

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

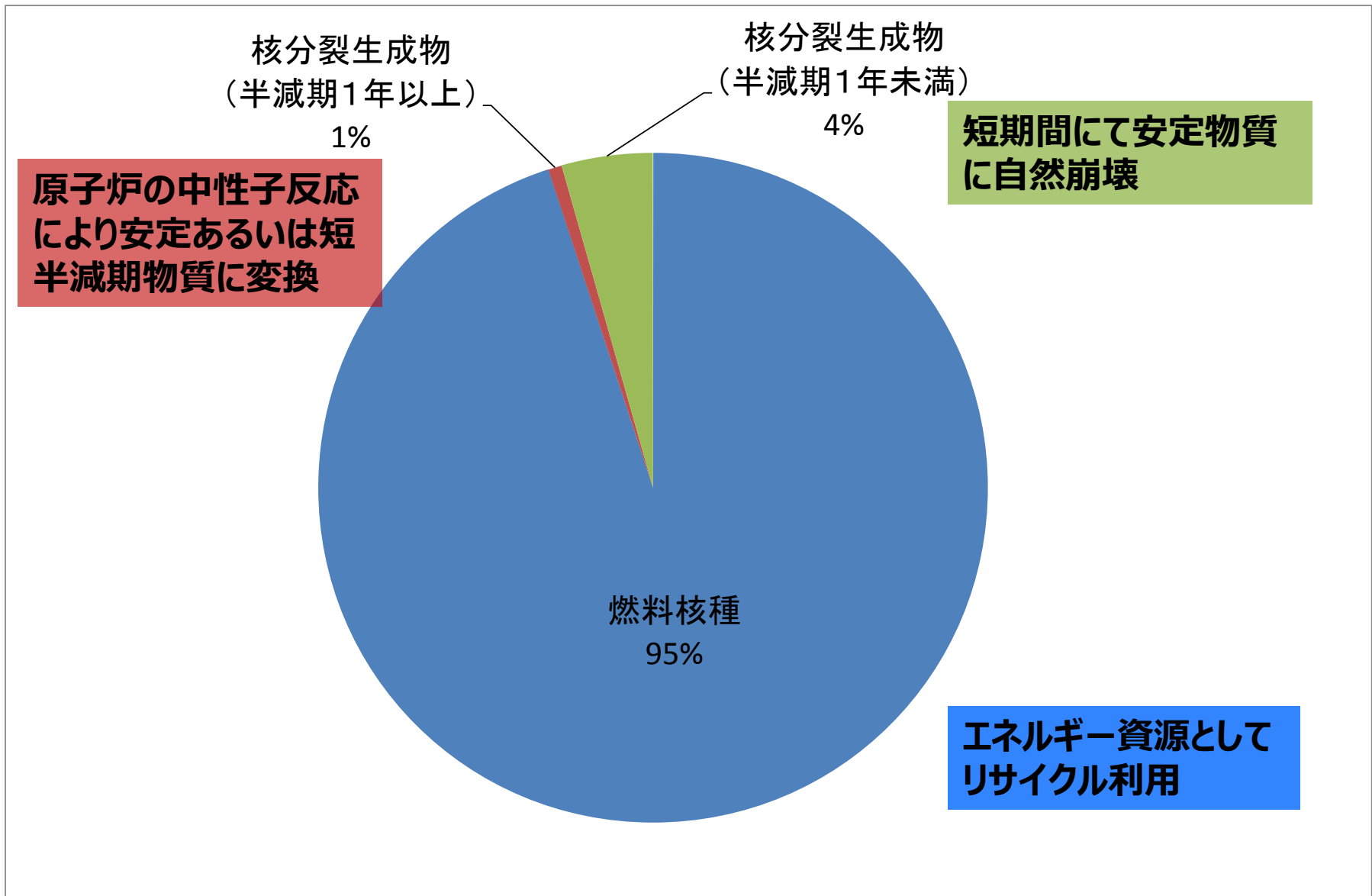


高レベル放射性廃棄物の処分

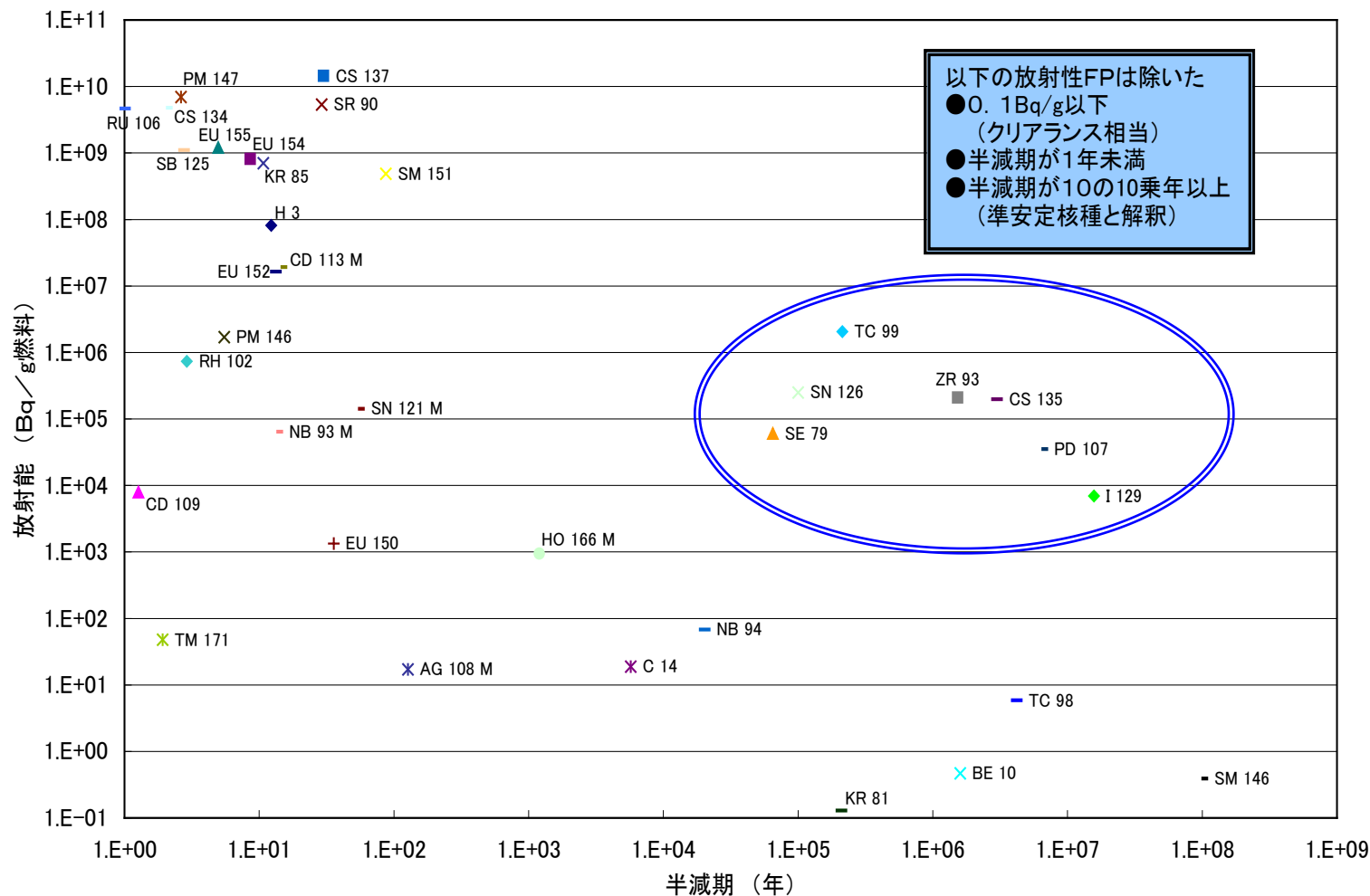


使用済み燃料をどうするか？

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

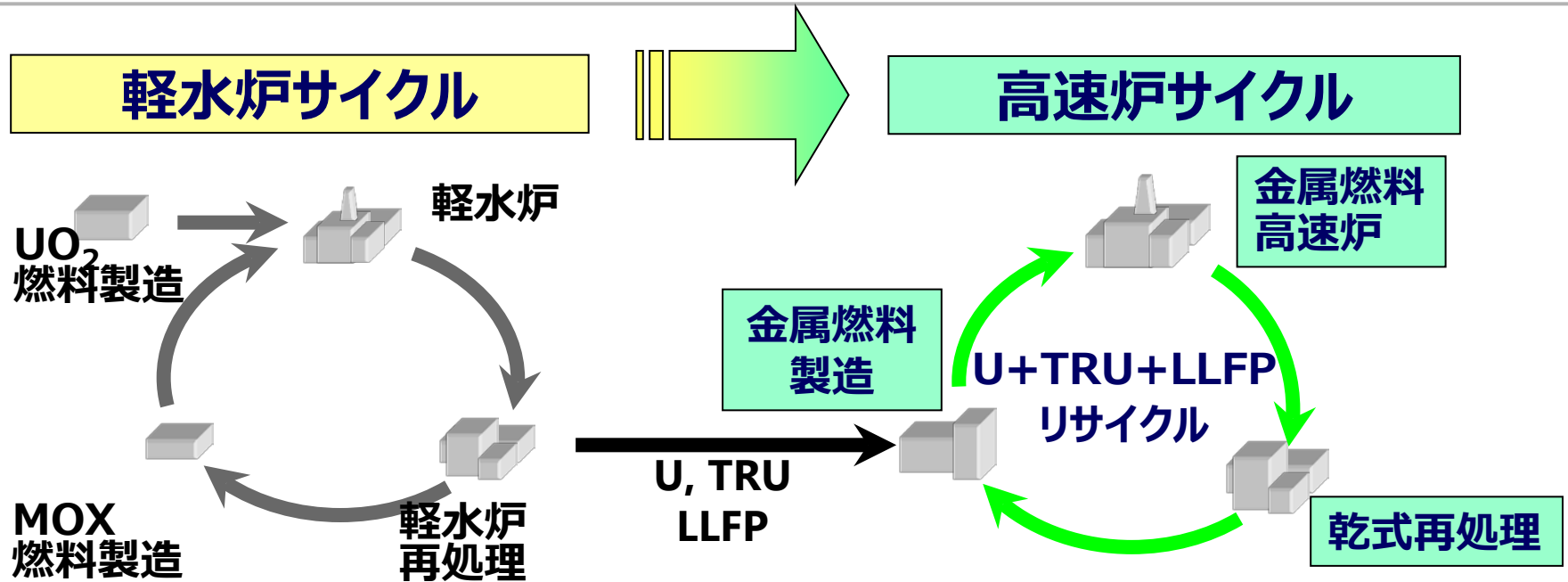
単位：核分裂 1 回当たりの中性子数

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

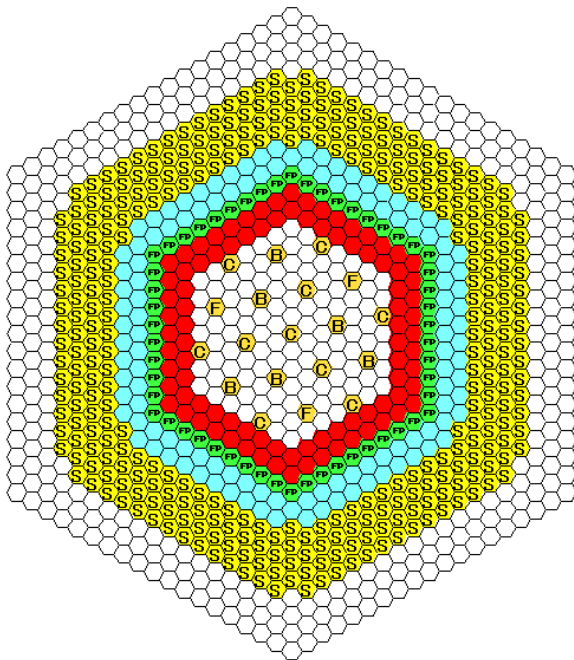
高速炉による持続性のある原子力システム

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 シャへい体	324
○ C 粗調整棒	10
○ E 微調整棒	3
○ B 後備炉停止棒	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)

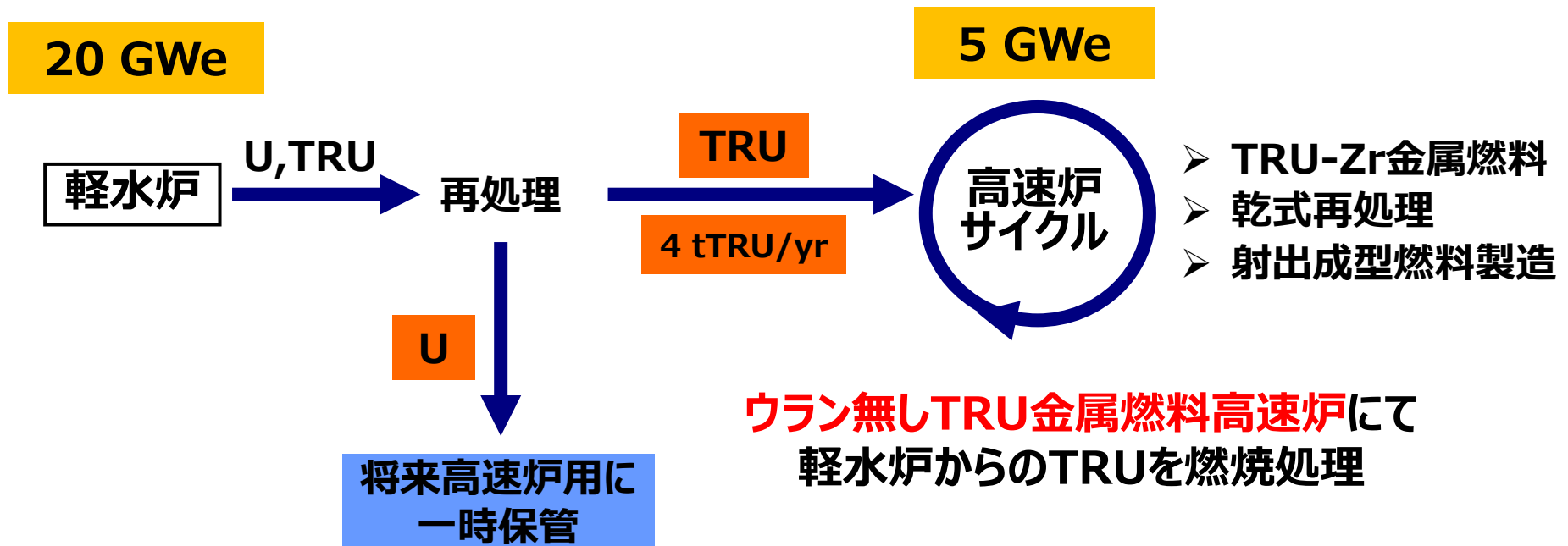
Cs135 0.2t (1GWe軽水炉 約4年分)

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

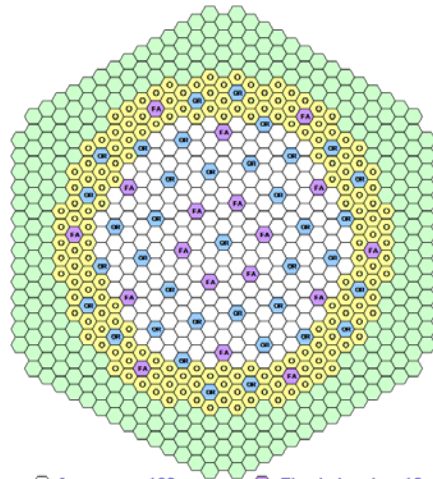
－軽水炉主流時代のTRU燃焼－



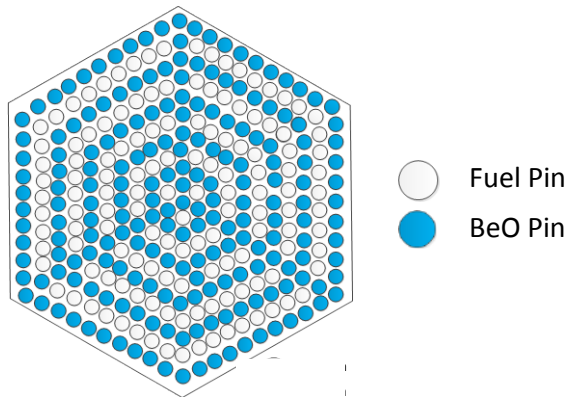
- ウランを用いないため新たなTRU発生無し → 最小の高速炉基数にて軽水炉からのTRUを燃焼処理 → 20GWe軽水炉分を5GWe高速炉で処理可能
- TRU金属燃料は従来から開発中のサイクル技術（乾式法）がそのまま適用できる可能性大 → 新たな開発課題小

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

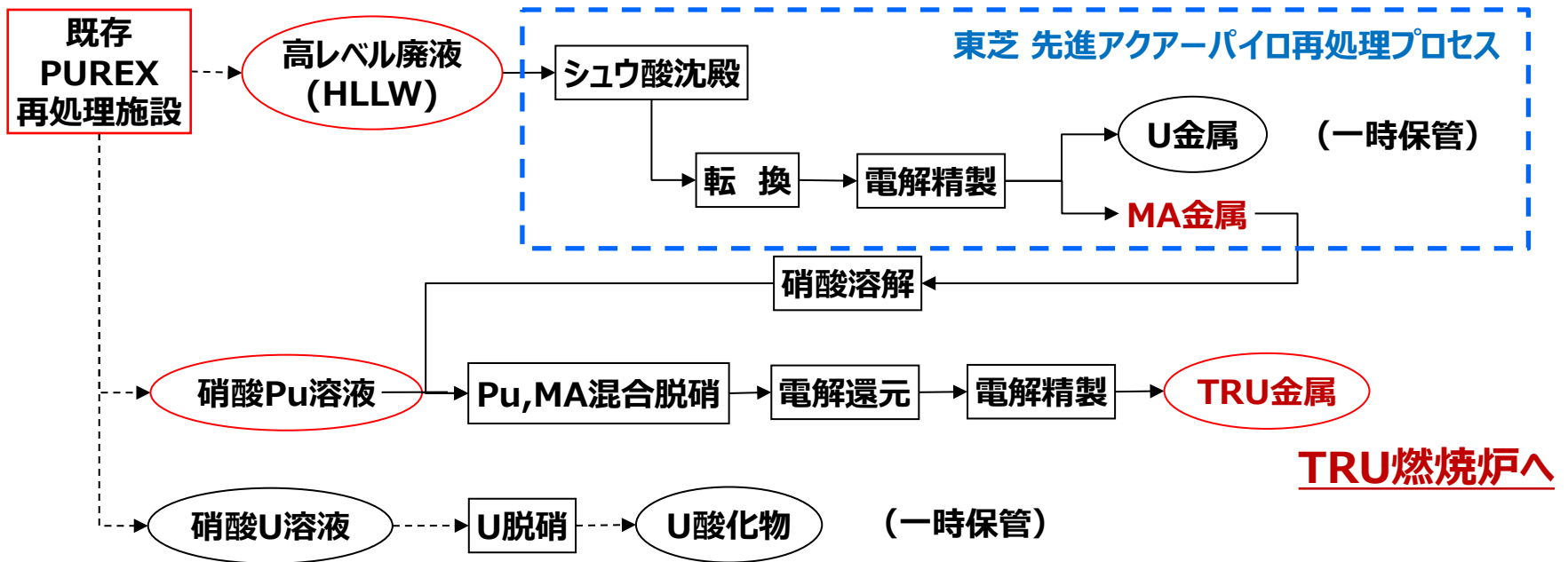
特 徴

- 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

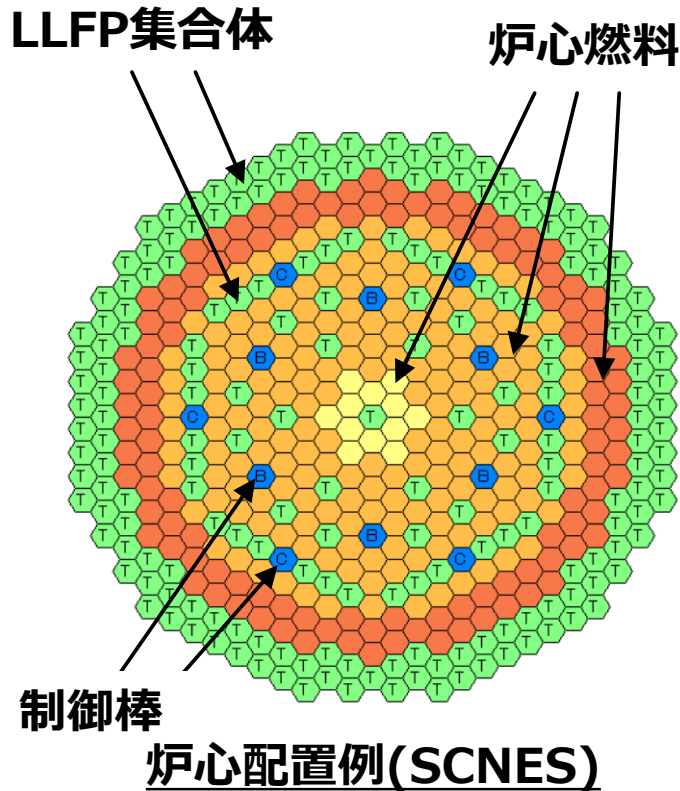


プロセス概要

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カシステム



(SCNES: Self-Consistent Nuclear Energy System)

Y. Fujii-e 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一括リサイクルリング燃焼 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、持続的原子カシステム

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^oNa実証試験

動的部品がない主冷却材ポンプ

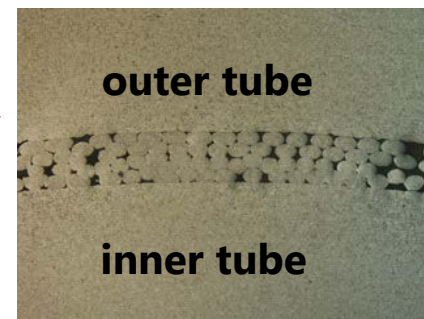
Oyamatsu, Y., et al. "Design validation of the 4S high temperature electro-magnetic pump by one pole segment test equipment." FR09, IAEA, 2009.

(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



outer tube

inner tube

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 >>>