

# 加速器駆動システム(ADS)の 導入シナリオとその効果



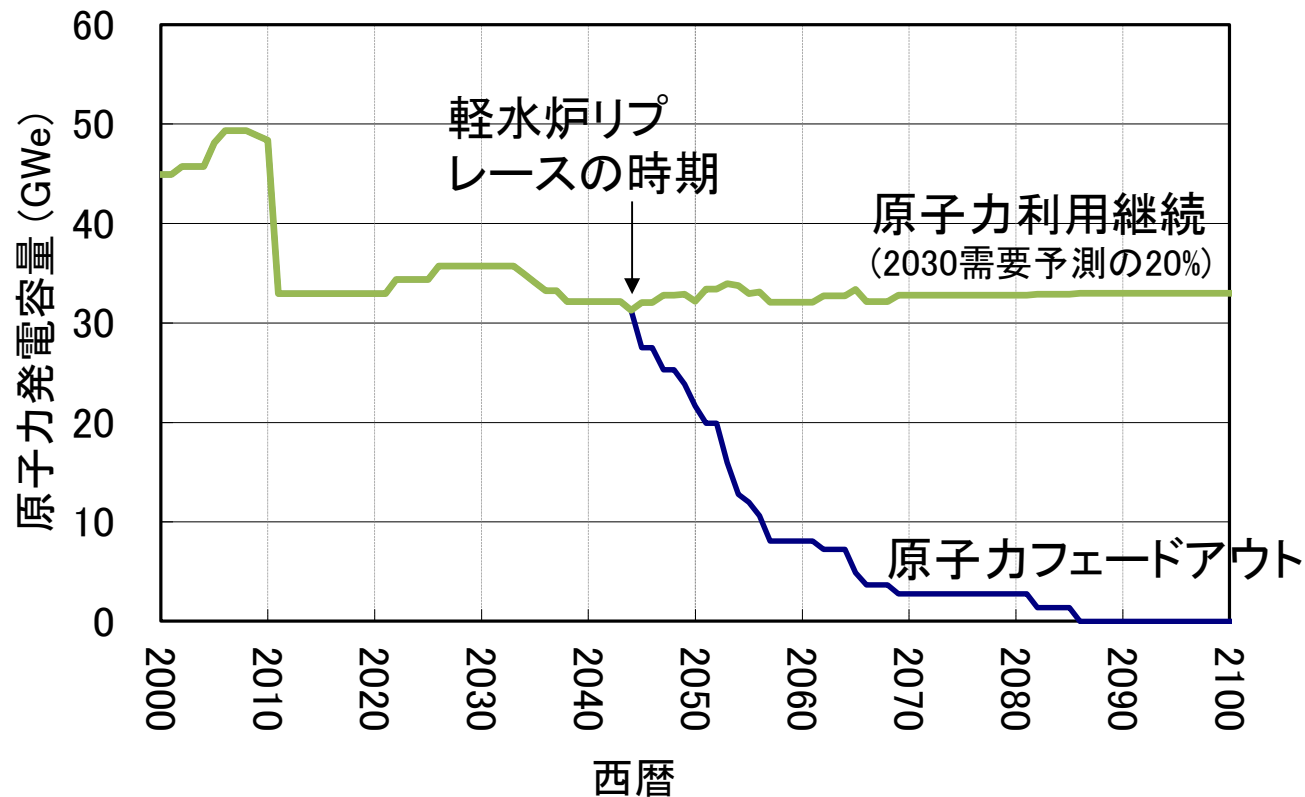
令和3年9月3日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

# 分離変換の導入シナリオ

- 第六次エネ基の議論：参考値として、2050年に原子力+CO<sub>2</sub>回収火力で30~40%程度を発電する。2050年に向けた道筋(シナリオ)を複数描く。

⇒ 幅広い原子力利用(不利用)シナリオが想定される。



# 分離変換の導入シナリオ

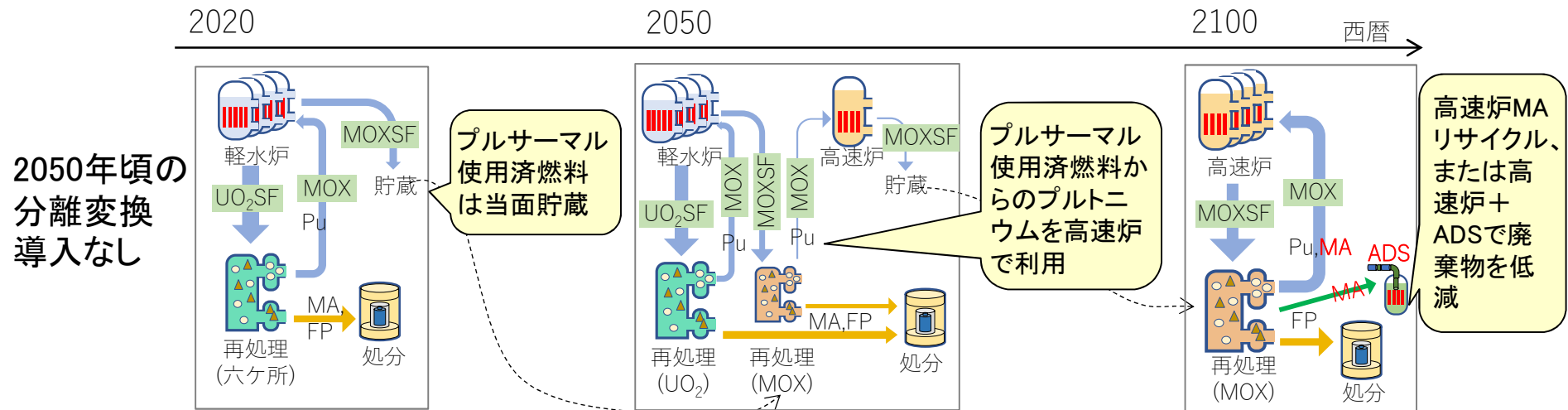
---

- ケーススタディ<sup>注)</sup>として、原子力利用継続とフェードアウトから、2つのシナリオを選定した。

注) ケーススタディであり、原子力機構が目標とするシナリオを示すものではない。

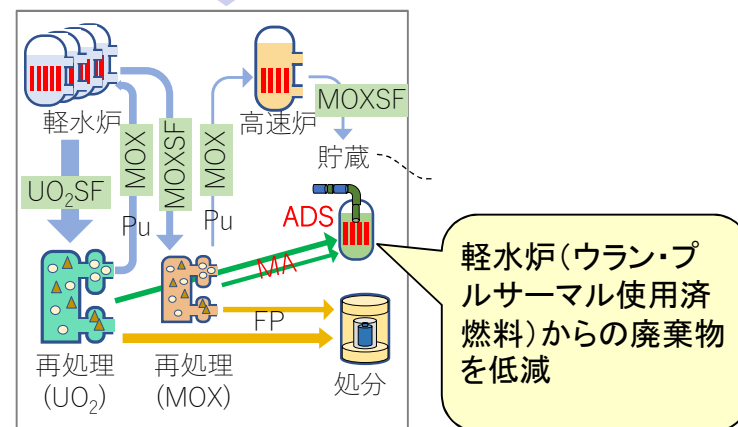
- シナリオ1では、今世紀末に高速増殖炉を本格導入し、それまでの期間(今世紀後半)に発生する軽水炉使用済燃料に分離変換を適用する。
- シナリオ2では、原子力発電を新設せずフェードアウトする。終了後に残る軽水炉使用済み燃料に分離変換を適用する。

## シナリオ1： 今世紀後半の高速炉本格導入

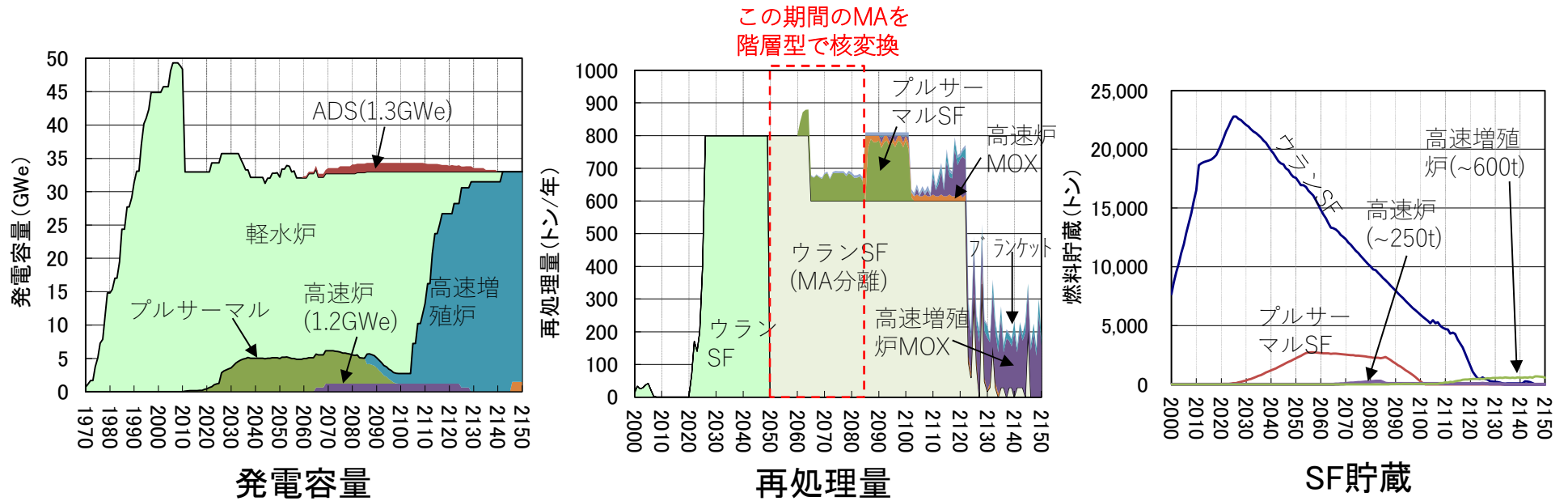


- 今世紀後半にプルサーマルSFから発生する**プルトニウム**を少数基の**高速炉**の燃料とする。
- 高速炉使用済み燃料は高速増殖炉本格導入期まで貯蔵する。
- 今世紀後半に軽水炉ウランSF・プルサーマルSFから発生する**MA**を**ADS**で核変換する。

## 階層型分離変換導入



# シナリオ1結果： 発電容量など



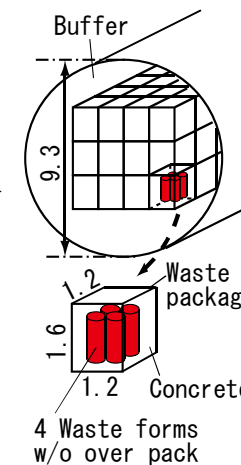
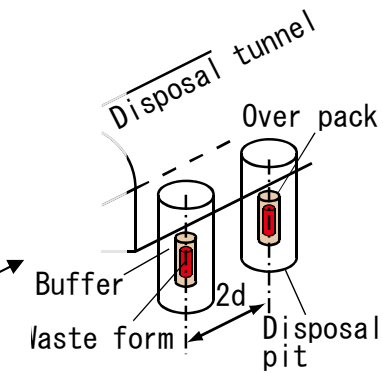
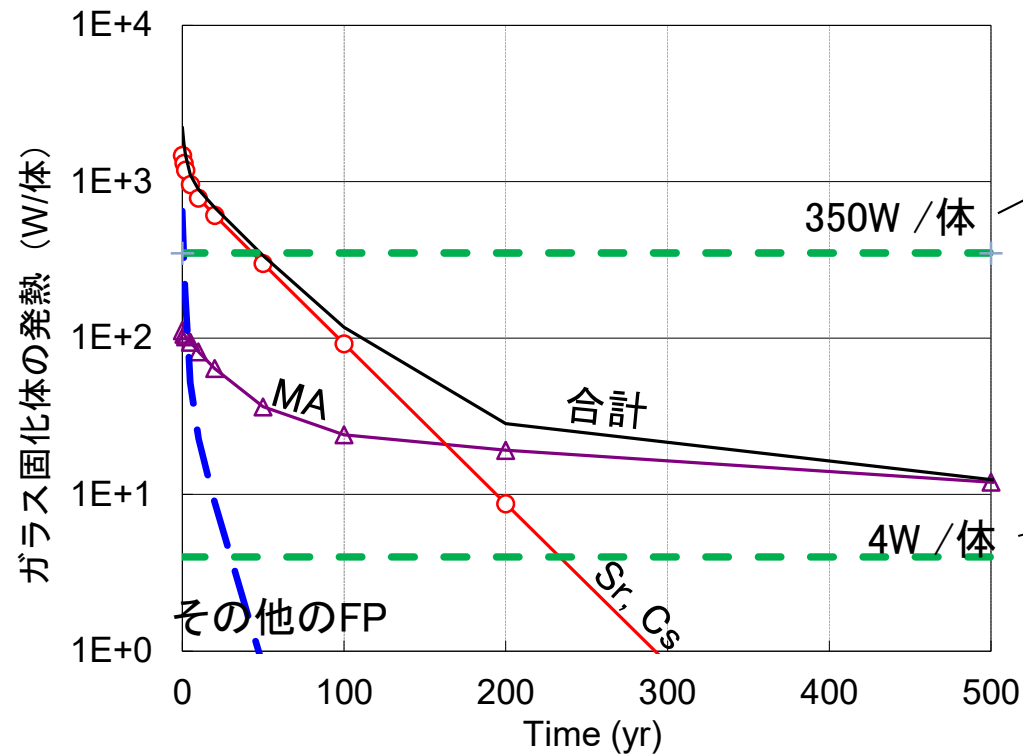
- ✓ 33GWeで定常
- ✓ 5GWe程度のプルサーマルにより、ウランSFからのプルトニウムを利用
- ✓ 1.2GWeの高速炉により、プルサーマルSFからのプルトニウムを利用
- ✓ 2086年に高速増殖炉導入開始。多くは2105～2130年の間に導入される。
- ✓ 5基(1.3GWe)のADSで2050～2086年の再処理で発生したMAを核変換

- ✓ 2022～2064年の間、六ヶ所再処理工場でウランSFを再処理。その後、600t/年規模で継続。
- ✓ 2055年からプルサーマルSFの蓄積を抑制するために100t/年で再処理。
- ✓ 2050年以降の再処理では、MA分離等を実施
- ✓ 2086年に高速炉からのSFの再処理を開始。ブランケットと合わせて200t/年程度。
- ✓ ADSの再処理は10t/年

- ✓ ウランSFは2025年をピークに、六ヶ所再処理工場により減少する。
- ✓ プルサーマルSFの蓄積は3,000t以下。
- ✓ 高速炉からのSFの貯蔵量は数百t。

# 分離変換実施時の処分概念

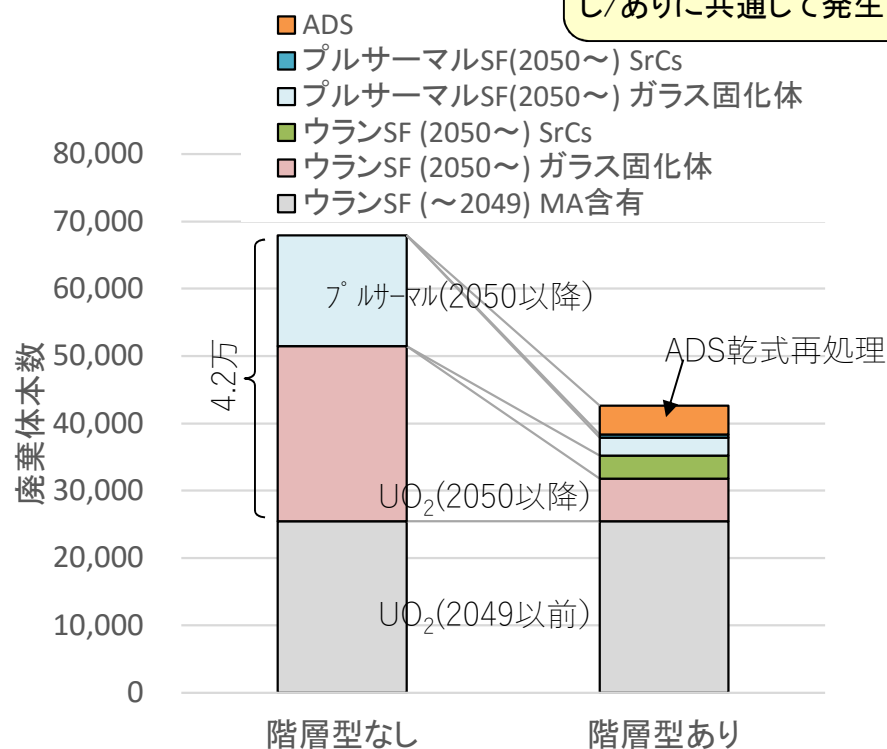
ガラス固化体1体の発熱内訳



- 通常のガラス固化体を50年冷却した場合、350W/体程度で、処分場では離間して定置する必要がある。(上図)
- MAを核変換することで、長期の発熱がなくなり、Sr-Csが支配的となる。
- Sr-Csの半減期は30年で、10半減期程度冷却すると、集積的な定置が可能となる。(下図)

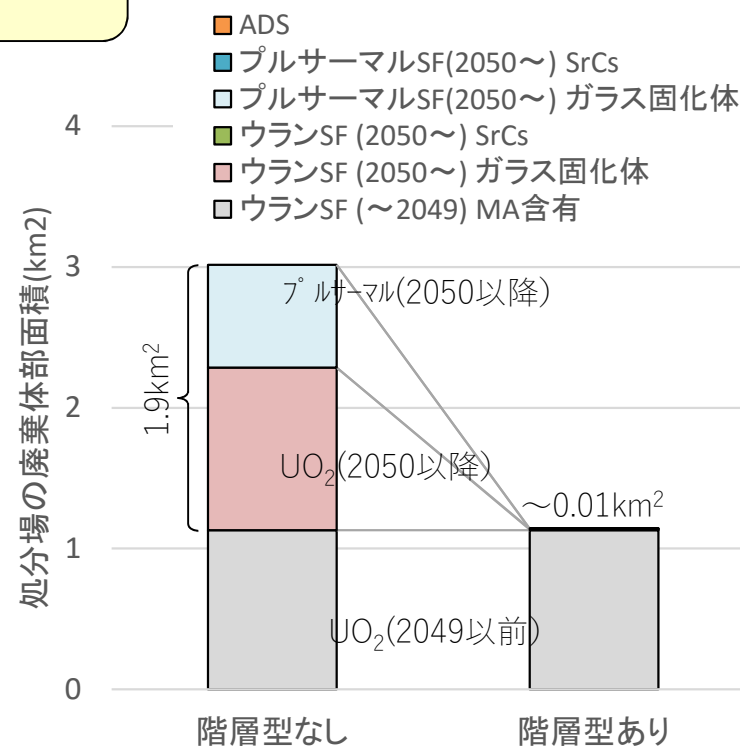
# シナリオ1結果：2086年までの廃棄物

## HLW発生本数



- ✓ 2050～2086年の軽水炉からの廃棄体発生本数が4.2万本から1.7万本に減少する。(-60%)

## HLW処分面積

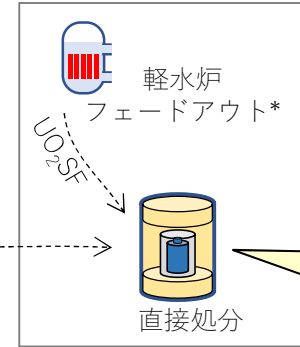
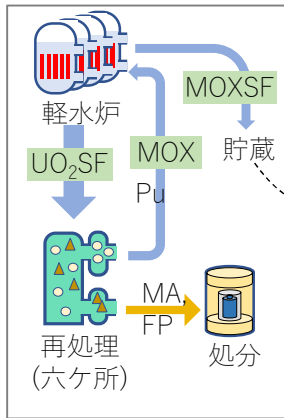


- ✓ MAの分離変換とSrCsの分離後長期（～300年）貯蔵により、集積定置が適応可能。処分場面積は二桁減。

# シナリオ2： 軽水炉フェードアウト

2020 2050 2100 西暦 →

2050年頃の  
分離変換  
導入なし

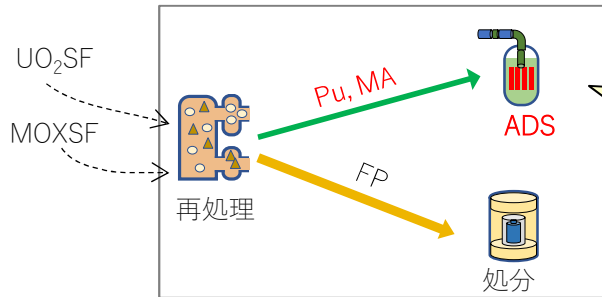


\*全ての軽水炉の60年  
運転を仮定

再処理しなかったウラ  
ンSFとプルサーマル  
SFを直接処分

階層型分離変換導入

- 軽水炉フェードアウト後の使用済み燃料に含まれるPuとMAをADSで核変換する。



- ADSはウランフリーのTRU窒化物燃料を想定
- PuとMAを核変換する概念はADSに限らない。高速炉型、軽水炉型を含め、今後の研究開発課題。



# シナリオ2： 処分におけるPuとMAの比較

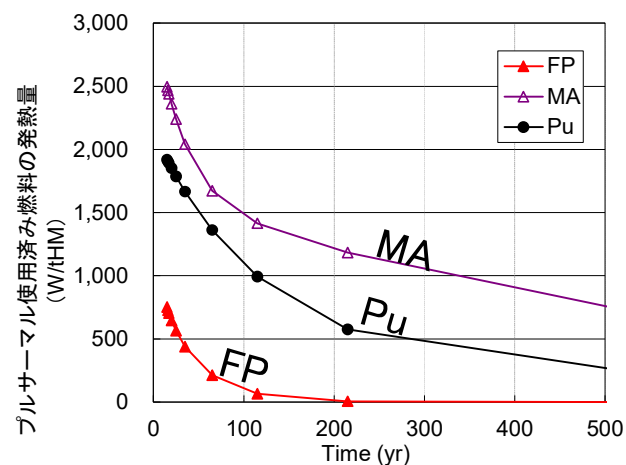


プルサーマル使用済み燃料中の元素重量割合

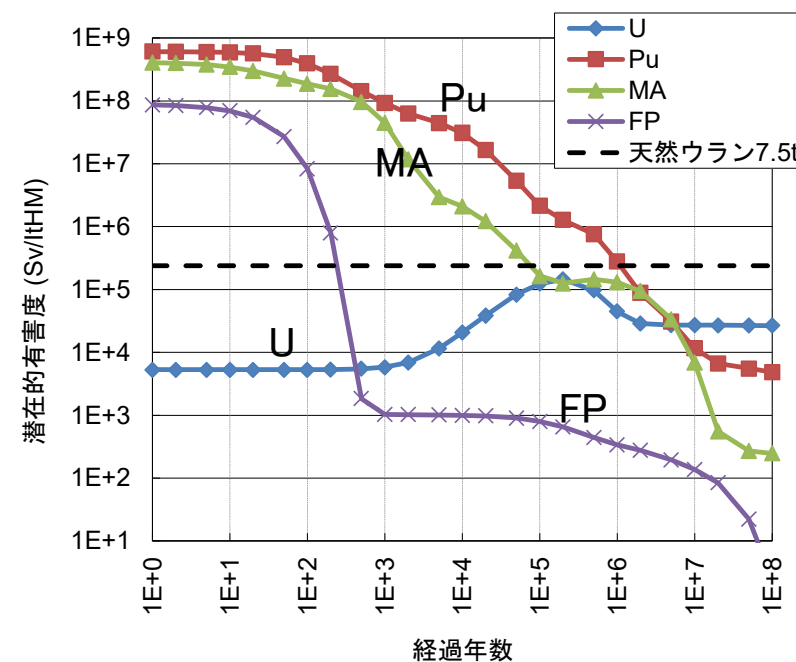
U	87.3%
Pu	7.1%
MA	1.1%
FP	4.6%

\* PWR 45GWd/tHM, 15年冷却,  
Pu初期富化度10wt%

プルサーマル使用済み燃料中の発熱量内訳

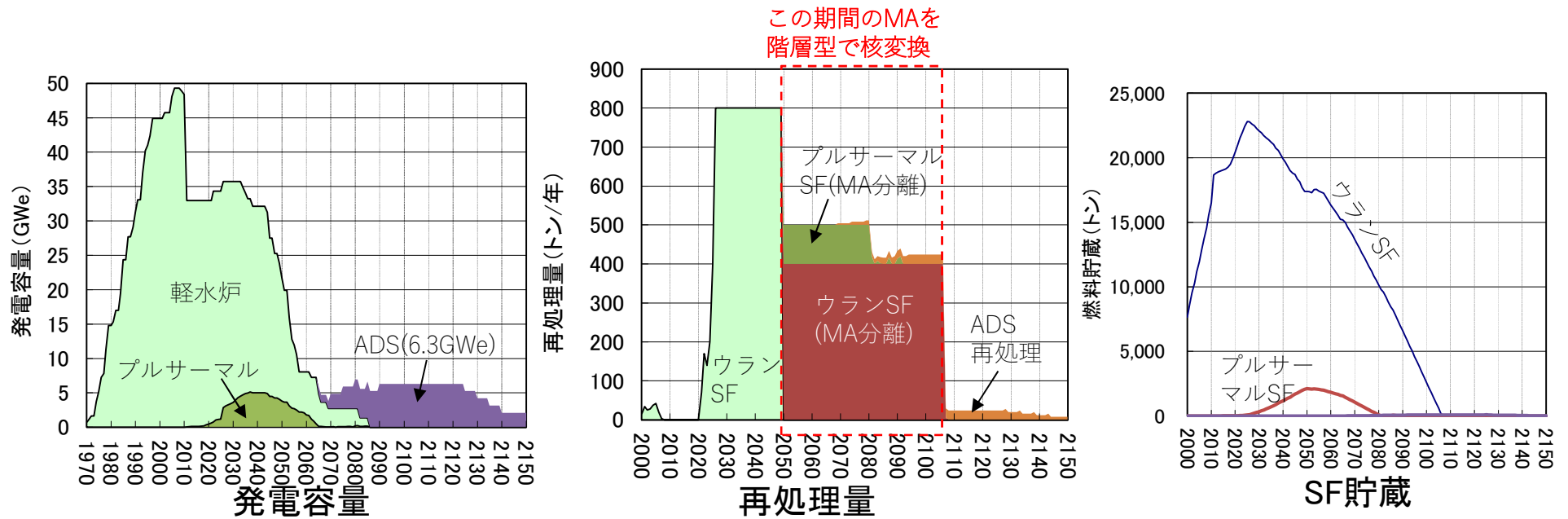


プルサーマル使用済み燃料の潜在的放射性毒性



軽水炉フェードアウトシナリオにおいては、MAよりPuの方が重量と潜在的毒性の観点で処分負荷が高い。また、核不拡散上の懸念も生じる。

# シナリオ2結果： 発電容量など



- ✓ 2086年に軽水炉発電が終了
- ✓ 最大24基(6.3GWe)のADSを2065年に導入
- ✓  $MA/(MA+Pu)=15\sim 20\%$

- ✓ 2050年以降400t/年規模でMA分離を導入した再処理を実施。
- ✓ 2055年以降、100t/年でプルサーマルSFを再処理・MA分離。
- ✓ ADSの再処理は24t/年

- ✓ ウランSFの貯蔵は2100年付近まで。



# まとめ

---

- 今世紀後半での原子力利用シナリオは不透明であるが、軽水炉からのウラン・プルサーマル使用済み燃料のバックエンド対策が必要となる。
- 今世紀後半の階層型分離変換の導入により、廃棄物発生量と処分場の規模を低減できる。
- フェードアウトシナリオで分離変換を導入する場合には、プルトニウムを含めた超ウラン元素の核変換が必要となるが、そのための炉概念は研究開発課題である。

---

# 第1回TFの補足： ADSの経済性と安全性について

(6) ADS階層型のコスト試算

# ADSを使った階層型分離変換技術のコストの予備的検討

ADSのコスト 予備検討 (単位:億円)

項目	建設	運転維持	解体	計
ADS 炉心部分	1,700	2,720 <sup>a)</sup>	140 <sup>b)</sup>	4,560
ADS 加速器部分	590	940 <sup>a)</sup>	50 <sup>b)</sup>	1,580
計	2,290	3,660	190	6,140

a) 建設コストの4%が毎年かかるとした。（寿命は40年間と仮定）

b) 建設コストの8%とした。

ADSの燃料サイクルコスト (単位:億円)

項目	コスト
ADS 4基	24,600
群分離工程	5,700
MA燃料製造	5,200
MA燃料再処理	4,500
ADSによる発電電力を売電	-7,500
処分場建設コストの低減	-19,000
計	13,400

(群分離工程:5HMt/年、MA燃料製造・再処理:10HMt/年)

- 収支バランス: **0.12 ~ 0.13 円/kWh**(割引率:0%)
- 消費者価格(約20円/kWh)では、0.6%の上昇  
→ 一般家庭の消費量300kWh/月のうち、1/3が原発によると仮定すると、各家庭で12~13円/月の負担増
- 単純な発電システムとすると、**21円/kWh**
- **ADSのコスト削減と、処分場建設コスト低減効果の高精度化が必要**

# ADSの安全性に関する検討状況

レベル1PSAにより設計基準事象を抽出し、対応方策を検討した。

表 10<sup>-6</sup>/炉年を超える事象

JAEA-Research 2009-024

シーケンス No	カテゴリー	起因事象	影響緩和機能の失敗							頻度(/炉年)
			スクラム信号	ビーム停止	1次ポンプトリップ	ガードベッセル健全性	ポニーモータ起動	タービンバイパス	DRACS起動	
2-15	UTOP	ビーム窓破損	×							2.00E-05
9-5	PLOHS	外電喪失							×	5.00E-06

- ビーム窓破損によって陽子ビーム入射位置が炉心から遠ざかるため、炉心出力は急速に低下し、炉心損傷に至らない。
- 真空度悪化により破損を検知し、多段の即時遮断弁で加速器上流を保護するとともに、揮発性の放射性物質の漏洩を防止する。

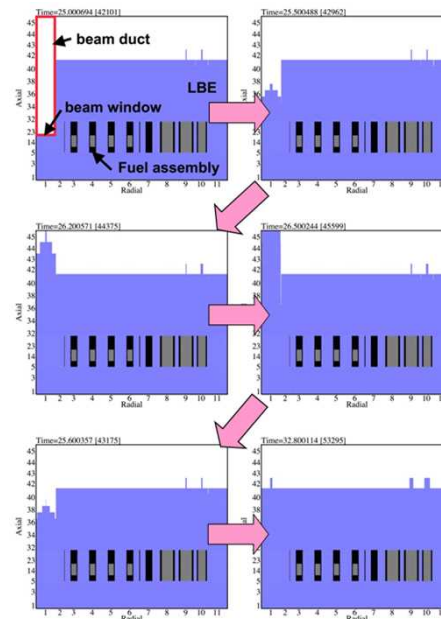


図 ビーム窓破損時のLBEの挙動

- 1次系炉容器内に設置された4系統のDRACSにより、受動的に崩壊熱を除去する。
- DRACS起動に失敗した場合でも、炉心損傷に至るまで時間オーダーの余裕があり、アクシデントマネジメントが可能

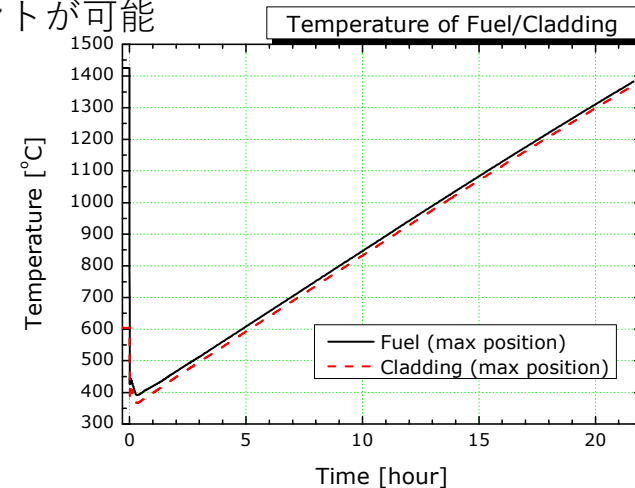


図 DRACS起動失敗時の燃料・被覆管表面温度変化

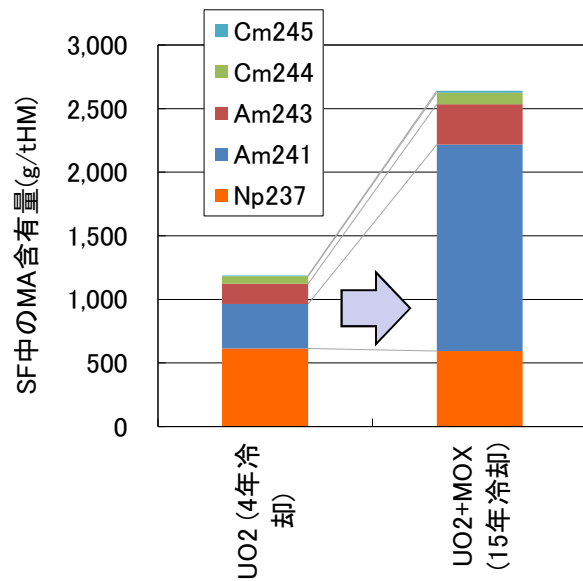


# 参考

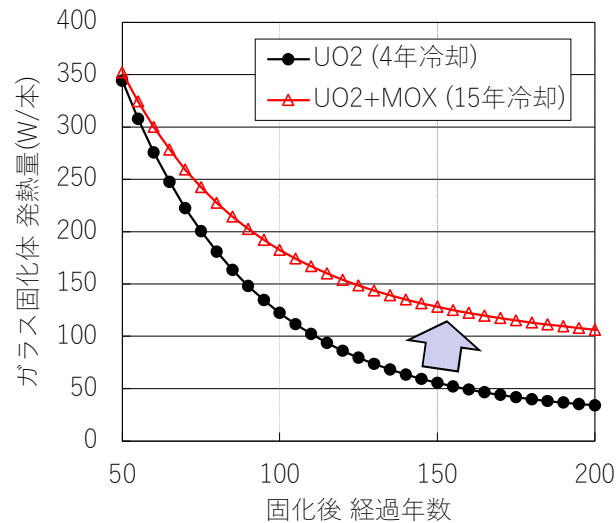
---



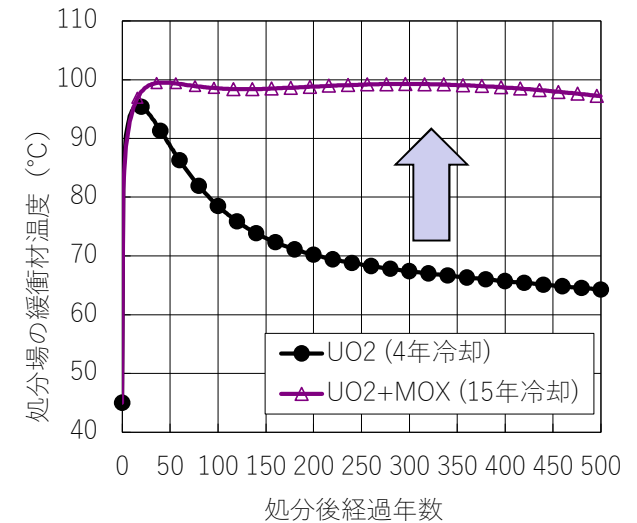
# 冷却長期化とプルサーマルの影響



- ・ SF中のMA量が2倍程度になる。
- ・ 核変換に必要な核変換炉が多く必要になる。



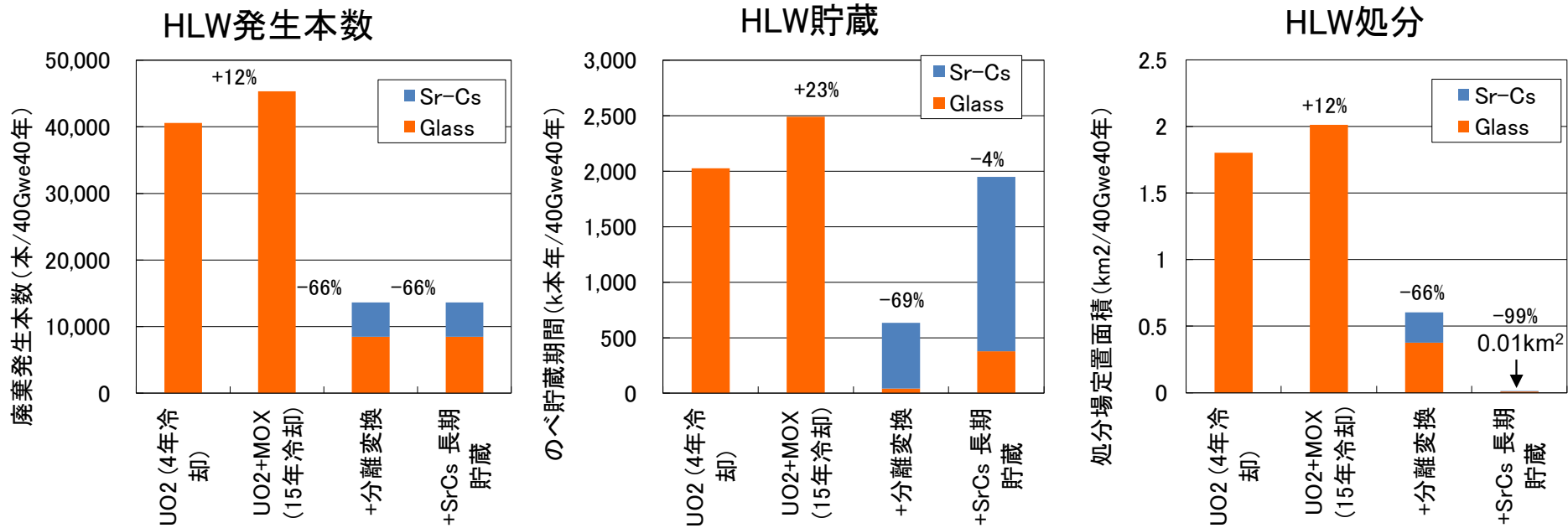
- ・ 分離変換しない場合、50年貯蔵後のガラス固化体の発熱量が、非常に大きくなる。



- ・ 廃棄体含有割合を10.8%から10%に減らし、貯蔵年数を55年に延ばすことで、処分場の温度制限を満たす。



# 軽水炉サイクルに分離変換を適用した場合の廃棄物管理

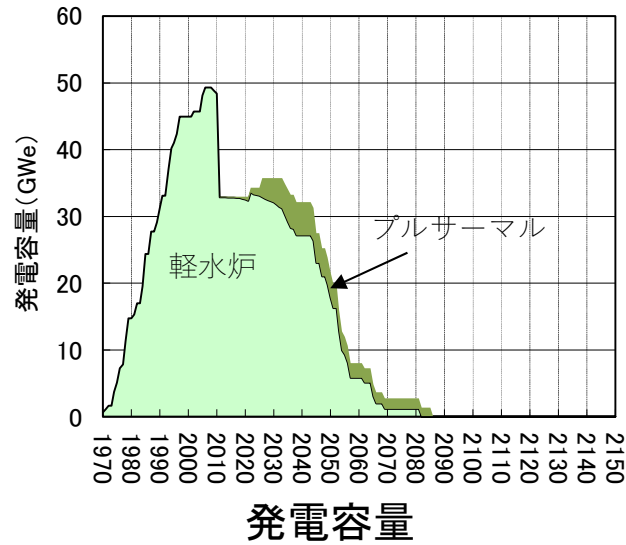


ケース	UO <sub>2</sub> (4年冷却)	UO <sub>2</sub> +MOX(15年冷却)	+分離変換	+Sr-Cs 長期貯蔵
再処理燃料*	UO <sub>2</sub> (4年冷却)	UO <sub>2</sub> 90%, MOX 10% (15年冷却)		
MA	ガラス固化 (10.8%含有)	ガラス固化 (10%含有)	核変換	
Sr Cs			焼成体 (12%含有)	
その他の元素			ガラス固化 (30%含有)	
ガラス固化体冷却年数	50	55	5	45
Sr Cs冷却年数	-	-	115	305
処分方式	硬岩縦置き、2D間隔			硬岩集積

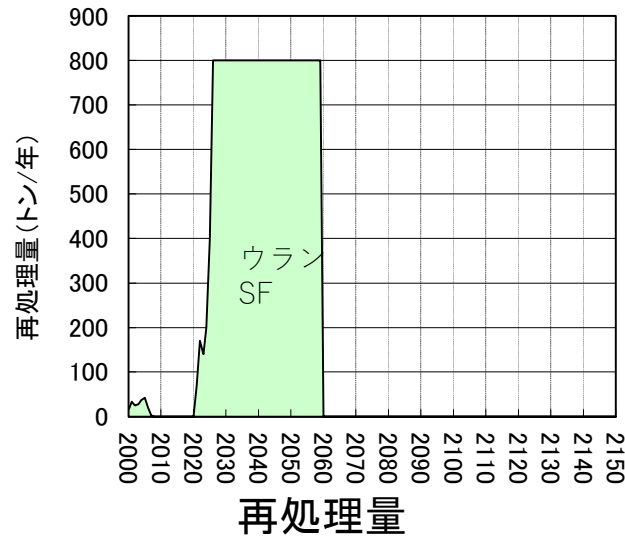
\* UO<sub>2</sub>, MOXともに、PWR 45GWd/tHM。MOXはPu富化度10wt%。

- 冷却期間15年化とプルサーマル使用済み燃料からの廃棄物への影響は軽微(+10%程度)
- 分離変換によって、廃棄体の本数や処分場面積を1/3にするとともに、Sr Csの長期貯蔵を組み合わせることで、大幅に処分場規模を縮小可能。

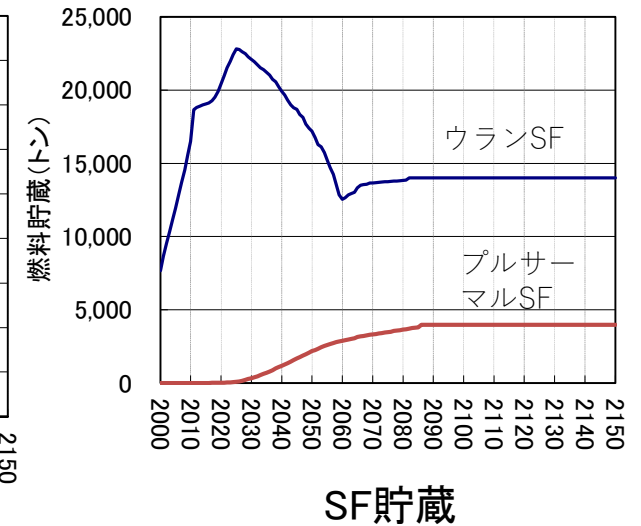
# シナリオ2(分離変換なし)結果:発電容量など



✓ 2086年に軽水炉発電が終了



✓ 余剰のPuが発生しないように、六ヶ所再処理工場は2059年までに28,000トン程度の再処理を実施する。



✓ 14,000トンのウランSFと4,000トンのプルサーマルSFが残り、直接処分される。