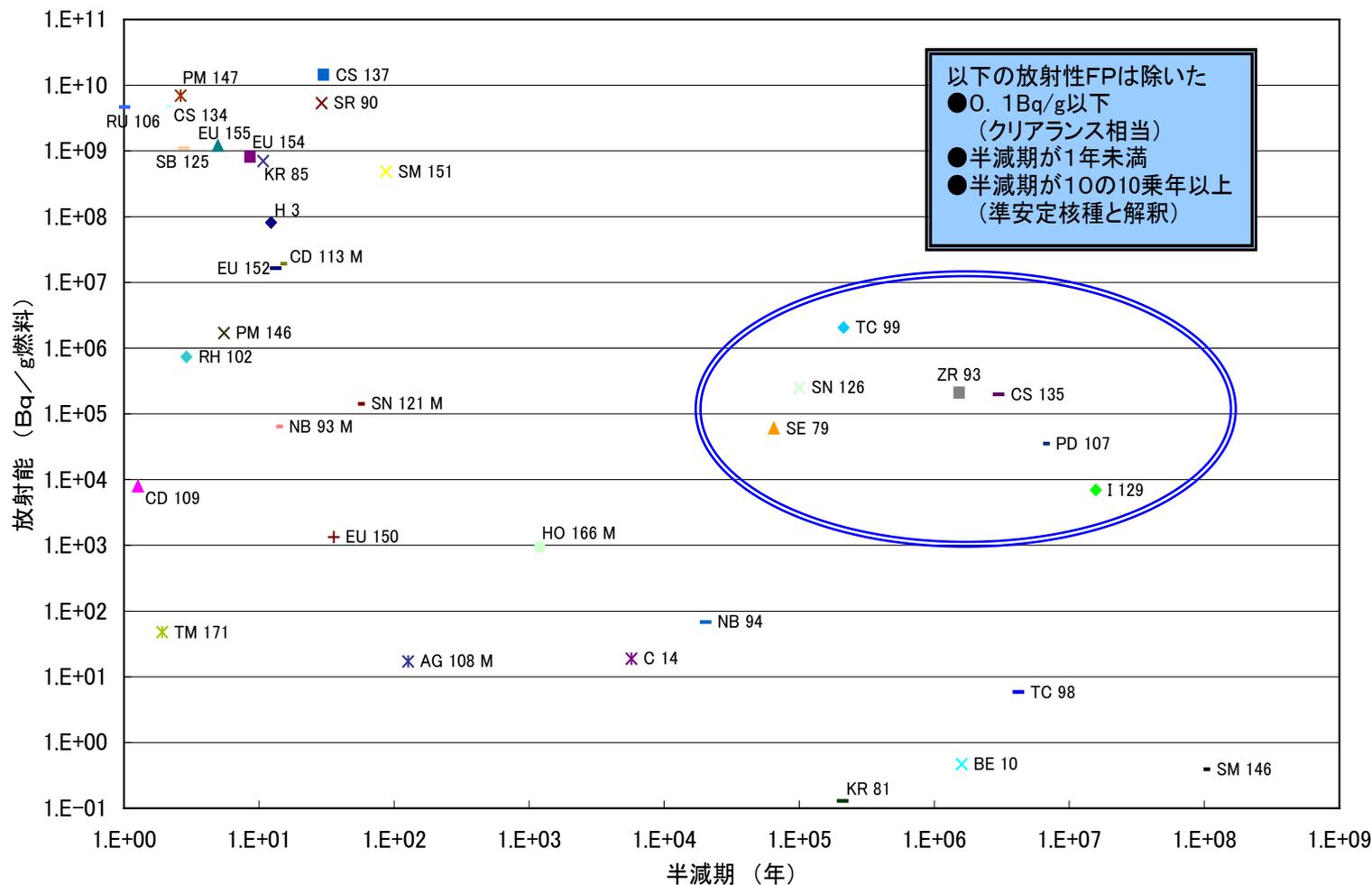


使用済み燃料をどうするか？

# 使用済み燃料は資源の宝庫、有害核種は僅か



# 主な放射性 F P の放射能と半減期



**長半減期核分裂生成物 (LLFP) は僅か**

K. Arie et. al., "The Sustainable System for Global Nuclear Energy Utilization", GLOBAL2007, Boise, Idaho, USA, September 9-13, 2007. (日本原子力発電(株) 委託研究成果) **LLFP : Long-Lived Fission Product**

# 廃棄物の消滅処理に適した原子炉は？

長寿命放射性物質に中性子をあてると、  
安定又は短寿命放射性物質に変わる  
(消滅処理)



原子炉の中性子を利用して消滅処理



中性子を多く利用できる原子炉が良い

# 余剰中性子数の比較

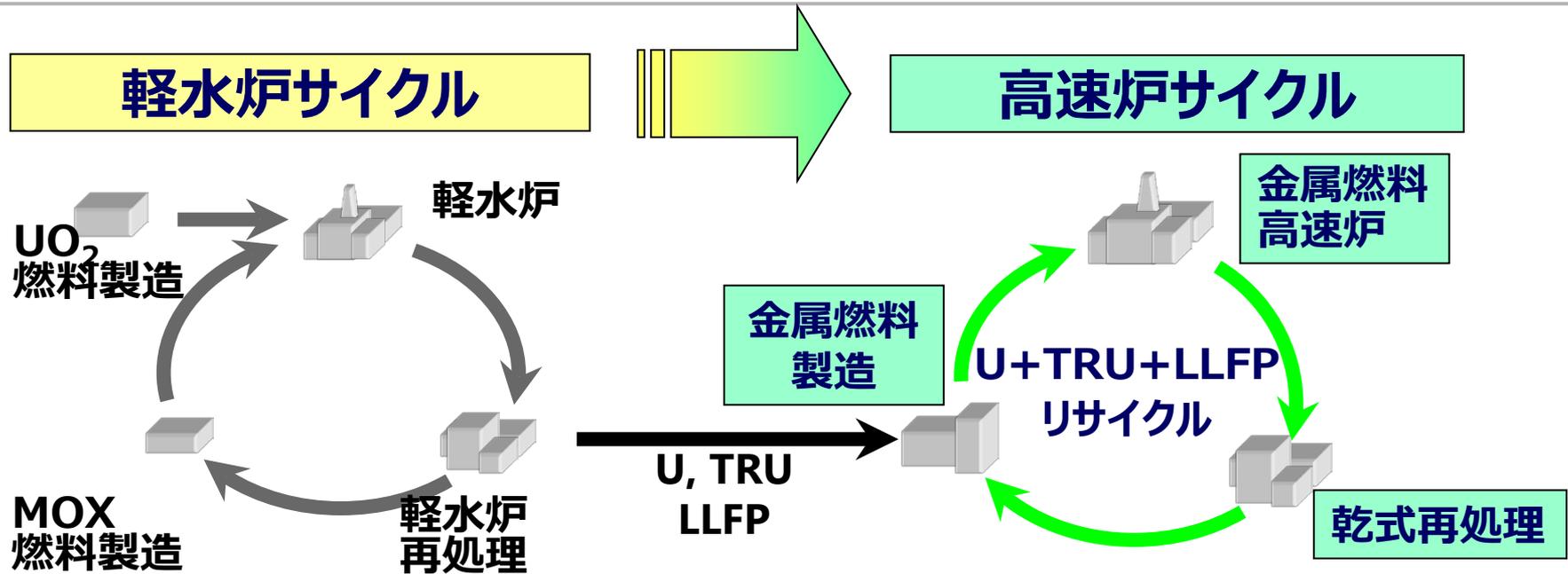
単位：核分裂 1 回当たりの中性子数

中性子反応分類		軽水炉	高速炉	
			酸化物燃料	金属燃料
中性子発生数	核分裂	2.4	2.9	2.9
中性子消費	核分裂連鎖反応	1.0	0.8	0.75
	核分裂性核種の核分裂	~0	0.2	0.25
	燃料生産 (転換比 1.0)	1.25	1.0	0.91
	無駄消費	0.25	0.2	0.14
	核分裂性核種の中性子捕獲 構造材、冷却材の中性子捕獲	0.4	0.25	0.2
余剰中性子の数		-0.5	0.45	0.65

## — 消滅処理に適した炉型 —

軽水炉 << 酸化物燃料高速炉 < 金属燃料高速炉

# 東芝の長期ビジョン - 金属燃料高速炉サイクル -



下記を実現するアクチニドリサイクル技術（炉とサイクル）を開発中:

- 長期エネルギーセキュリティ
- 放射性廃棄物の消滅（環境との調和）
- 経済的な高速炉サイクル
- 高い核拡散抵抗性

TRU: Transuranium（超ウラン元素）

# ロードマップ

フェーズ1

～2030年

技術開発・実証

フェーズ2

～2050年

軽水炉廃棄物の消滅処理  
(軽水炉主流時代)

フェーズ3

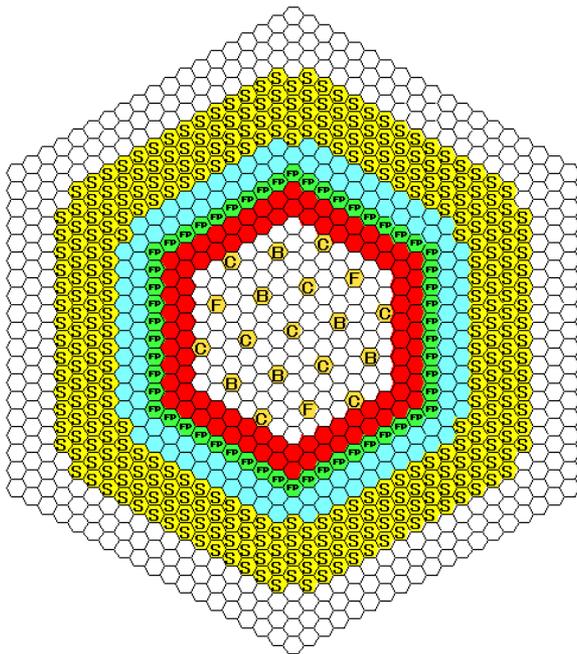
高速炉による持続性のある原子力システム

ウラン無しTRU金属  
燃料高速炉による  
高効率消滅

U+TRU+LLFP  
リサイクル高速炉

もんじゅ活用等

# フェーズ1：もんじゅを活用した消滅処理検討例



○ 内側TRU富化炉心燃料集合体	108
● 外側TRU富化炉心燃料集合体	90
○ Na	312
■ LLFP集合体	54
■ 径方向低TRU富化燃料集合体	120
○ S	324
○ C	10
○ E	3
○ B	6

## 炉心配置

K. Arie et. al., "A Strategy on Minimizing High-Level Waste Burden for Sustainable Energy System", Global2009, Paris, France, September 6-11, 2009.

(日本原子力発電(株) 委託研究成果)

## 特 徴

● 現行の原子炉構造等の大幅に改造することなく、炉心部を金属燃料、LLFP集合体に置換：

- 炉心燃料 → U+TRU金属燃料

- 径ブランケット第1層 → LLFP集合体

I129：7体、Tc99：4体

Cs135、Sn126：各21体

Zr93：合金燃料母材として利用

- 径ブランケット第2/3層 → U+TRU金属燃料

● 熱出力：714MWt

● TRU及びLLFP受入可能量

- TRU 約1.9 t (1GWe軽水炉 約10年分)

- LLFP I129 0.1t (1GWe軽水炉 約10年分)

Tc99 0.3t (1GWe軽水炉 約10年分)

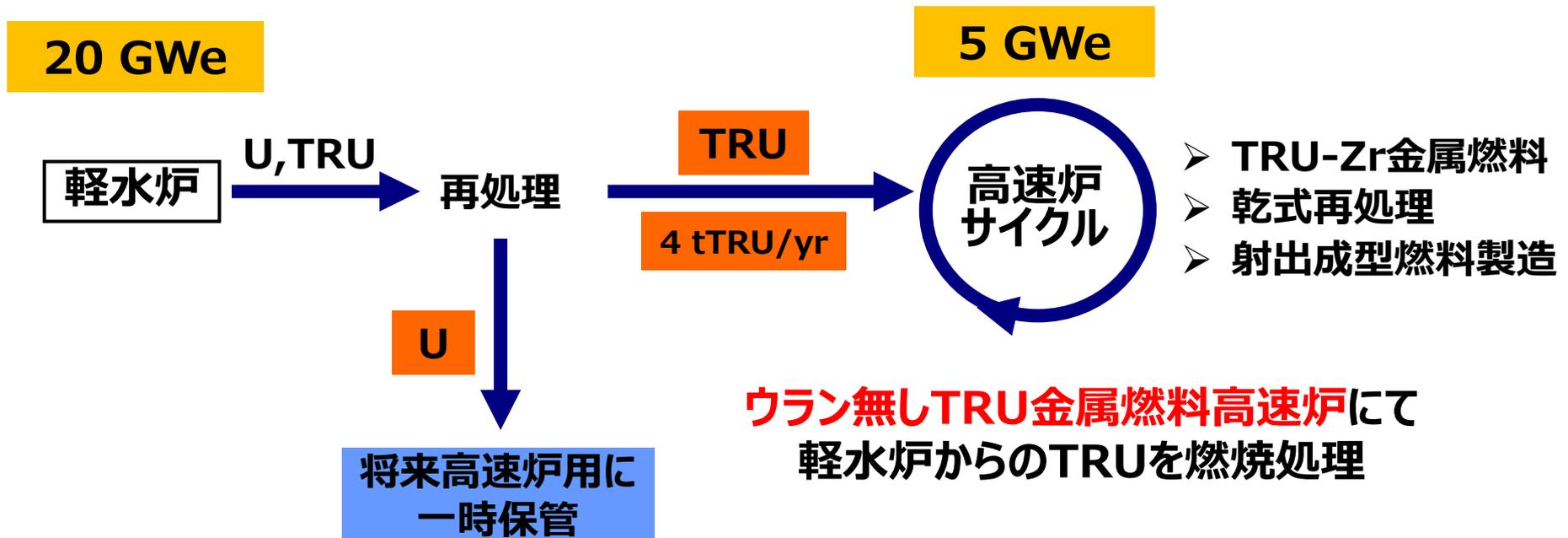
Cs135 0.2t (1GWe軽水炉 約4年分)

Sn126 0.3t (1GWe軽水炉 約120年分)

Zr93 0.38t (1GWe軽水炉 約20年分)

# フェーズ2：ウラン無しTRU金属燃料高速炉サイクル

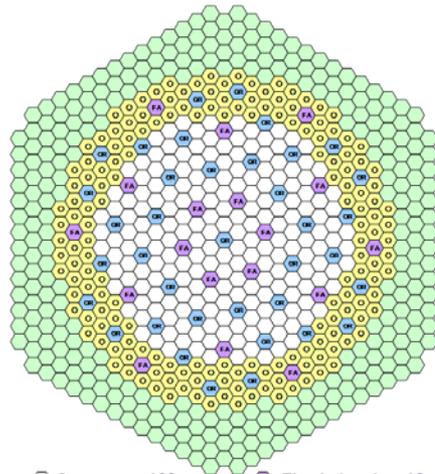
## －軽水炉主流時代のTRU燃焼－



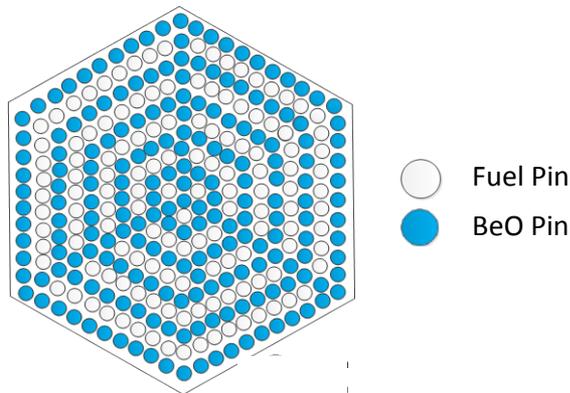
- ウランを用いないため新たなTRU発生無し → 最小の高速炉基数にて軽水炉からのTRUを燃焼処理 → 20GWe軽水炉分を5GWe高速炉で処理可能
- TRU金属燃料は従来から開発中のサイクル技術（乾式法）がそのまま適用できる可能性大 → 新たな開発課題小

K. Arie et. al., "TRU Burning Fast Reactor Cycle Using Uranium-free Metallic Fuel", ICAPP 2014, Charlotte, USA, April 6-9, 2014.

# フェーズ2：ウラン無しTRU金属燃料高速炉サイクル



## 炉心配置



## 燃料集合体断面

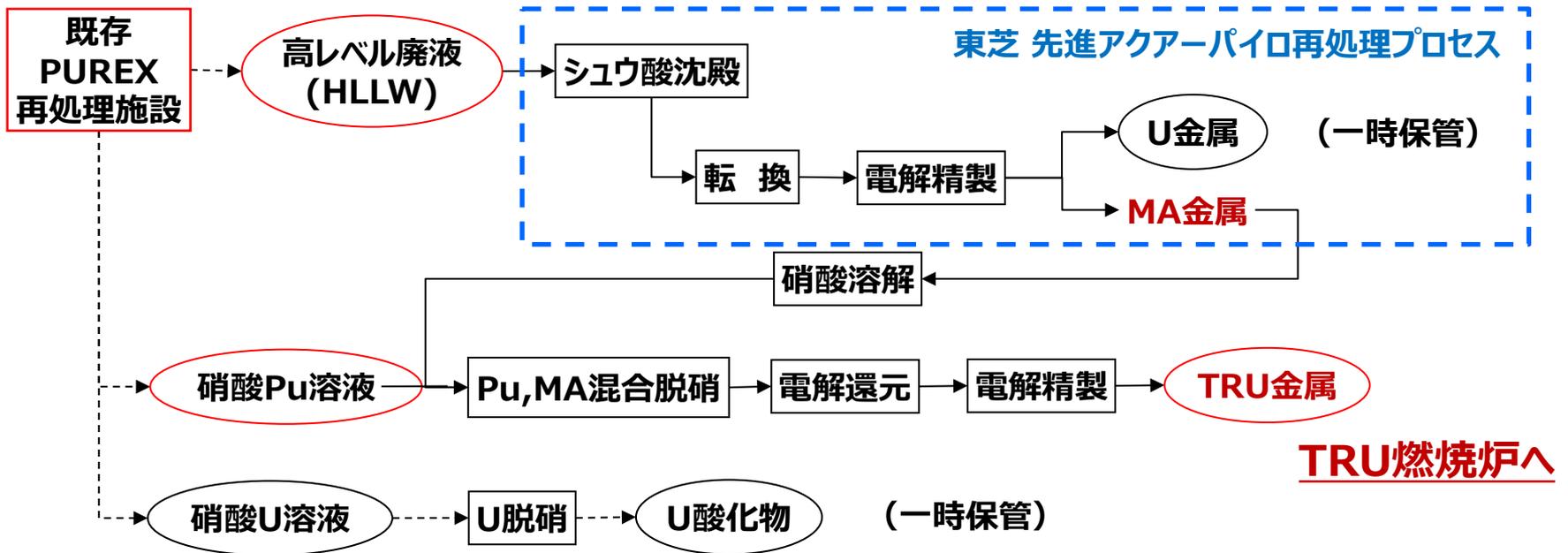
## 特 徴

- 電気出力：300 MWe
- 燃料組成：TRU-35Zr 及び TRU-19Zr 金属燃料 (ウラン無し)
- 炉心高さ：65cm
- 運転サイクル長さ：150日
- 安全特性（ドップラー反応度等）確保のため酸化ベリリウム（BeO）減速材を燃料集合体内に導入
- 安全性パラメータ：通常の金属燃料高速炉並み
  - ドップラー係数  $-3 \times 10^{-3} \text{ Tdk/dT}$
  - 実効遅発中性子割合 0.0026
  - Naボイド反応度  $< 0 \text{ \%dk/kk'}$
- TRU正味燃焼量：260 kg/年  
→ 1.2GWe軽水炉が毎年発生させるTRUを永続的に燃焼処理

K. Arie et. al., "TRU Burning Fast Reactor Cycle Using Uranium-free Metallic Fuel", ICAPP2014, Charlotte, April 6-9, 2014.

# フェーズ2：ウラン無しTRU金属燃料高速炉サイクル

## 東芝 先進アクターパイロ再処理プロセス

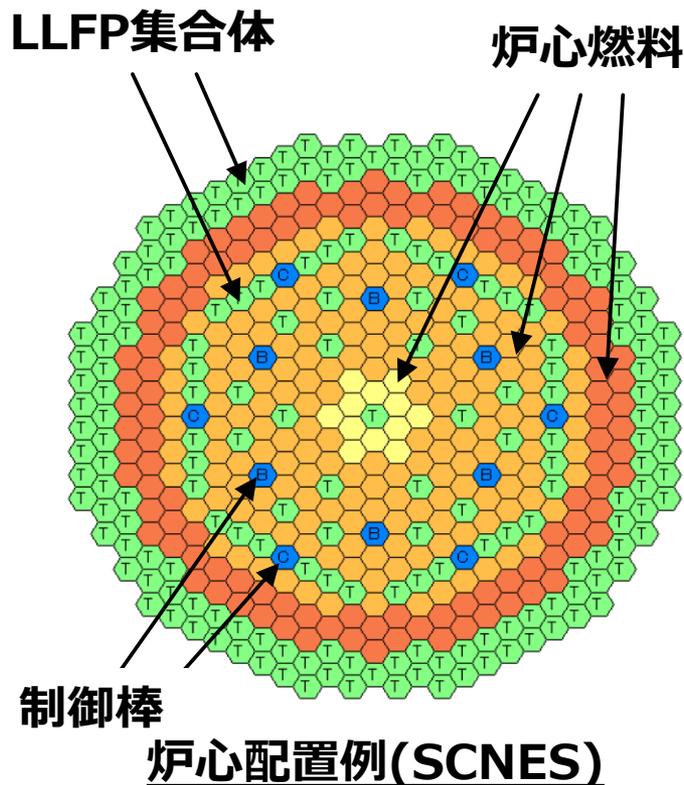


### プロセス概要

1. 既存PUREX再処理の高レベル廃液からマイナアクチニド(MA)をアクターパイロプロセスにて回収
2. 回収したMAをPUREX工程における硝酸Puと混合
3. 混合した硝酸Pu・MA(TRU)を混合脱硝処理し、電解還元、電解精製をへてTRUを金属形態にて回収

K. Arie et. al., "TRU Burning Fast Reactor Cycle Using Uranium-free Metallic Fuel", ICAPP2014, Charlotte, April 6-9, 2014.

# フェーズ3：高速炉による持続性のある原子力システム



(SCNES: Self-Consistent Nuclear Energy System)

Y. Fujii et. al., "A Self-Consistent Nuclear Energy Supply System - The Role of Excess Neutrons and the Potential of a Fast Reactor -," Int'l Specialist' Mtg. on Potential of Small Nuclear Reactors for Future Clean and Safe Energy Sources, Tokyo, October, 1991.

## 特 徴

- 熱出力：780 MWt
- 燃料組成：U-TRU-10Zr金属燃料
- 炉心高さ：90 cm
- 運転サイクル長さ：2年
- 4領域TRU富化度炉心
- 燃料増殖比 1.0 → 長期エネルギーセキュリティ確保
- U-TRU一括リサイクル焼 及び  
LLFP(I129,Tc99,Cs135,Sn126,Zr92)の放射能消滅処理
  - 高レベル放射性廃棄物処分不要の可能性
  - 原子力に対する社会受容性の大幅向上
  - 放射性廃棄物処分負荷の大幅軽減
- ブランケット無し炉心 → 核拡散抵抗性強化

## 軽水炉時代に続く、持続的原子力システム

K. Arie et. al., "The Sustainable System for Global Nuclear Energy Utilization", GLOBAL2007, Boise, USA, September 9-13, 2007.

(日本原子力発電(株) 委託研究成果)

# 東芝 高速炉機器開発



小型高速炉4S用

実機大電磁ポンプ<sup>o</sup>Na実証試験

動的部品がない主冷却材ポンプ

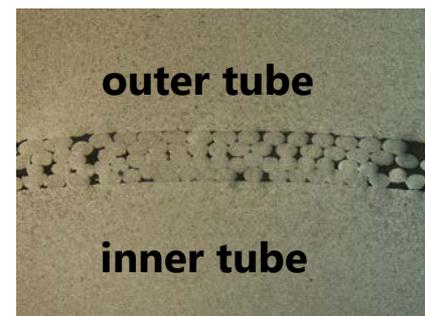
Oyamatsu, Y., et al. "Design validation of the 4S high temperature electro-magnetic pump by one pole segment test equipment." FR09, IAEA, 2009.

(経済産業省：平成21年度革新的実用原子力技術開発費補助事業「GNEPの中・小型炉へ適合する大口径高温電磁ポンプとパッシブなフローコースト補償電源と高信頼性ヘリカル二重管蒸気発生器の研究開発」の成果を含みます。)



ヘリカル加工した  
2重伝熱管

2重伝熱管  
断面拡大写真



高速炉用2重伝熱管  
蒸気発生器開発

Na-水反応事故の防止

Y. Kitajima et. al., "Development of a Helical-Coil Double Wall Tube Steam Generator for 4S Reactor", ICONE19, 2011.

# 東芝 乾式再処理プロセス・機器開発



工学規模電解装置試験用  
グローブボックス



電解法にて回収した1kg金属ウラン  
(電力中央研究所との協力研究)

東芝は、20年以上にわたり電力中央研究所と協力して  
乾式再処理を開発している

K. Arie, "Development for Fast Reactor and Related Fuel Cycle in Toshiba", ICAPP '09, Tokyo, May 10-14, 2009.

# まとめ

- **放射性廃棄物の消滅処理の科学的可能性は確認されており、工学的にも見通しは得られつつある。**
- **実現のためには更なる技術開発が必要であるが、それを着実に進めることで、原子力の廃棄物問題は解決できると考えている。**
- **東芝は、関係機関と協力しつつ、夢のある原子力の実現に向けて取り組んでいる。**

**TOSHIBA**  
**Leading Innovation >>>**