

群分離・核変換技術に係る 検討の経緯（再整理）

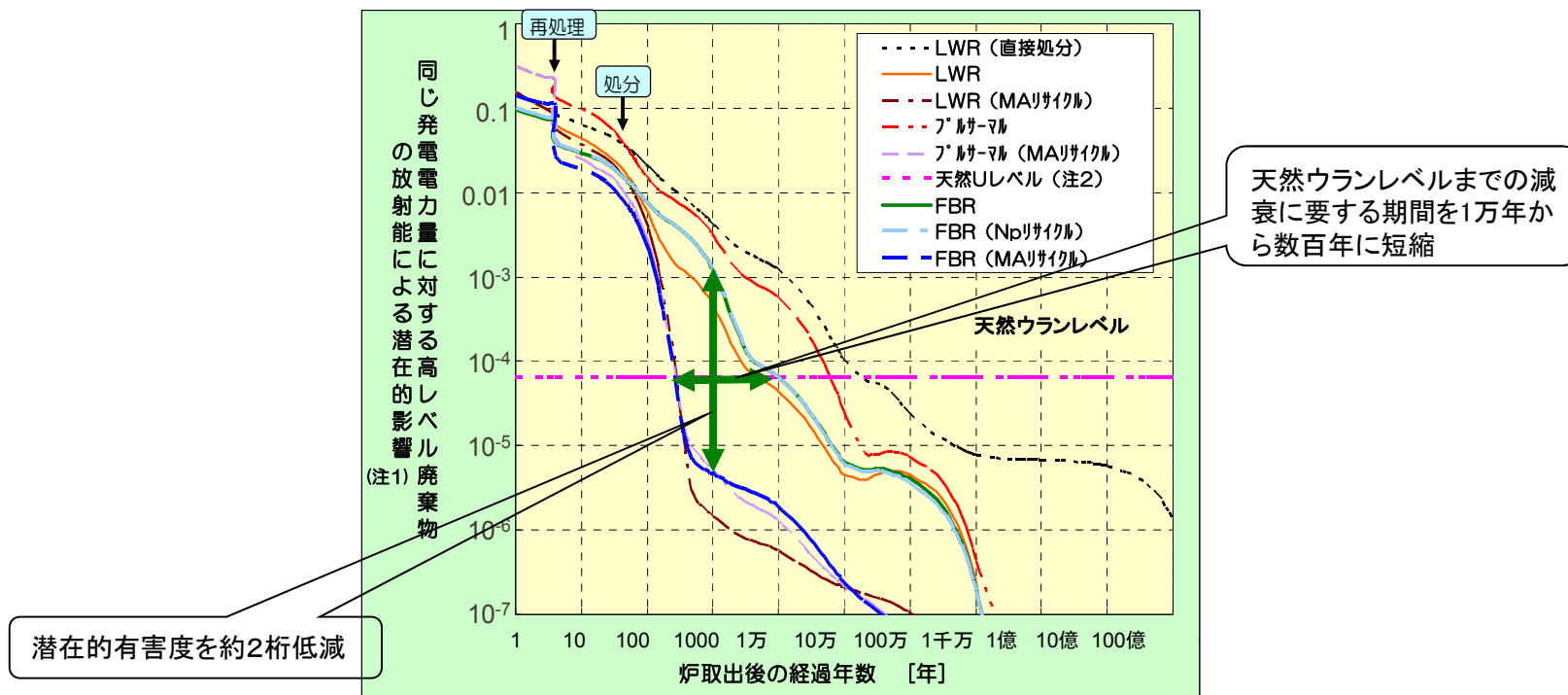
原子力委員会 研究開発専門部会
分離変換技術検討会
2009年4月28日より抜粋

1. 分離変換の導入効果(1/6)

(1) 潜在的な有害度の低減

■ **MA**の分離変換を行うことにより、潜在的有害度は1/10~1/1000に減少し、特に炉取り出し後100年以降では、その効果が大きい。

■ また、**HLW**の潜在的有害度が軽水炉燃料の原料である天然ウランとその娘核種のそれを下回るまでには1万年を要するが、**MA**の分離変換を導入し、廃棄体へのアクチノイド元素の移行率を小さくできれば、この期間が数百年にまで短縮される。



(注1) 高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度(経口摂取による年摂取限度で規格化)を示している。使用済燃料取り出し直後の潜在的な影響を1とした相対値。

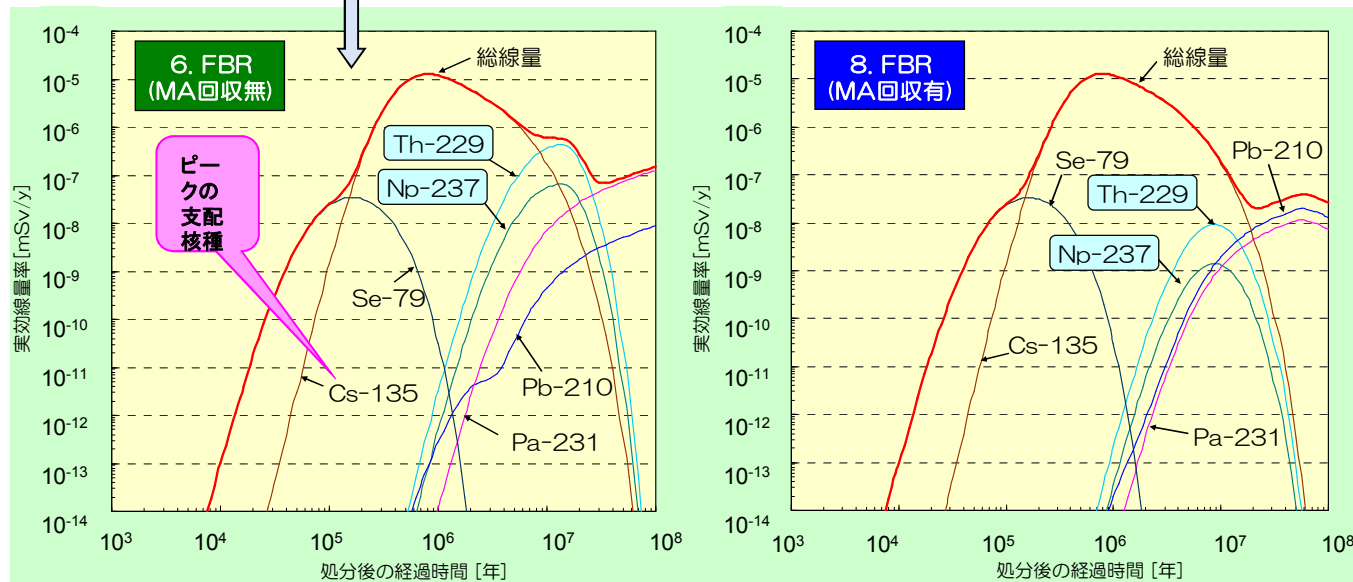
(注2) 天然ウランレベルの線は、LWR(直接処分)のケースで燃料の原料として必要な天然ウラン(190トン強)とその娘核種による潜在的な有害度の経時変化における最大値を示している。

1. 分離変換の導入効果(2/6)

(2) 地下水シナリオに基づく被ばく線量(実効線量率)の低減

- 処分場周辺住民の年間被ばく線量は、地下水シナリオに基づく標準的な核種移行モデルによって評価される。MAの分離変換を燃料サイクルに取り入れなくても取り入れた場合でも、この線量は100万年経過後に 10^{-5} mSv/yでピークとなる。
- MA分離変換を取り入れた場合を取り入れない場合と比べてみると、1000万年以降の被ばく線量が1桁程度下がっている。MAの分離変換は地下水シナリオに基づく実効線量率に対しては実質的な影響を与えないと言える。

諸外国で提案されている安全基準(0.1~0.3mSv/年)に比べて十分低い



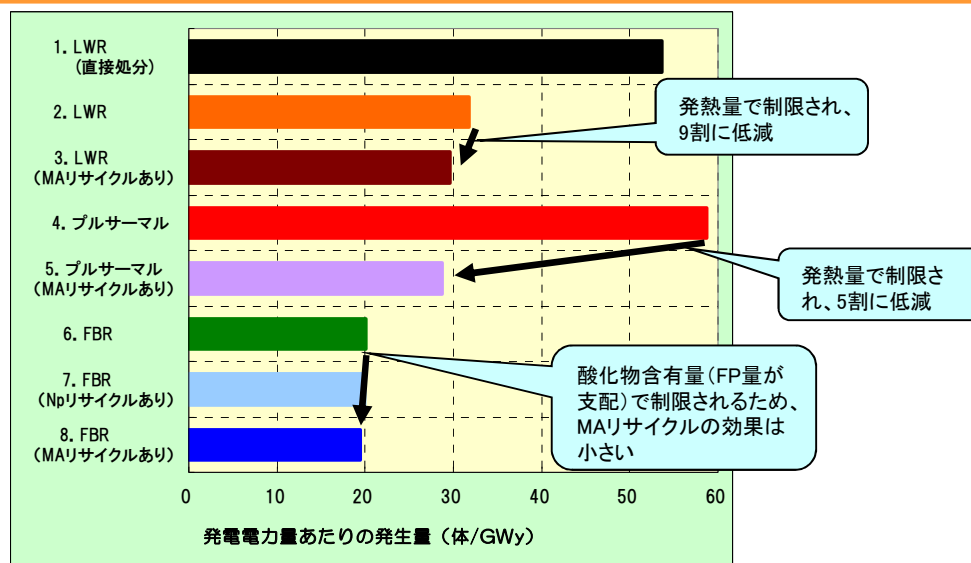
- 地下水シナリオでは、ピークの実効線量率はCs-135で支配され、MA核変換の効果は限定的
- 1000万年頃のNp-237/Th-229による実効線量率は、MAリサイクルによって変化

1. 分離変換の導入効果(3/6)

(3) 処分場に対する要求への影響

① 廃棄体発生量の低減

- 地層処分すべきHLWのガラス固化体発生量を既存のガラス固化体製造条件を基にして単位発電量当たりの発生量で評価した結果、この発生量はMAの分離変換を行うことにより、UO₂燃料軽水炉の場合に約10%、MOX燃料軽水炉の場合に約50%減少する。
- 一方、高速炉では、ガラス固化体発生量が固化体に含まれる酸化物含有量で制限されるために、MA分離変換を導入する効果は小さく、固化体発生量は変わらない。



- MAをリサイクルした場合、発電電力量あたりのガラス固化体発生量は以下の通り。
LWR : 9割程度に低減
プルサーマル : 5割程度に低減
FBR : ほとんど変わらない
- 発電電力量あたりのガラス固化体発生量は、熱効率向上と発熱性FPの発生量が少ないため、FBRの方がLWRよりも少なくなる。

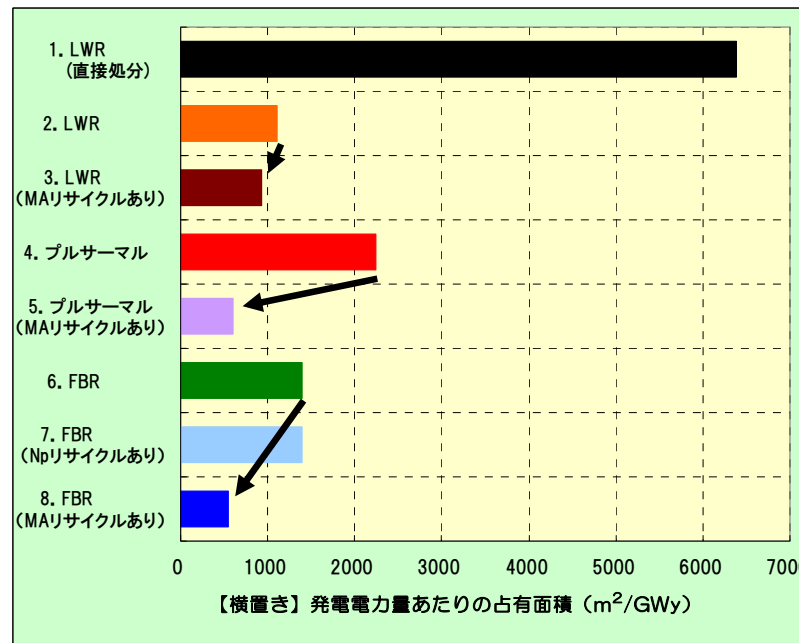
注) LWR(直接処分)のケースについては燃料集合体の体数で表し、それ以外のケースについてはガラス固化体の体数で表している。

1. 分離変換の導入効果(4/6)

(3) 処分場に対する要求への影響

② 処分場面積の低減

- 発電量あたりのガラス固化体発生量とガラス固化体1体当たりの所要面積から評価した発電量あたりに必要な処分場面積は、MA分離変換を導入した場合、 UO_2 燃料軽水炉の場合で80%程度に、 UO_2 燃料軽水炉の場合の2倍以上の面積が必要になるMOX燃料軽水炉の場合には30%程度に、 UO_2 燃料軽水炉の場合の30%増の面積が必要になる高速炉の場合には40%程度に削減される。



ガラス固化体処分条件
- 構造上の強度が十分強い
- 緩衝材温度制限: 100°C

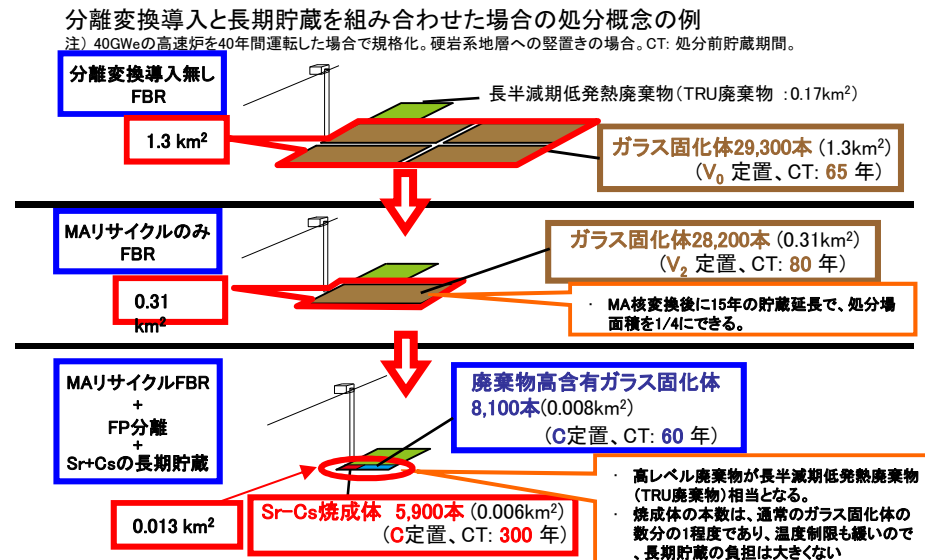
- MAをリサイクルした場合、発電電力量あたりの処分場面積は以下の通り。
 - LWR : 8割程度に低減 (HLW発生量が約9割、HLW1体あたり占有面積が9割に低減)
 - プルサーマル : 3割程度に低減 (HLW発生量が約5割、HLW1体あたり占有面積が5割強に低減)
 - FBR : 4割程度に低減 (HLW発生量はほぼ同じ、HLW1体あたり占有面積が4割に低減)

1. 分離変換の導入効果(5/6)

(4) 処分場に対する要求に影響を与えるパラメータ

① 定置前貯蔵期間の短縮、処分面積の縮小

- 緩衝材温度制限100°Cとする場合、高速炉燃料に対してMAの分離変換を行わないときは貯蔵期間を65年にする必要があること、定置面積をこの場合の半分にするには、 ^{241}Am の影響が軽減されるまで地上において340年間貯蔵する必要があることが示された。
- これに対して、MAの分離変換を導入した場合には、40年の貯蔵で定置することが可能となり、 ^{241}Am を含んでいないことから、貯蔵期間を60年とすれば定置面積を小さくできること、240年間貯蔵するとすれば、集積配置も可能であることが示された。
- MA分離変換と発熱性FP分離の両方を導入した場合には、高含有ガラス固化体は5年間の貯蔵後に1/4の定置面積で定置を行うことが可能となり、60年間冷却後には集積定置が可能となることが示された。



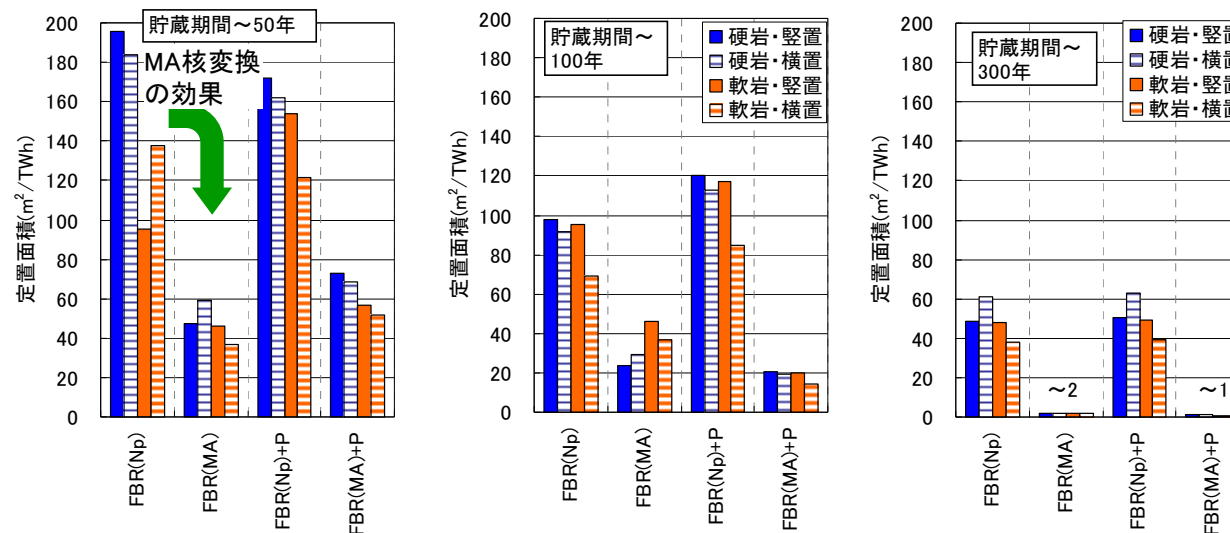
1. 分離変換の導入効果(6/6)

(4) 処分場に対する要求に影響を与えるパラメータ

② 岩種・定置方法

- 分離変換技術の効果に対する岩種及び定置方法が及ぼす影響を見るために、硬岩横置、軟岩縦置、軟岩横置についても同様の検討が行われた。貯蔵期間としては50、100、300年を想定した。その結果、岩種や定置方法ごとに差があるものの、同程度の貯蔵期間を想定した場合、いずれの場合においてもMAの分離変換の効果が顕著に見られることが示された。

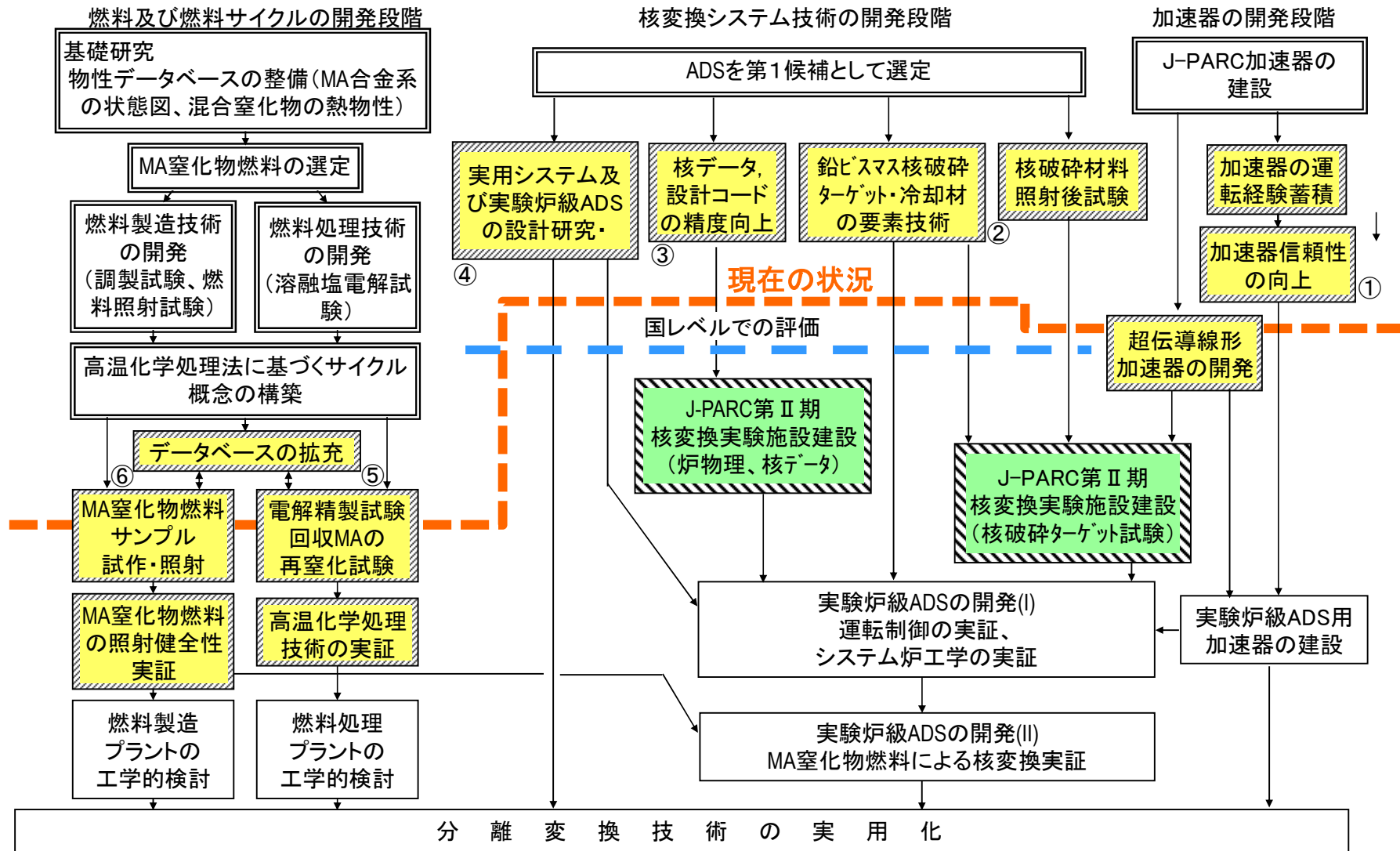
— 貯蔵期間を同程度とした場合の定置面積の比較 —



※厳密には50、100、300年の貯蔵期間となっていない。詳しい条件は後述。

岩種や定置方法ごとに差があるものの、同程度の貯蔵期間を想定した場合、MA核変換の効果が顕著に見られる。なお、軽水炉使用済み燃料からの従来ガラス固化体が硬岩・縦置において占める定置面積は、150m²/TWhである。

2. 平成21年原子力委員会C&Rで提示したロードマップと現状 (加速器駆動核変換システム関連)



 ほぼ終了している部分
 今後10年間の中心部分
 国レベルでの評価を踏まえて進めていく部分

①～⑥: 次ページ対応状況の該当箇所

3. 平成21年原子力委員会分離変換技術検討会での指摘事項と対応状況

ADSの技術課題

原子力委員会分離変換技術検討会での指摘事項	対応状況
ADSが実現する時代に発電システムに要求される安全性、信頼性、経済性といった性能目標の達成を妨げない、もしくは達成に寄与できる加速器の性能・コストが実現していること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ADS用加速器に求められる信頼性向上の方向性について、J-PARCリニアックの運転データから推定したデータを基にした検討を実施。【①】
ビーム窓の工学的成立性を確認すること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ビーム窓の工学的成立性について、使用条件における外力、熱応力、除熱、腐食等の観点から検討し、成立の見込めるビーム窓の概念を提示。【②】
未臨界炉心の制御等の炉物理的課題を高い信頼度で解決すること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 未臨界炉心の炉物理的課題解決に向けて、新たに評価されたJENDL-4.0及び誤差評価システムを基に核変換システムの核データ起因誤差を定量的に評価し、解析の不確かさを低減するために必要な炉物理実験を検討。【③】
Pb-Bi冷却炉の設計及び安全性を高い信頼度で確認すること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pb-Bi冷却炉の安全性検討に資するため、レベル1PSA手法を用いて異常事象を系統的に整理。炉心損傷事故に至る可能性のある事象に対して、高速増殖炉等の安全解析コードを用いた動特性解析を実施。【④】
窒化物燃料の乾式再処理による燃料サイクルシステムの実用性を示すこと	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 窒化物燃料の乾式再処理に実用性提示に向けて、MAの基礎データベースの整備、窒化物燃料固有課題の陽極技術に関するプロセス原理の確認を実施し、周辺工程を含む実用的な乾式再処理プロセスフローを設計。【⑤】
所定の使用条件下での燃料性能及び高燃焼度を達成する窒化物燃料が製造できることを高い信頼度で確認すること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 窒化物燃料の製造技術の実証に向けて、不活性母材含有MA窒化物ペレットの調製条件の確立、ADSの燃料設計に不可欠な熱物性と固溶度の評価式の開発等を実施。【⑥】

3. 平成21年原子力委員会分離変換技術検討会での指摘事項と対応状況（参考）

酸化物燃料FBRサイクル(MA均質サイクル)技術の重点課題

原子力委員会分離変換技術検討会での指摘事項	対応状況
高い信頼性を有する湿式分離法によるMA核種の分離回収システムを構築すること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2つの湿式分離法(抽出クロマトグラフィ法と溶媒抽出法)を開発対象として、MA回収率及び除染係数の向上と発生廃液量低減を目指した抽出剤選定、フローシート構築を進め、湿式分離法の選定のための比較評価に必要なデータを取得中。
MA核種を含むMOX燃料をMA核種による強い発熱・高い線量に阻害されずに実用的に製造できるプロセスを構築すること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ MA核種の発熱・線量の影響防止に有効な簡素化ペレット法の開発を進め、主な製造工程設備概念の開発・試験、転換工程からペレット焼結に至る一連の製造プロセスに対する小規模MOX試験等を実施するとともに、安定した燃料品質を得るためのMOX製造基盤技術開発を実施中。
炉心に対する安全要求を満足してMA核種を5%まで装荷できる炉心を実現すること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ FaCTフェーズ1において、炉心に対する安全要求を概ね満足してMA核種を5%程度まで装荷できる炉心設計概念を構築したが、東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、シビアアクシデント対応も考慮した炉心に関する設計検討を実施中。
所定の使用条件の下で、高い燃焼度を高い信頼度で達成できる燃料が製造できること	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 長寿命被覆管材料の酸化物分散強化型鋼(ODS)被覆管について、世界に先駆けて実施した燃料照射試験の結果、素材の化学成分制御が品質安定性確保上重要であることが明らかとなったことから、製造方法を改良し、試作によりその有効性を確認。照射試験による最終確認を計画。