第9回ゼロカーボンエネルギー研究所コロキウム
原子力将来シナリオ研究と解析手法の開発動向
2024年2月16日(金)

ケイ化物燃料中小型軽水炉の運用に関する諸量評価

長田　佳己

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

本研究は2023 年度中部電力原子力安全技術研究所公募研究「高安全・核セキュリティ及び低廃棄物処分負荷を同時達成する中小型軽水炉に関する研究」において実施したものである。

高安全・核セキュリティ及び低廃棄物処分負荷を同時達成する中小型軽水炉に関する研究

事故耐性燃料としても有力なケイ化物燃料に着目

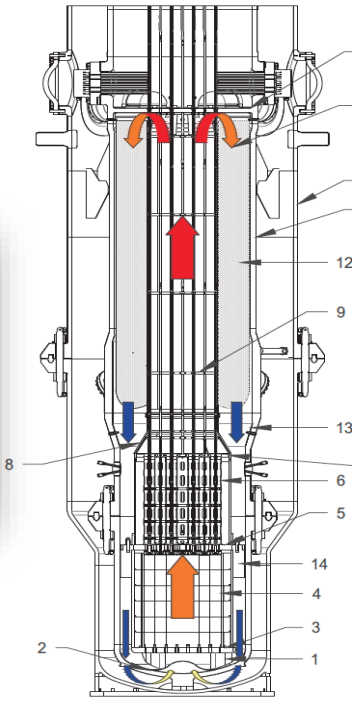


・ケイ化物燃料

(高重金属密度、高熱伝導率、化学的安定性)

・回収U

・回収MA



中小型軽水炉[1]

(160MWth PWRを想定)

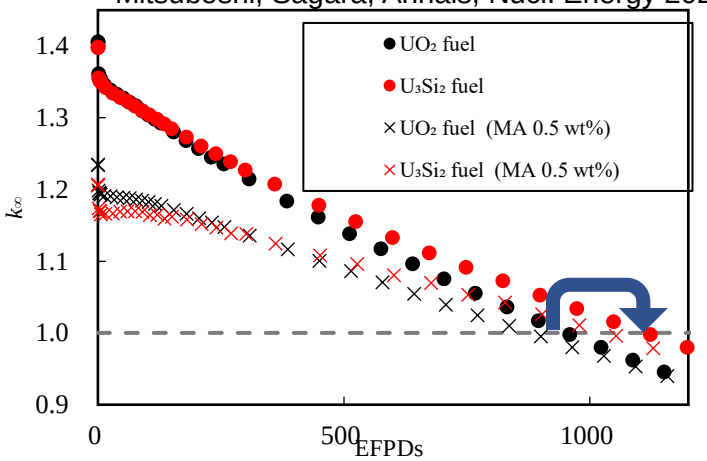
[1]NuScale型PWRイメージ図, 2020

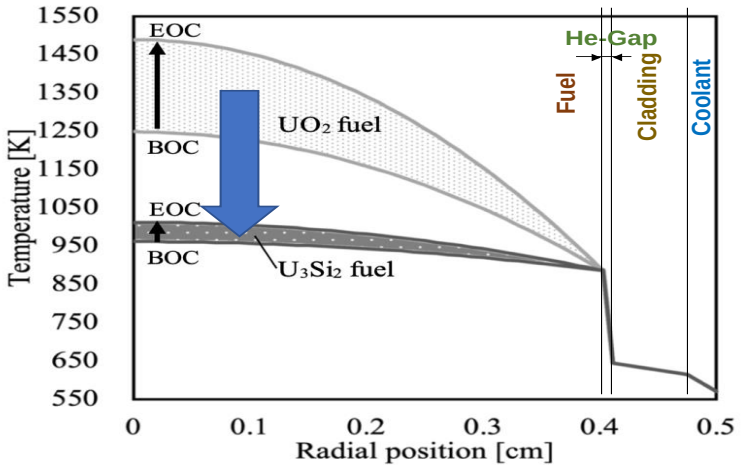
高中性子経済性

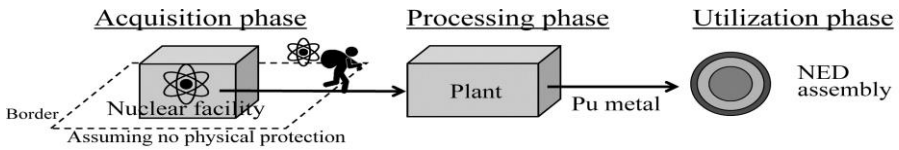
高安全性

高核不拡散・セキュリティ性

Mitsuboshi, Sagara, Annals, Nucl. Energy 2021







本発表ではNMB4.0を用いた
回収U・回収MAを利用することで更なる利用価値の向上への検討
国内外の発電への貢献の評価の紹介を行う

燃料物性による核セキュリティリスクの本質的低減

我々の研究へのNMB4.0の活用

回収U と回収MAの新たな利用価値（廃棄対象から価値創造への転換）
→核燃料サイクルシステムの成立性確認で諸量評価が必要

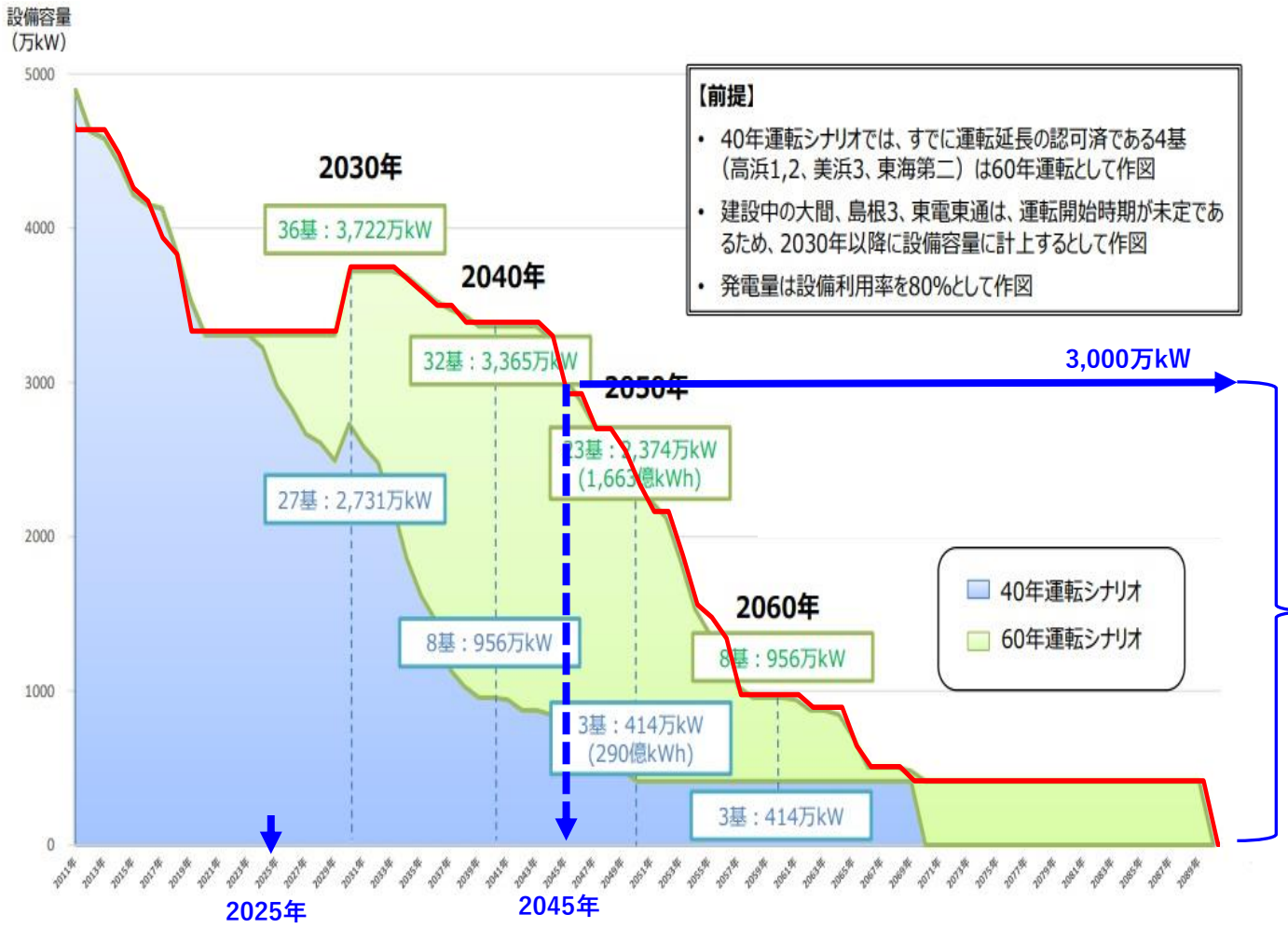
評価対象

・従来の大型炉サイトを置き換えての運用を想定した**標準型中小型軽水炉**
・遠隔地など限定した地域での運用を想定した**長期運用型中小型軽水炉**

本日の紹介内容

・回収Uと回収MAの利用・消費による処分負荷の低減
・国内運用を想定した標準型中小型軽水炉
・海外展開を想定した長期運転型軽水炉
運用形態の多様化に伴った諸量評価の手順とその結果

諸量評価：発電容量の設定

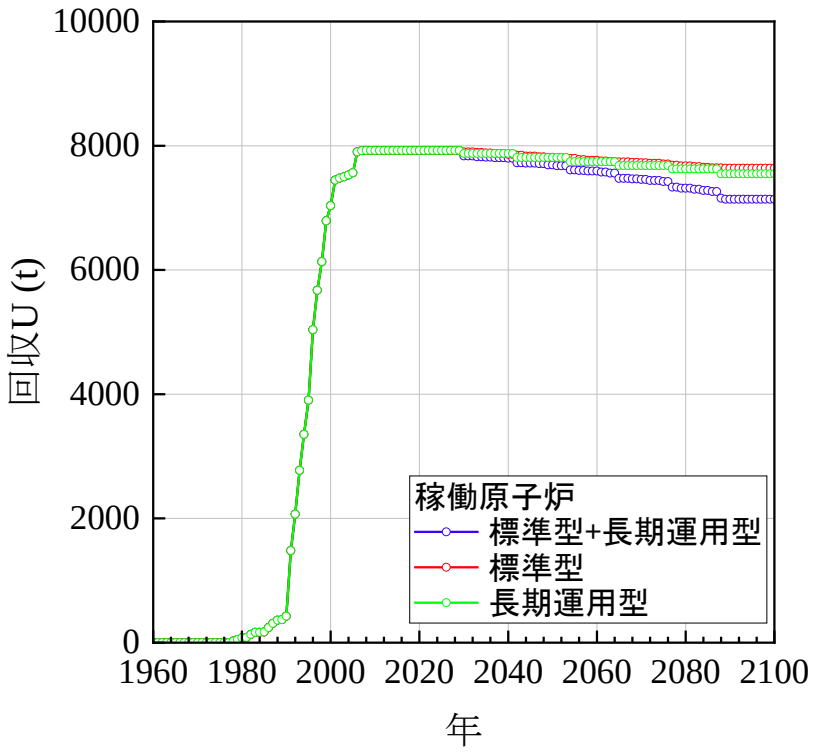


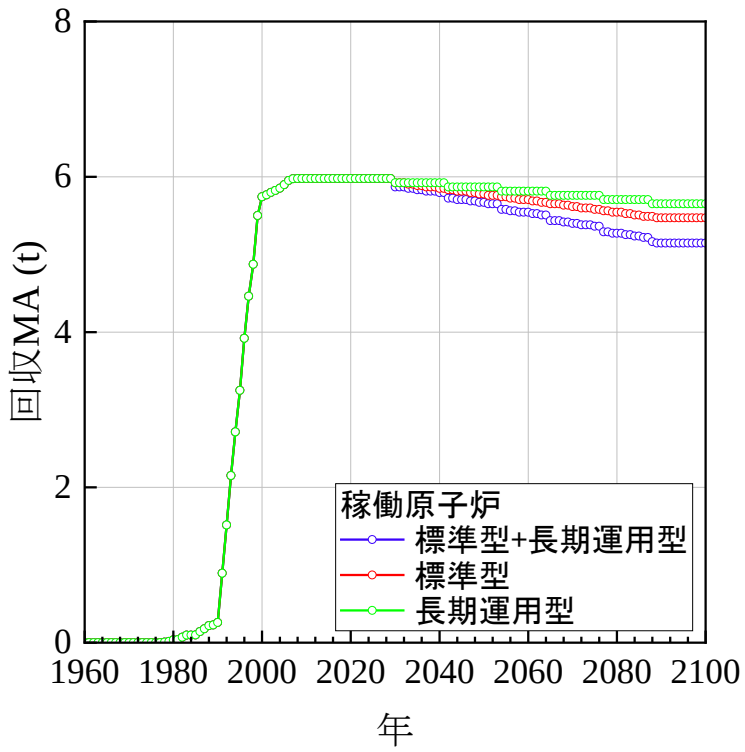
2025年
六ケ所再処理工場運転開始：処理量800t/年
2030年
回収U利用のU_3Si_2燃料軽水炉(標準型 & 長期運用型)の運用開始
2045年
①原子力発電設備容量：3,000万kW維持開始
（軽水炉リプレースにより設備容量を維持）
②六ケ所再処理工場：MA分離回収導入
2050年
回収MAを添加したU_3Si_2燃料の利用開始

2050年カーボンニュートラルの実現に向けた検討、資源エネルギー庁,
令和2年12月21日に追記

諸量評価における計算条件

- **過去分の資源化**
- **2009年以前に行われた再処理による回収U,潜在的な回収MAを使用したケイ化物燃料LWR導入の基本型の効果確認**





計算条件：基本的な炉の諸元

(1) 2030年に標準型軽水炉炉 一基建設
(2) 2030年に長期運用型軽水炉 一基建設
(3) 2030年に標準型,長期運用型の軽水炉が一基ずつ建設

上記の三パターンにて計算

2-a：標準型

U-235濃縮度	3.9wt%
U-235濃縮度(MA添加した場合)	4.4wt%
MA添加量	0.5wt%
熱効率	30%
燃料バッチ数:	3
燃料バッチ期間:	1.98 (年)
比出力:	14.75 (MW/t)
炉寿命:	60年

2-b：長期運用型

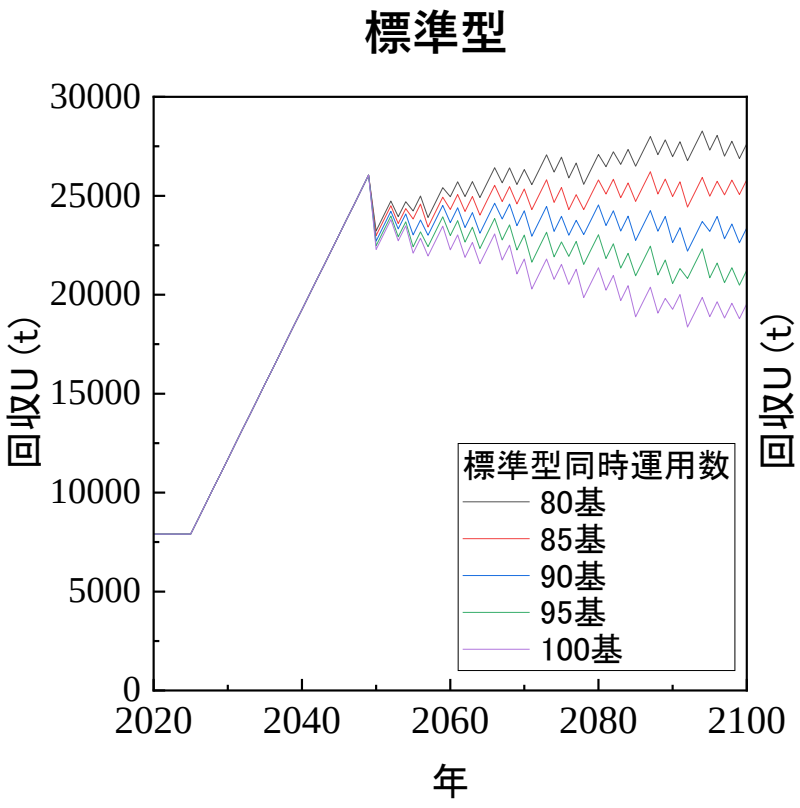
U-235濃縮度	7.8wt%
U-235濃縮度 (MA添加した場合)	8.4wt%
MA添加量	0.5wt%
熱効率	30%
燃料バッチ数:	1
燃料バッチ期間:	9.84 (年)
比出力:	14.75 (MW/t)
炉寿命:	60年

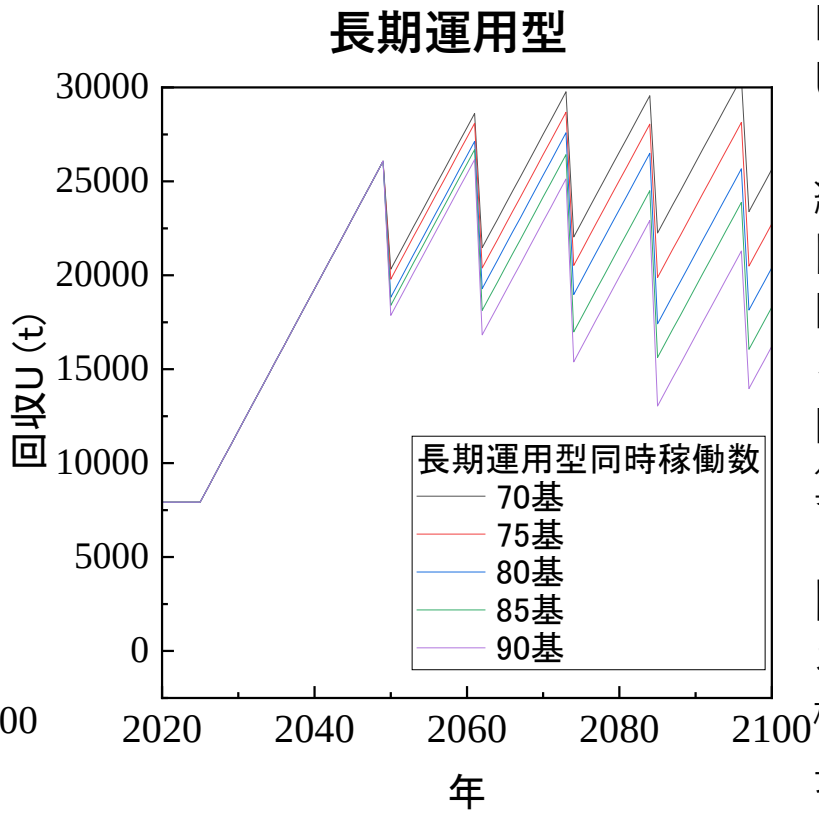
※燃料バッチの長さは
燃焼度/比出力/燃料バッチ数/365.25で算出

回収Uによる維持可能の運用数の計算

- **2050年以降の燃料バッチに基づく回収Uの消費量と再処理による回収の均衡の確認**
- **標準型:90基、長期運用型:80基をそれぞれの同時運用を行った場合の諸量評価**

標準型、長期運用型同時運用数の計算





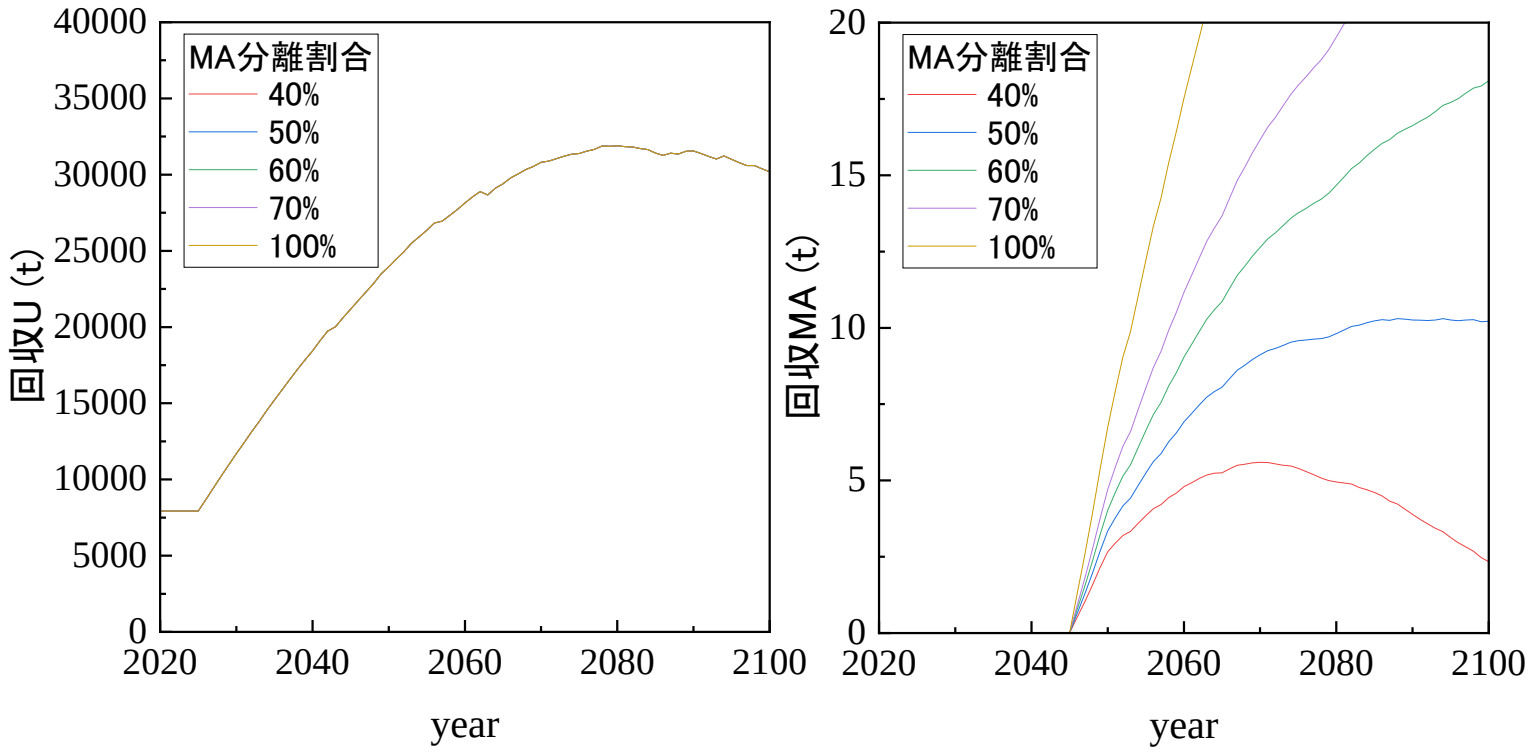
MA添加を行った場合の方が
Uの消費量が増えるため

維持できる
同時運用数を見る場合
MA回収が始まる2045年以降から計算
を行った方がいいため
MAのストックがたまる2050年から計
算をスタート

回収量と消費量が
おおむね
標準型が90基
長期運用型が80基で釣り合う形になる

標準型の国内での導入計画

- **2030年以降に標準型を最大90基分散運用した場合の諸量評価**



計算条件

六ケ所　再処理開始時期　2025年
年間再処理量　800t

MA分離開始時期　2045年

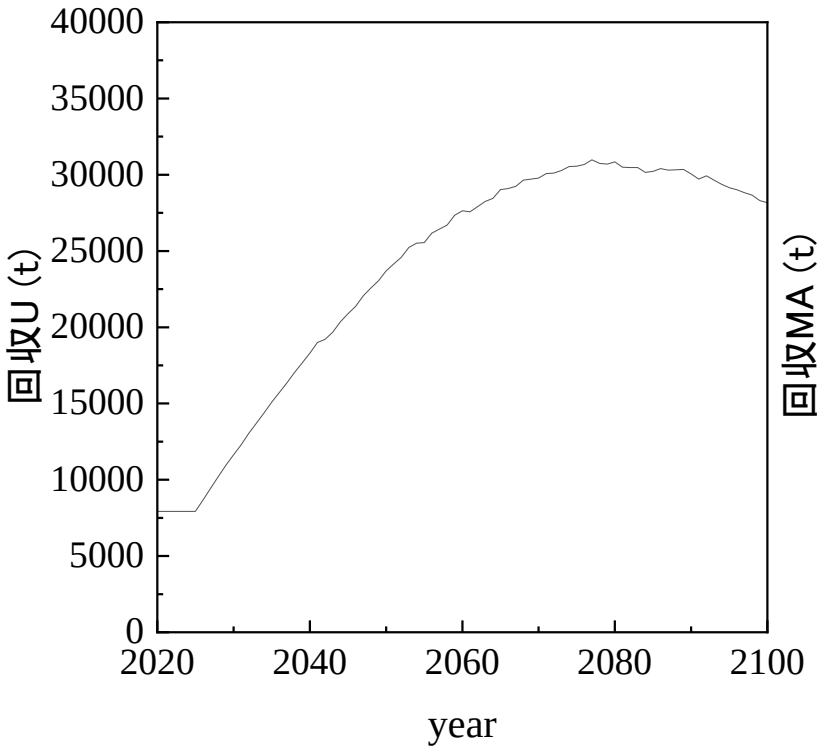
2030年から標準型の運用開始
2030年以降年間1.5基運用
最大同時運用数　90基

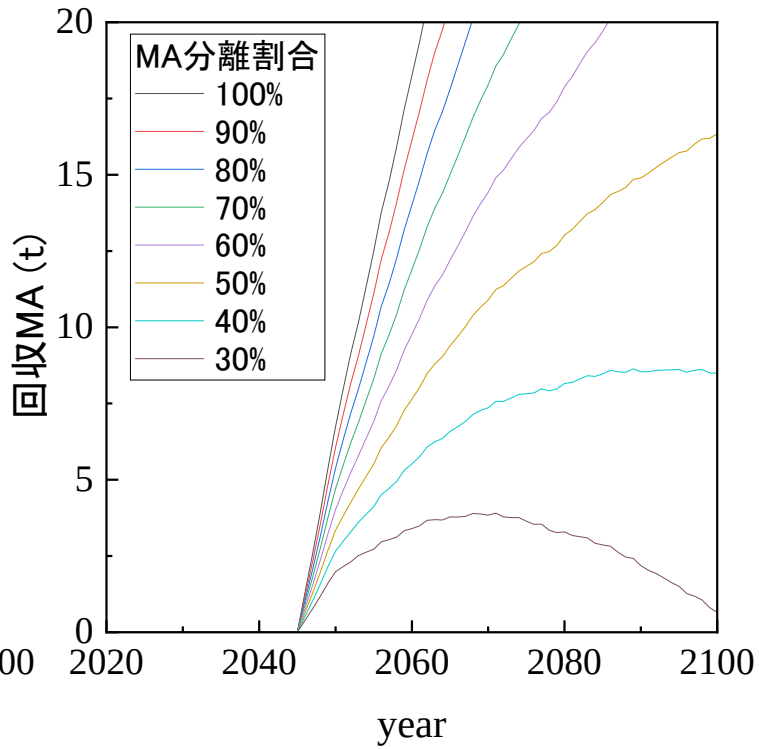
炉寿命60年

2030-2050年まではMAを使用せずに運用
2050年以降はMAを用いた燃料を使用して計算を行う

標準型長期型を組み合わせた国内での運用計画

・2030年以降に標準型を45基、長期運用型を40基分散運用した場合の諸量評価





計算条件

六ケ所　再処理開始時期　2025年
年間再処理量　800t

MA分離開始時期　　2045年

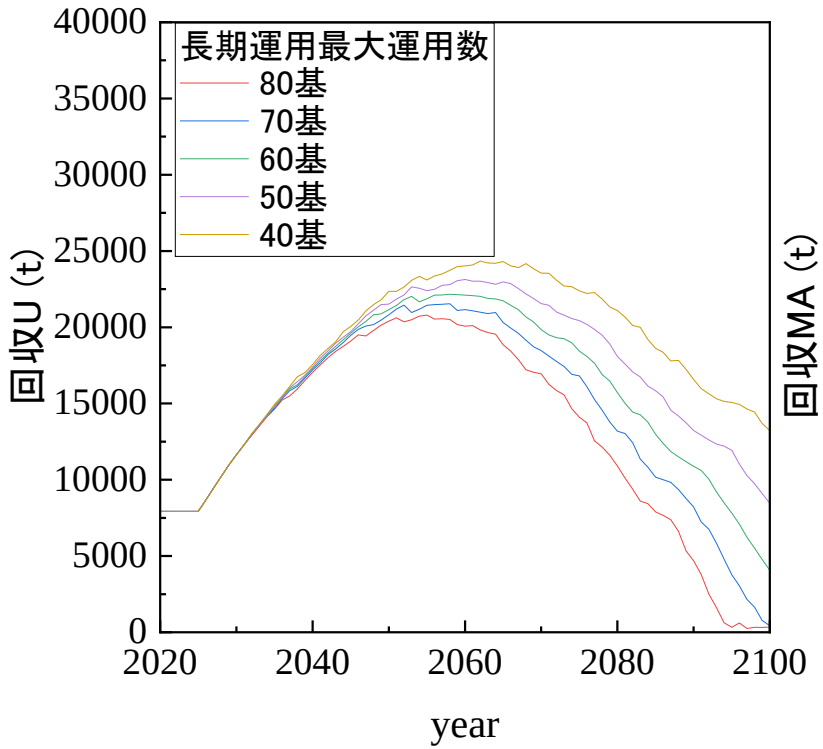
2030年から標準型、長期運用型の運用開始

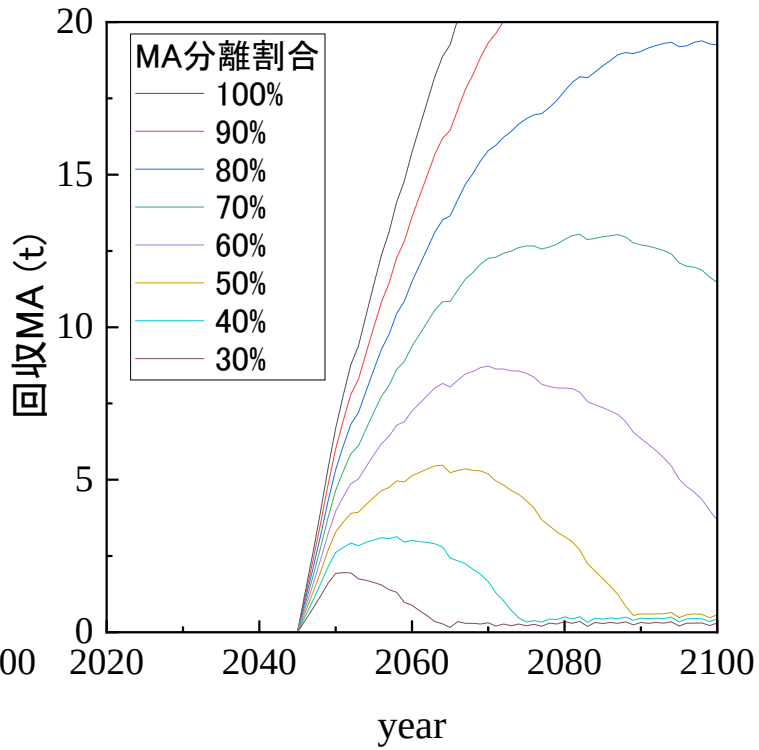
標準型　　60年で45基
長期運用型　　60年で40基運用
炉寿命60年

2030-2050年まではMAを使用せずに運用
2050年以降はMAを用いた燃料を使用する
MA分離割合40%で回収量と消費量が均衡する

回収Uの全量消費を目指した運用計画

- **2100年に回収Uの全量消費**
- **標準型を90基、長期運用型を70基分散運用した場合の諸量評価**





計算条件

六ケ所　再処理開始時期　2025年
年間再処理量　800t

MA分離開始時期　2045年

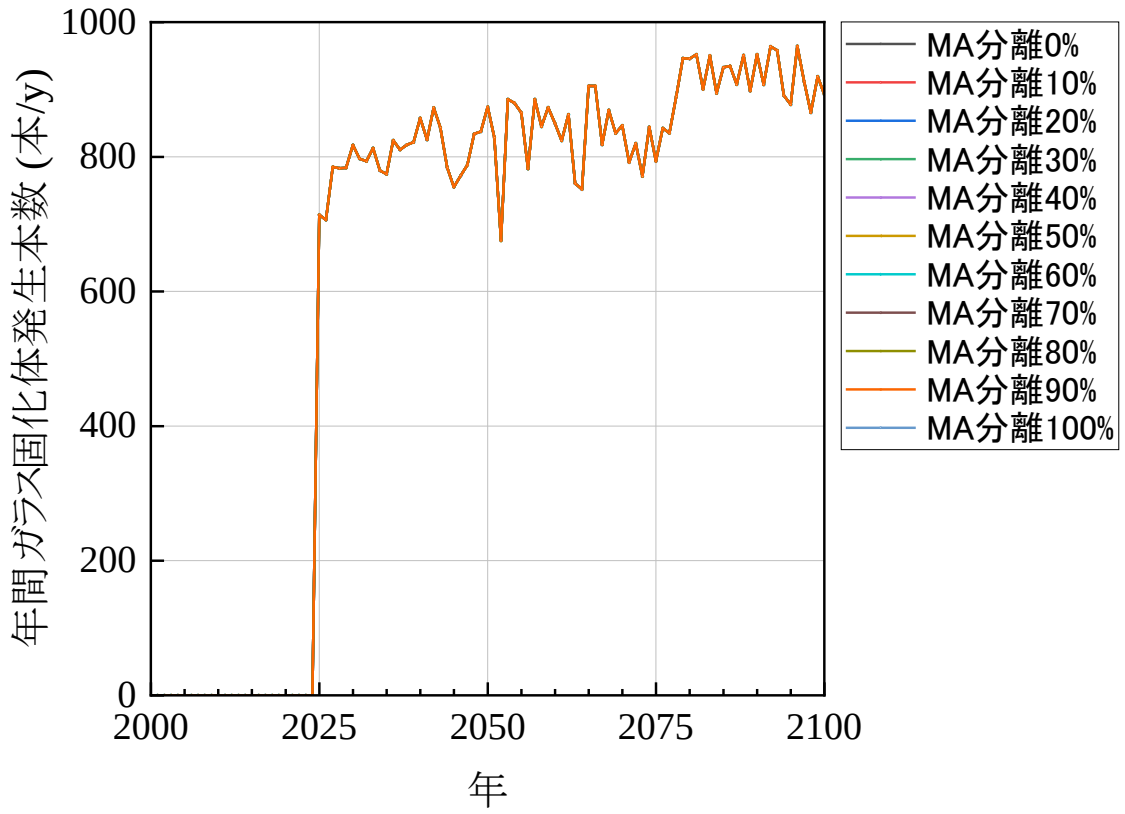
2030年から標準型、長期運用型の運用開始

標準型　60年で90基
長期運用型　60年で40–80基運用
炉寿命60年

標準型を90基,長期運用型を70基で
回収Uの全量消費を行う事ができる

年間ガラス固化体発生本数

- **2100年に回収Uの全量消費**
- **標準型を90基、長期運用型を70基分散運用した場合の諸量評価**
- **UO_2燃料の再処理及びガラス固化条件を適用した**



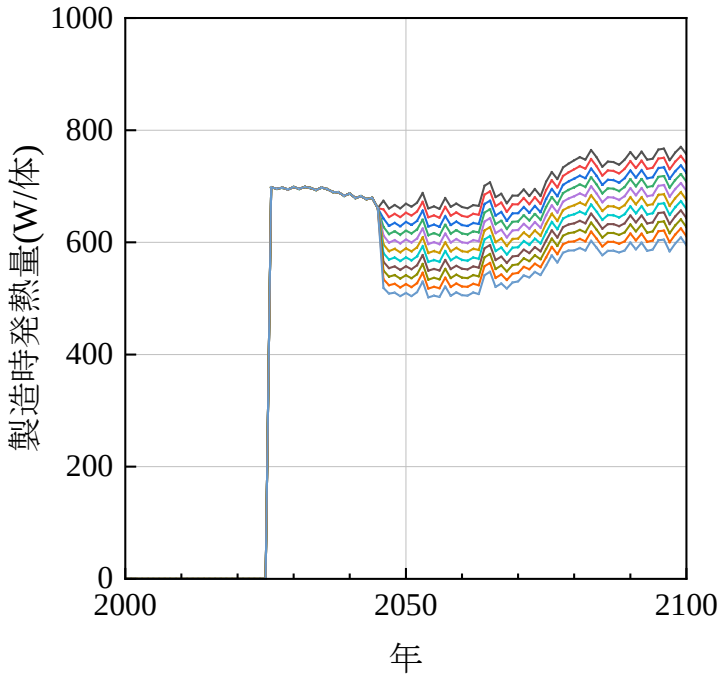
再処理開始	2025年
MA分離開始	2045年
使用済み燃料冷却期間	最低15年
ガラス固化体貯蔵期間	50年
ガラス固化制限	廃棄物成分割合 製造時発熱量 MoO_3含有率 PGM含有率

廃棄体発生本数はMA分離割合を変更しても一定値
ガラス固化体製造における制限がMoO_3の含有率にかかるためMA分離割合の影響がでない

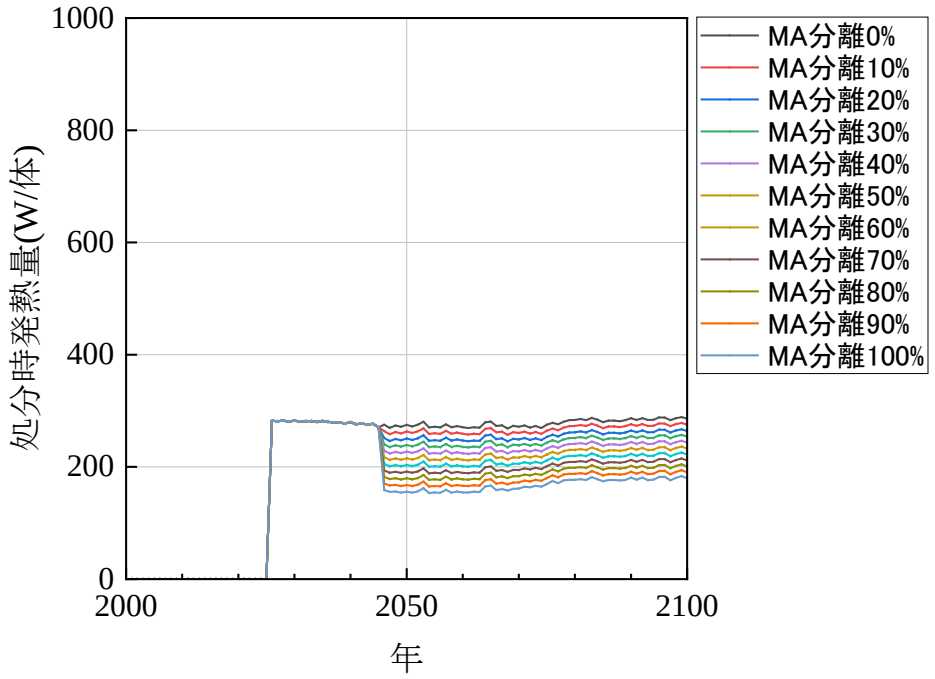
ガラス固化における整合性の確認

- **2100年に回収Uの全量消費**
- **標準型を90基、長期運用型を70基分散運用した場合の諸量評価**

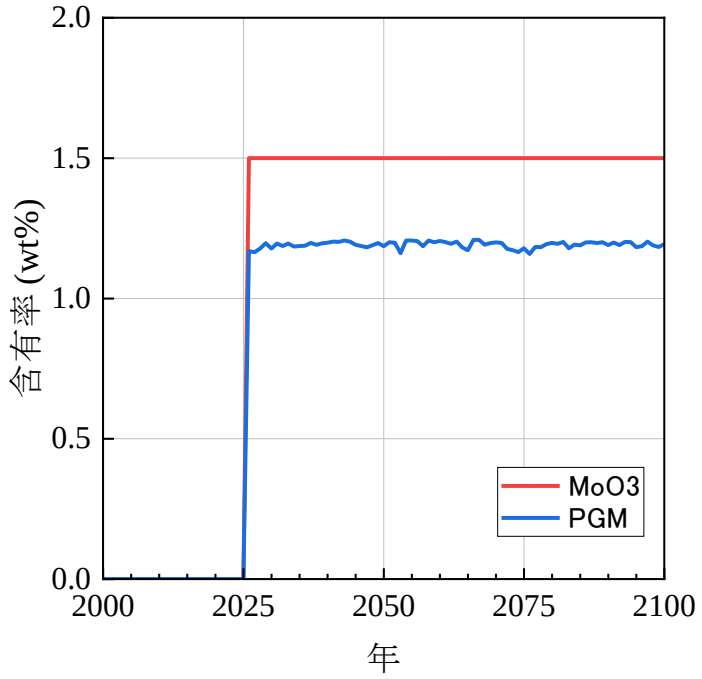
ガラス固化体**製造時**発熱量



ガラス固化体**処分時**発熱量



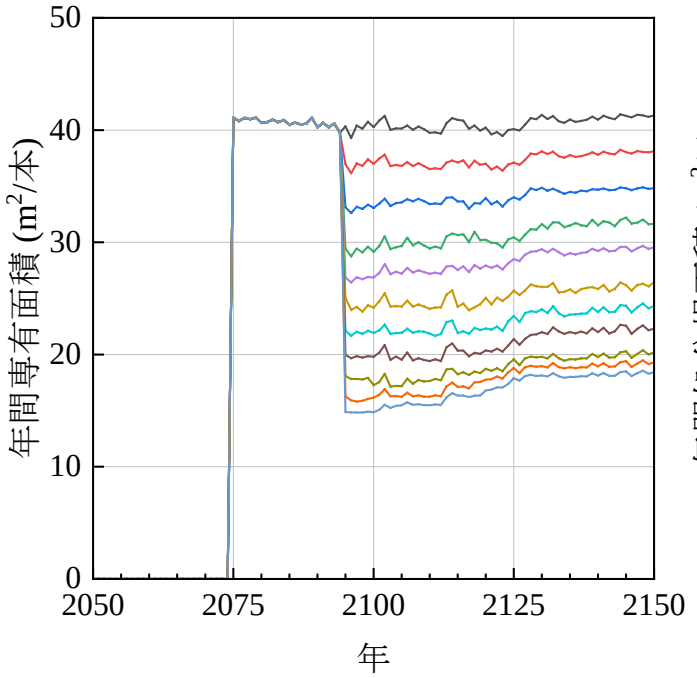
MoO_3,PGM含有率



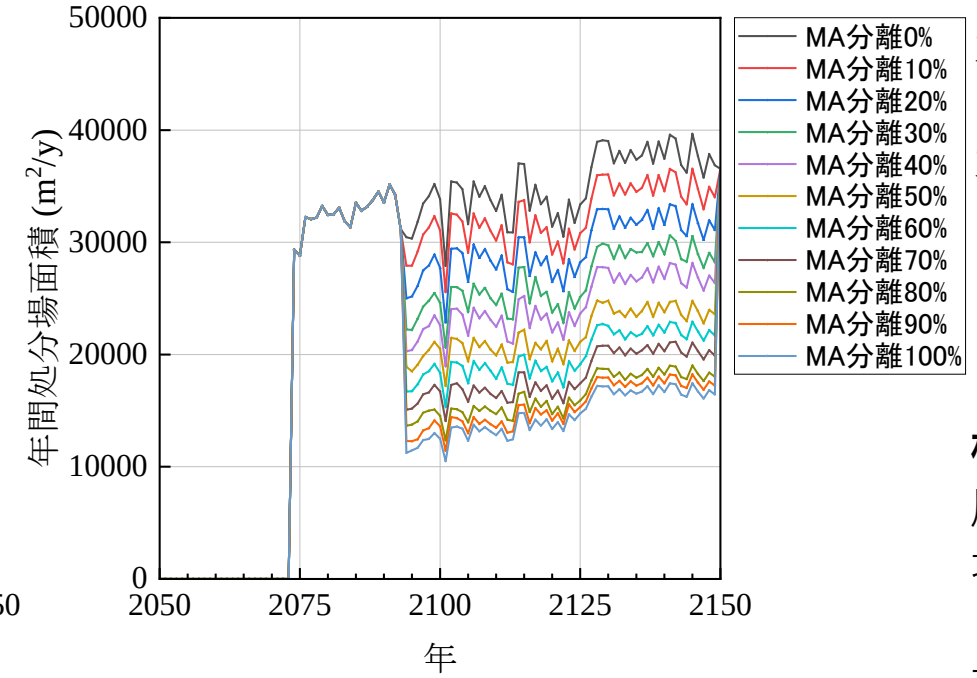
MA分離割合毎の年間処分場面積

- **2100年に回収Uの全量消費**
- **標準型を90基、長期運用型を70基分散運用した場合の諸量評価**

ガラス固化体
1本あたりの処分場面積



ガラス固化体
年間の処分場面積



再処理開始	2025年
MA分離開始	2045年
使用済み燃料冷却期間	最低15年
ガラス固化体貯蔵期間	50年

ガラス固化制限

- 廃棄物成分割合
- 製造時発熱量
- MoO_3含有率
- PGM

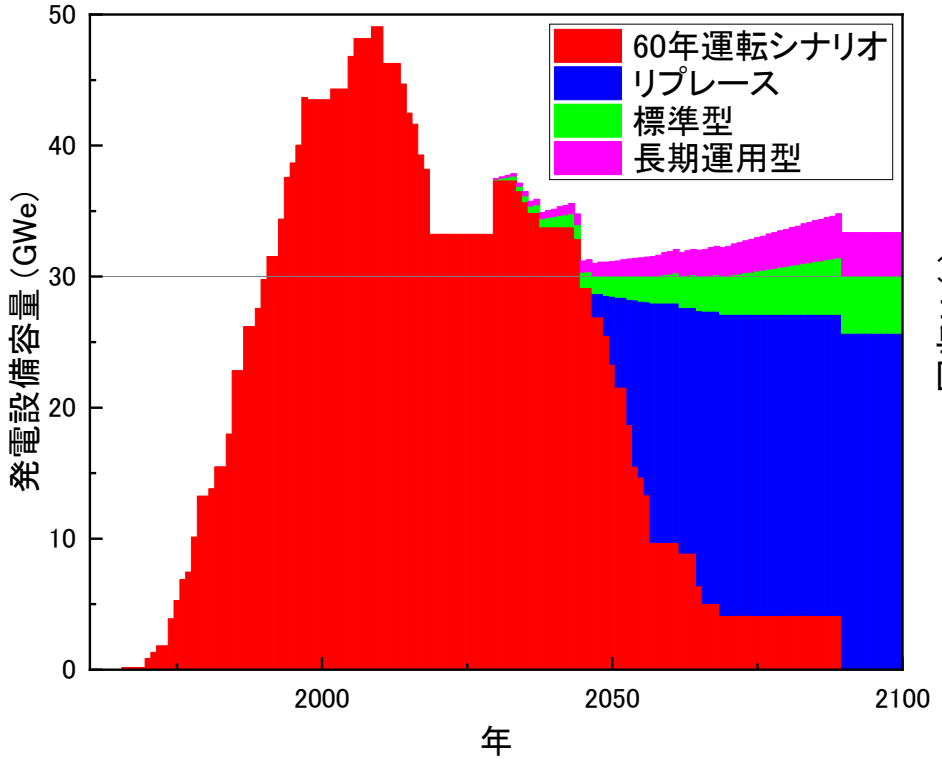
横置き処分場

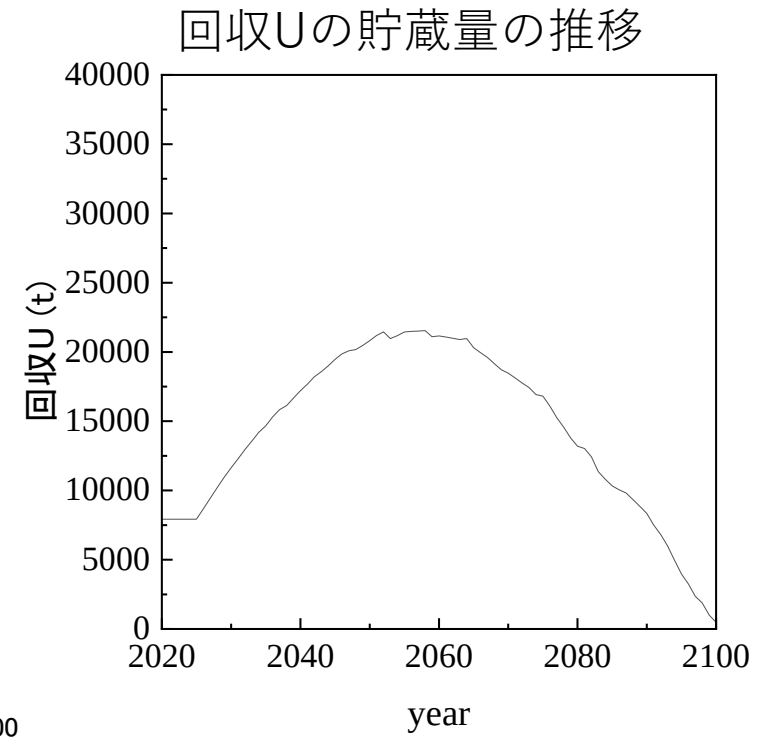
廃棄体ピッチ	3.13m
坑道離間距離	調整(緩衝材制限温度考慮)

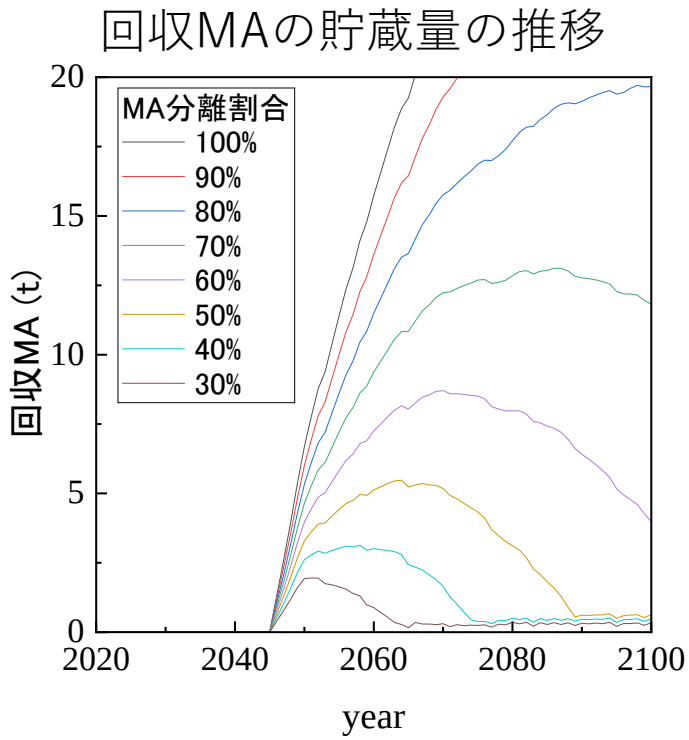
坑道離間距離を調整して
処分場面積の削減を行う

海外展開を考慮したシナリオ

- 国内3000万kWを維持
- 2100年に回収Uの全量消費
- 標準型:国内　　90基
- 長期運用型：輸出（海外）　　70基
- 2030年以降に分散運用した場合の諸量評価







標準型、長期運用型の運用における諸量評価手順のまとめ

- 標準型、長期運用型のケイ化物燃料中小型軽水炉の諸元の設定
- 回収U利用による標準型、長期運用型の最大運用数の計算
- 標準型、長期運用型の現実的な運用パターンでの回収U、回収MAの推移の計算
- 回収Uの全量消費を目的とした中小型炉の運用パターンの計算
- MA分離における処分負荷評価
- 輸出を想定した場合の運用パターンの例示

ご清聴ありがとうございました

本研究は2023 年度中部電力原子力安全技術研究所公募研究
「高安全・核セキュリティ及び低廃棄物処分負荷を同時達成する中小型軽水炉に関する研究」
において実施したものである。