

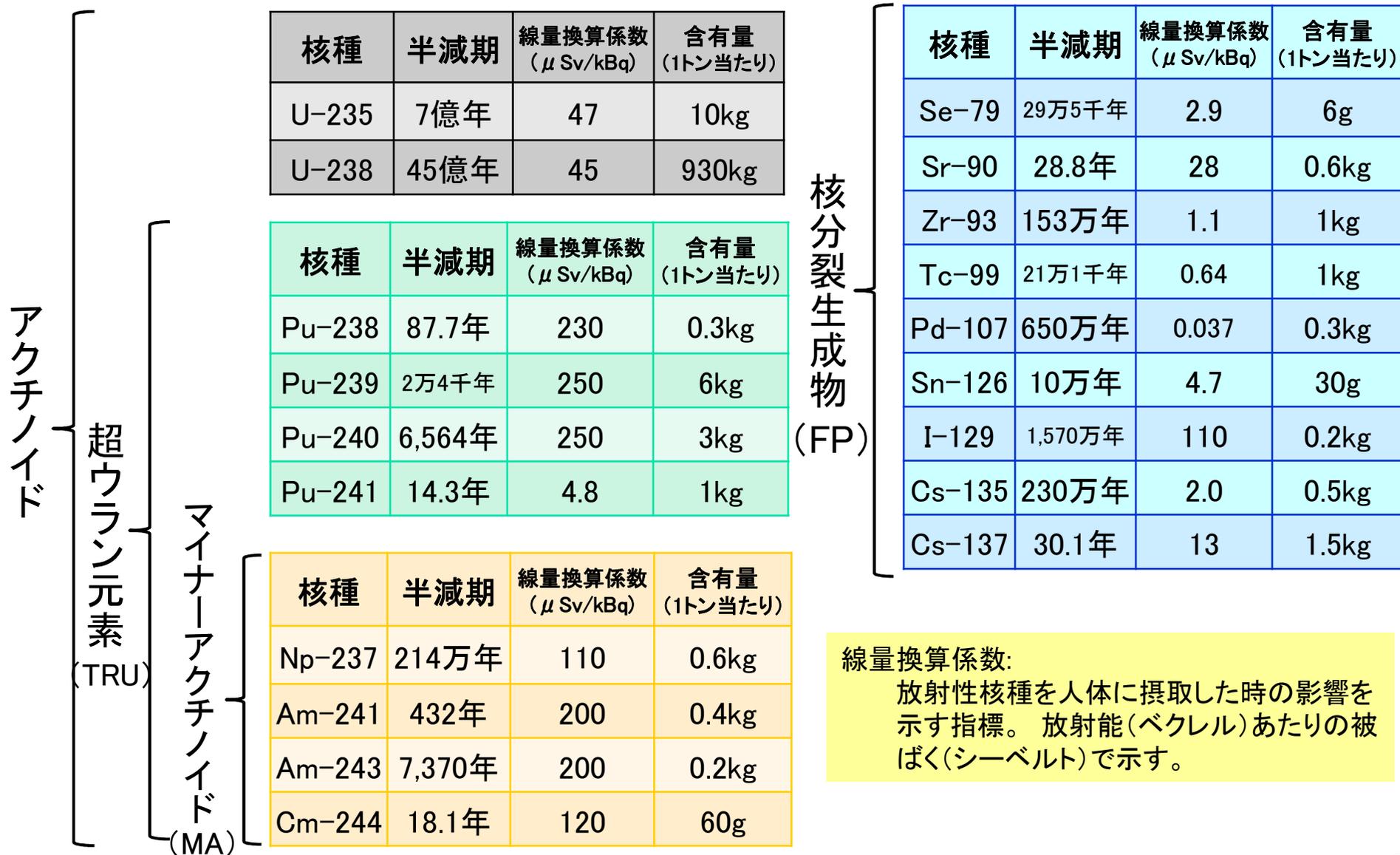
核分裂生成物の核変換技術の現状について

- 核変換対象LLFP核種
- ADS・高速炉による核変換
- まとめ

平成25年9月9日

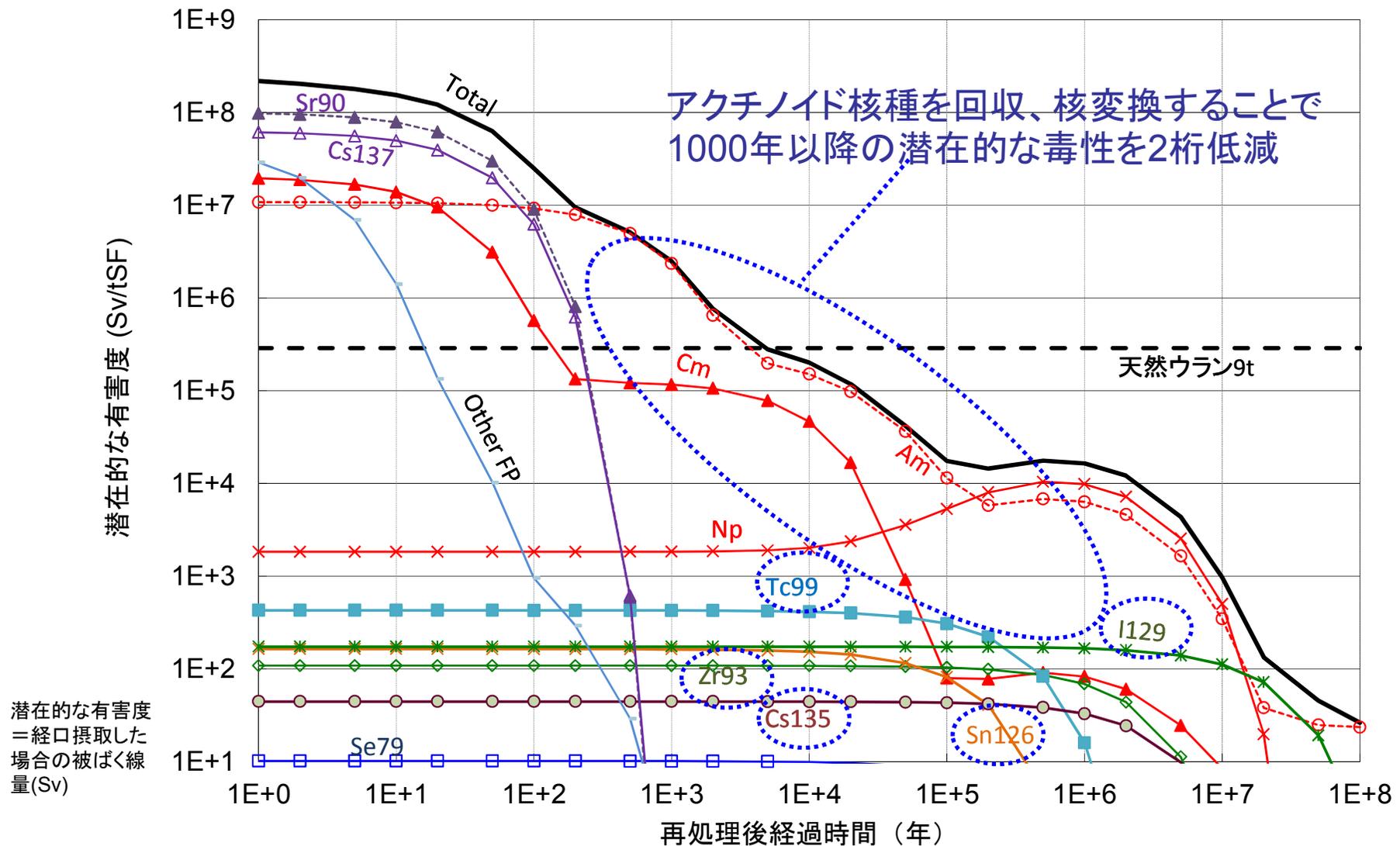
日本原子力研究開発機構

使用済燃料中の主な長寿命核種



核変換対象核種 (1/3)

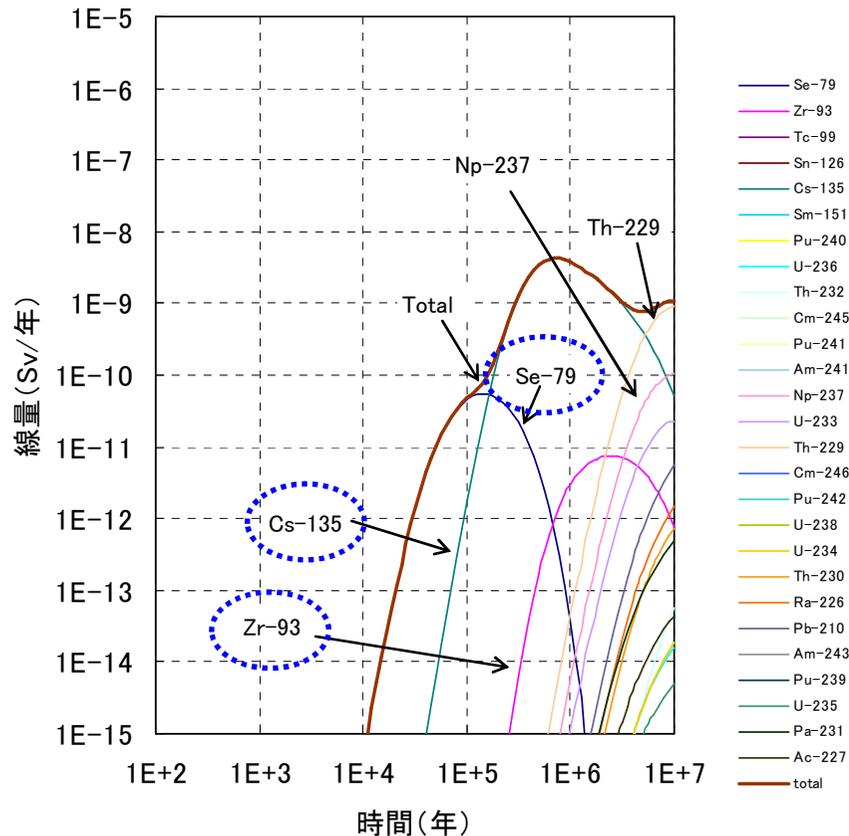
高レベル廃液中+ヨウ素の潜在的毒性



核変換対象核種 (2/3)

地層処分場からの公衆被ばく

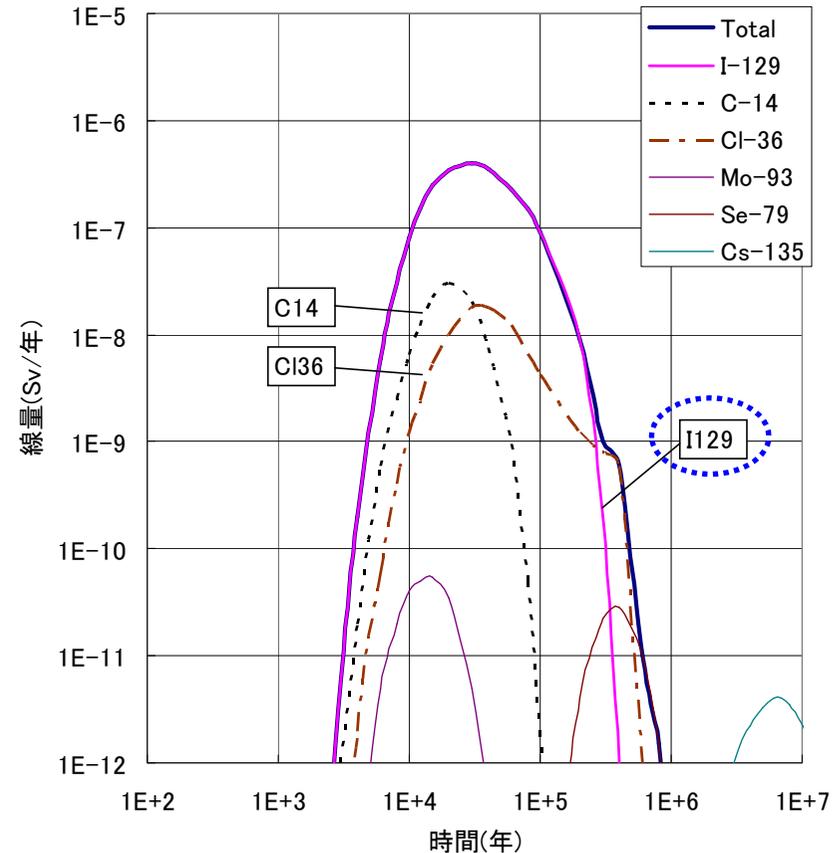
100万年までは、Cs-135, Se-79, Zr-93などのLLFPが支配的。その後はMA。



HLWガラス固化体4万本からの公衆被ばく

JNC TN1400 99-023(第二次取りまとめ)と同条件の評価

I-129が支配的



TRU廃棄物（HLWガラス固化体4万本相当）からの公衆被ばく

JNC TY1400 2001-001 図4.5.6-1(a)

核変換対象核種 (3/3)

核変換対象とするLLFP核種

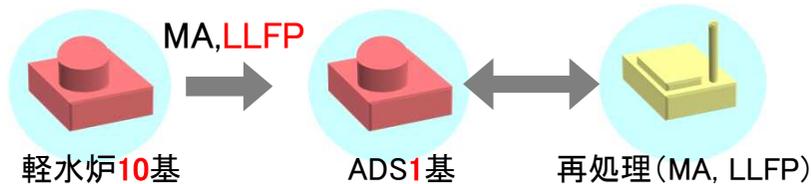
- 公衆被ばくの観点から、**I-129**、**Cs-135**、Se-79、Zr-93が候補。
- 潜在的な有害度の観点から、**Tc-99**、Sn-126が追加。
- I-129: 中性子捕獲によってXeの安定同位体となる。高温において安定で被覆管共存性の高い化学形態の選定が課題。
- Tc-99: 中性子捕獲によってRuの安定同位体となる。発生量が比較的大きい。
- Cs-135: 中性子捕獲によってBaの安定同位体となる。Cs-135の同位体分離が課題。

I, Tc, Csの核変換目標

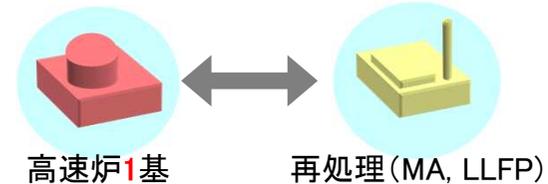
商用炉1基あたりの年間発生量 (kg/GWe/yr)

	半減期	熱中性子捕獲 断面積[b]	生成量 (kg/GWe/yr)	
			軽水炉	高速増殖炉
I-129	1.57E+6年	30.32	4.6	6.6
Tc-99	2.11E+5年	23.6	20.1	20.5
Cs-135	2.3E+6年	8.3	10.8	34.1

ADSで軽水炉10基からのLLFPを核変換



FBRで自分自身からのLLFPを核変換

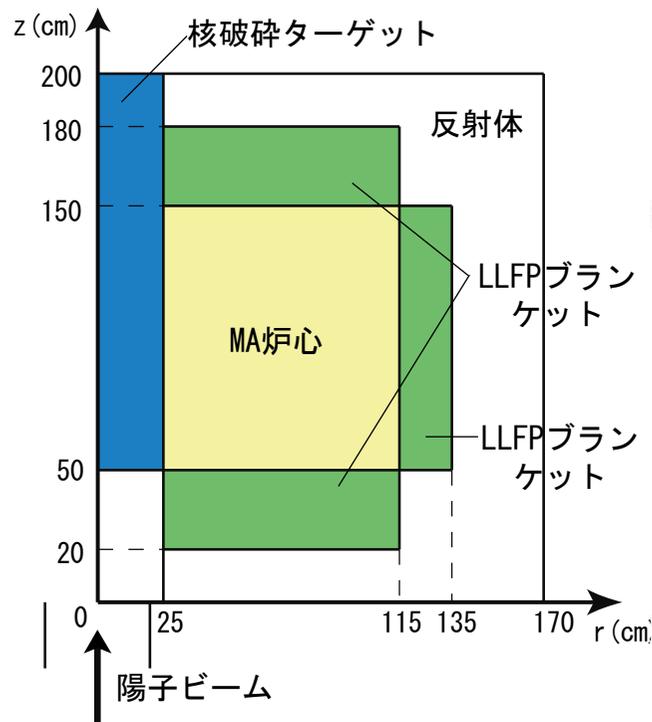


核変換目標値 (kg/yr/基)

要求性能	ADSで10基の 軽水炉を賄う場 合 (SF=10)	高速増殖炉で自分自 身からのFPを核変換 する場合 (SF=1)
I-129	46	6.6
Tc-99	201	21
Cs-135	108	34

SF=サポートファクター。1基の核
変換炉が賄える100万キロワット商
用炉の基数

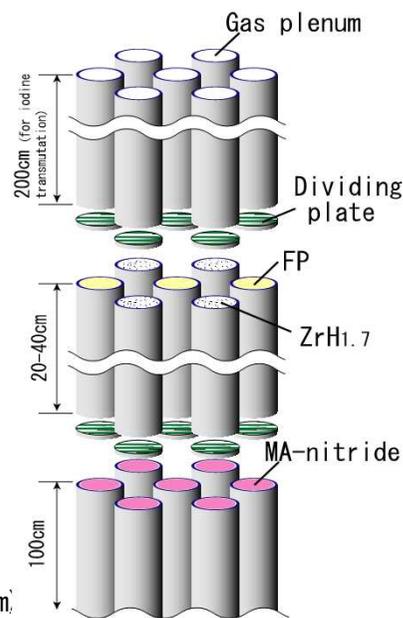
LLFP核変換のための炉心設計(1/2)



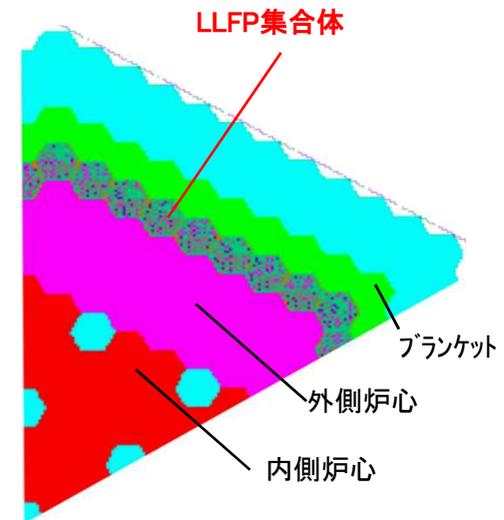
ADS炉心設計例

SF=10を目標に核変換量を最大化する設計

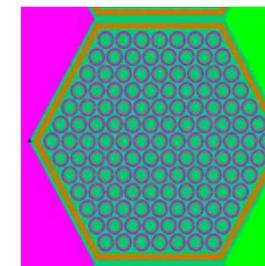
西原健司他、Global2001



ADS軸方向LLFP
ブランケット概念



高速炉炉心設計例



LLFP 集合体設計例
(中空BaI₂+ZrHペレット)

SF>1を条件とし、経済性の観点から
LLFP集合体数を最小化する設計

横山、他、Global2009, paper 9060

LLFP核変換のための炉心設計(2/2)

ADSとFBRの核変換性能

			I-129	Tc-99	Cs-135
ADS*1	炉心装荷量	kg/基	1640	1550	-
	核変換量	kg/yr/基	47	61	-
	SF		10.3	3.0	-
FBR	炉心装荷量	kg/Gwe	~70*2	~350*2	~800*3
	核変換量	kg/yr/GWe	6.6	41	16
	SF		1.0	2.0	0.5

赤字: 目標達成
青字: 目標未達成

*1西原他 Global2001より。ADSでは、IとTcのどちらか一方を核変換した場合。Csは未検討 *2横山他Global2009より。核変換装荷量等は記載された核変換率から概算した。*3 JNC TN9400 2001-098より。炉心は横山らの検討と同様。

- ✓ ADSでは軽水炉10基分のI-129を核変換できるが、Tc-99は発生量が多く核変換しきれない。Csは未検討だが、核変換困難と予想される。
- ✓ FBRでは、自分自身から発生するI-129とTc-99を核変換でき目標を達成。Cs-135は核変換困難であり対象から除外した。

まとめ

- LLFPのうち、処分後の潜在的毒性・公衆被ばく評価で影響の大きいI-129、Tc-99、Cs-135を核変換対象として選定した。
- 加速器駆動システム(ADS):
 - ✓ 10基の軽水炉からのLLFPを核変換することを目標とした。
 - ✓ I-129については目標性能を有する炉心概念を得たが、Tc-99とCs-135の核変換は困難である。
- 高速増殖炉:
 - ✓ 自身の燃料部から発生するLLFPを、外周ブランケット部で核変換する事を目標とした。
 - ✓ I-129とTc-99については目標性能を有する炉心概念を得たが、Cs-135の核変換は困難である。
- Cs-135の核変換については有望な概念が見つかっていない。同位体分離技術のブレイクスルーが必要である。

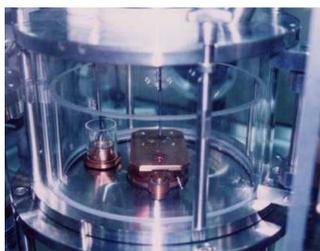
參考資料

核変換ターゲットの研究開発 (1/2)

テクネチウムの核変換ターゲット

- 金属テクネチウムは核変換ターゲットの候補材
 - » テクネチウムの融点は 2430 ± 30 K
 - » 欧州の共同研究において金属テクネチウム棒の照射試験
 - 結晶学的異方性(六方晶)による照射成長が懸念されていたが、ほとんど生じず
 - » 核変換するとテクネチウム-ルテニウム合金
- 金属テクネチウムとテクネチウム-ルテニウム合金の調製と特性評価
 - » 格子定数、熱膨張、比熱容量、熱拡散率、熱伝導率

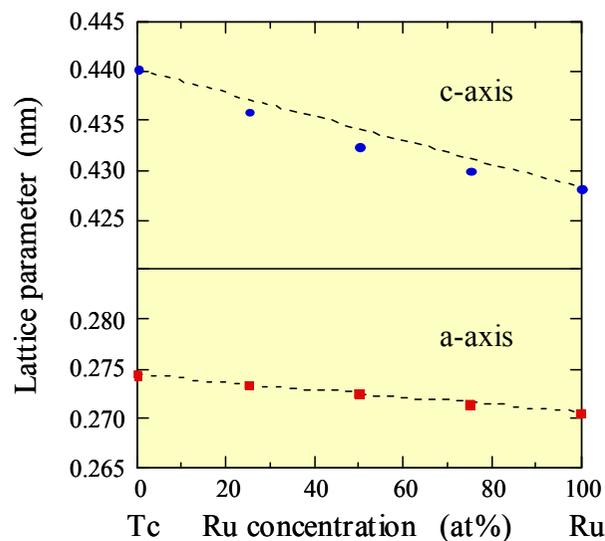
試料調製装置
(グローブボックス内)



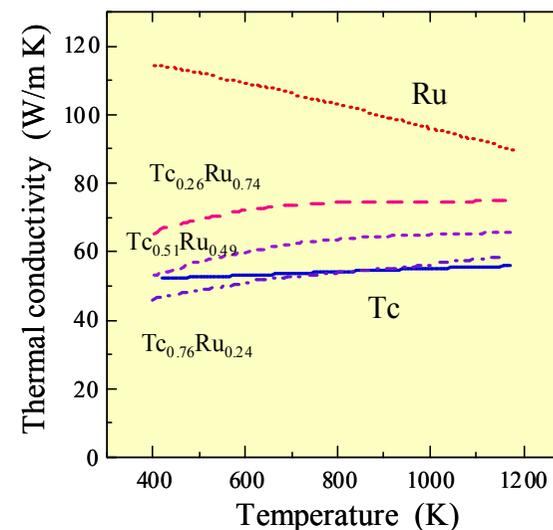
直径4 mm

直径5 mm

アーク溶解-鋳造法による試料調製



格子定数の組成依存性



熱伝導率の温度依存性

核変換ターゲットの研究開発 (2/2)

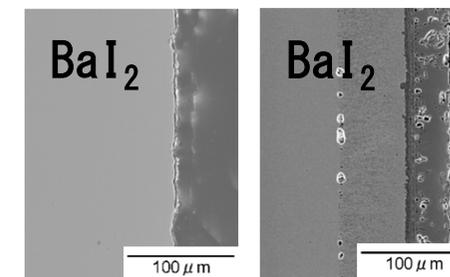
ヨウ素の核変換ターゲット

- ヨウ素 I_2 の融点は386.6 K、沸点は457.4K
 - » このままの化学形では核変換ターゲットとして用いるのは困難
 - » 核変換生成物(Xe)は気体
 - » ターゲット材に適切なヨウ素化合物の選定が必要
 - 融点、中性子捕獲断面積、長寿命核種生成の有無、潮解性・吸湿性の有無、被覆管材との両立性など
- ターゲット候補材の特性評価 (安定核種のヨウ素-127を使用)
 - » 被覆管材との両立性、熱伝導率等を測定評価
 - 適切な候補材を選定中



CuI試料

化合物	融点(K)	金属の融点(K)	長寿命核種の生成	化学的安定性	両立性
BaI ₂	984	1002	¹³³ Ba: 10.5 y	潮解性	課題あり
YI ₃	1270	1799	なし	潮解性	課題あり
MgI ₂	907	922	なし	潮解性	課題あり
CaI ₂	1052	1112	⁴¹ Ca: 1.03 x 10 ⁵ y	潮解性	課題あり
CuI	868	1358	⁶³ Ni: 100.1 y	大気中安定	課題あり



SUS316鋼 (反応なし) ODS鋼 (反応あり)

両立性試験
(600°C × 3000h)