

核変換技術と加速器駆動未臨 界炉(ADS)

京都大学原子炉実験所
国際廃炉研究開発機構
山名 元

放射性廃棄物小委員会における地層処分への取組の中間的まとめ

高レベル放射性廃棄物の地層処分事業が進展しない現状に対して、放射性廃棄物小委員会（増田元大臣座長）において、再検討が進行中

今までの反省

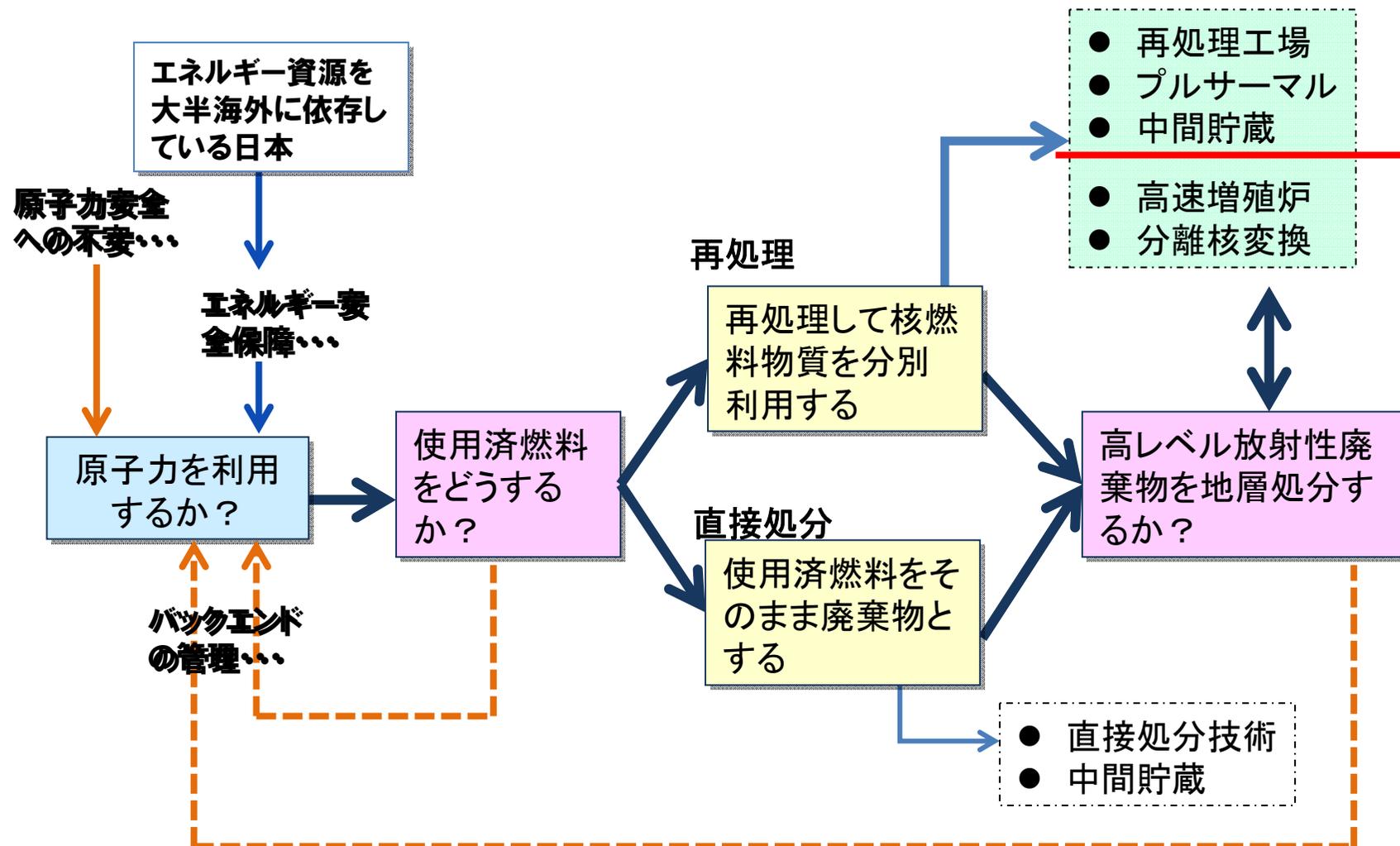
1. 処分事業の必要性・安全性に対する理解・合意が不足していたのではないかと。
2. 政府としてのコミット（本気度）が不十分だったのではないかと。
3. 当該場所で文献調査を行うことについての地元が負う説明責任、説明負担が重すぎるのではないかと。
4. 調査や処分事業に対する地域住民の参加の在り方が不明確だったのではないかと。

反省と今後の在り方

- (1) 廃棄物を発生させた現世代として、この解決に向けた取組を進めることは不可欠である一方、地層処分の長期安定性については、依然、不確実性が存在しており、国民の信頼を得るには至っていない。
- (2) したがって、高レベル放射性廃棄物の問題を解決していくためには、以下の観点を踏まえ、取組を再構築することが不可欠。
 - ① 現世代が最終処分に向けた取組を進めることは必要。
 - ② 我が国において、現時点で、科学的知見が蓄積された最終処分方法は地層処分。
 - ③ 可逆性・回収可能性を担保し、将来世代が最終処分に関する意思決定を行える仕組みとすることが不可欠。
 - ④ 代替処分オプションの研究開発等を進めることは必要。
- (3) 可逆性・回収可能性を担保した形で地層処分を進めることは1つの解決策になり得る。あわせて、このようなプロセスで取組を進めていくことに対し、社会的コンセンサスを醸成していくことが極めて重要。

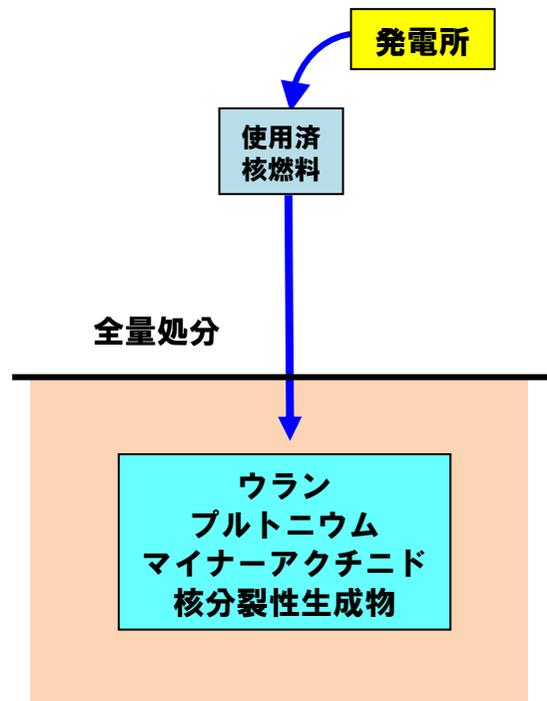
複雑な原子力バックエンドの問題

「原子力のEnd state」の分かり難さが、原子力の社会理解を得にくい理由の一つ

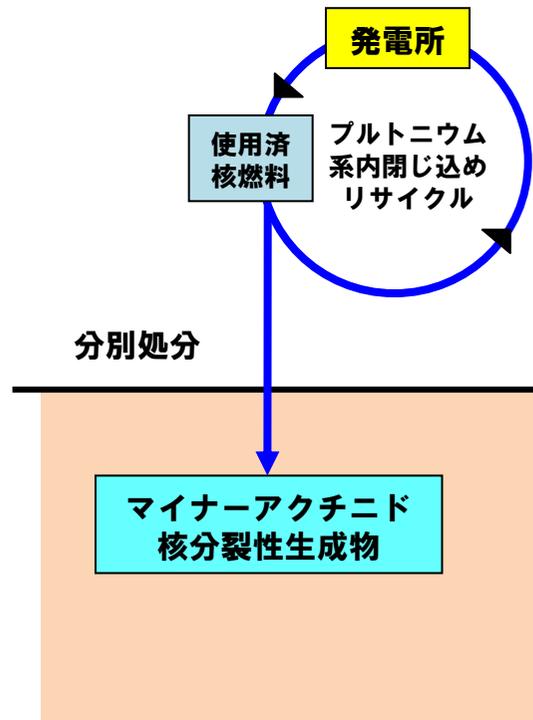


“Open Cycle” と “Closed Cycle”

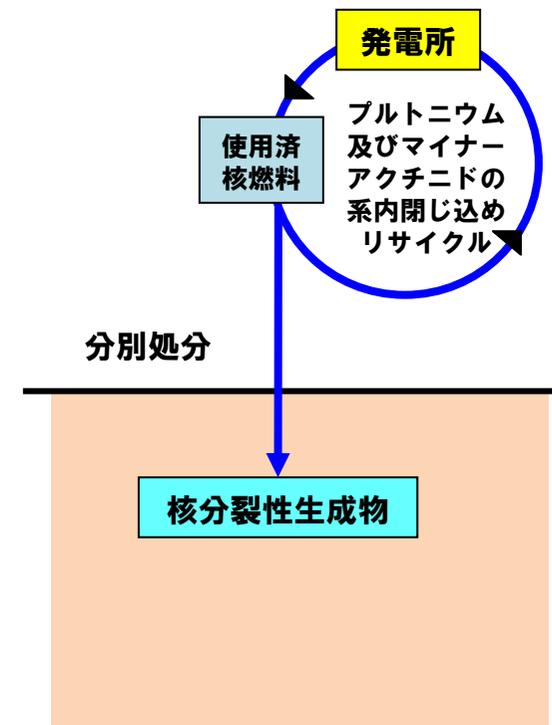
直接処分路線 (オープンサイクル)



再処理路線 (クローズドサイクル)

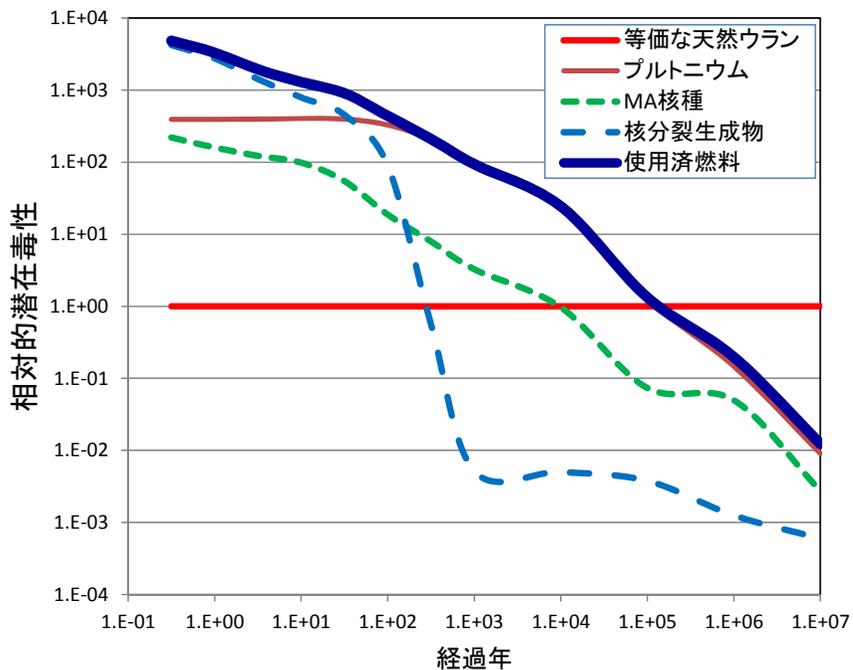


分離核変換路線 (クローズドサイクル)

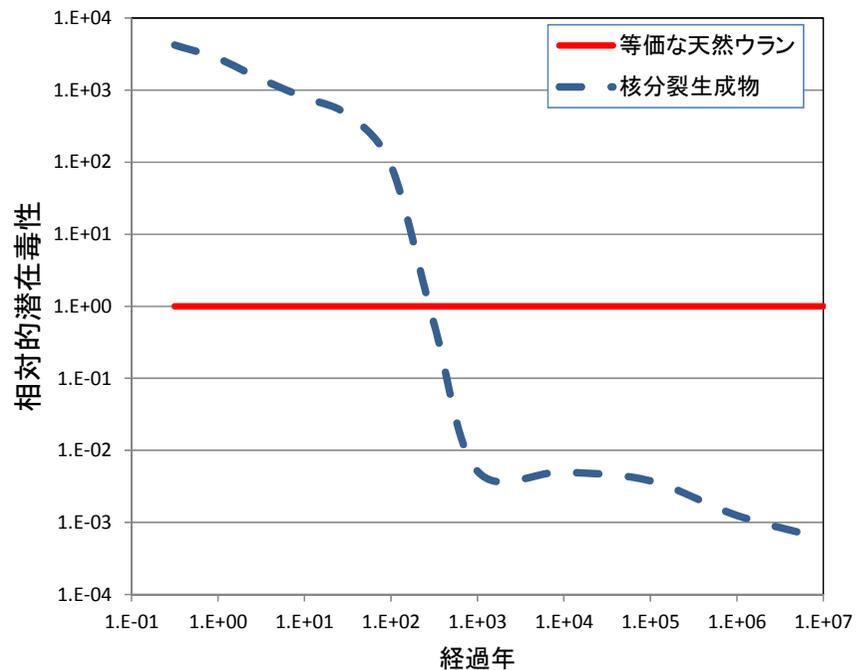


使用済燃料の組成(放射線毒性)

軽水炉使用済燃料中



プルトニウムとマイナーアクチノイド回収後

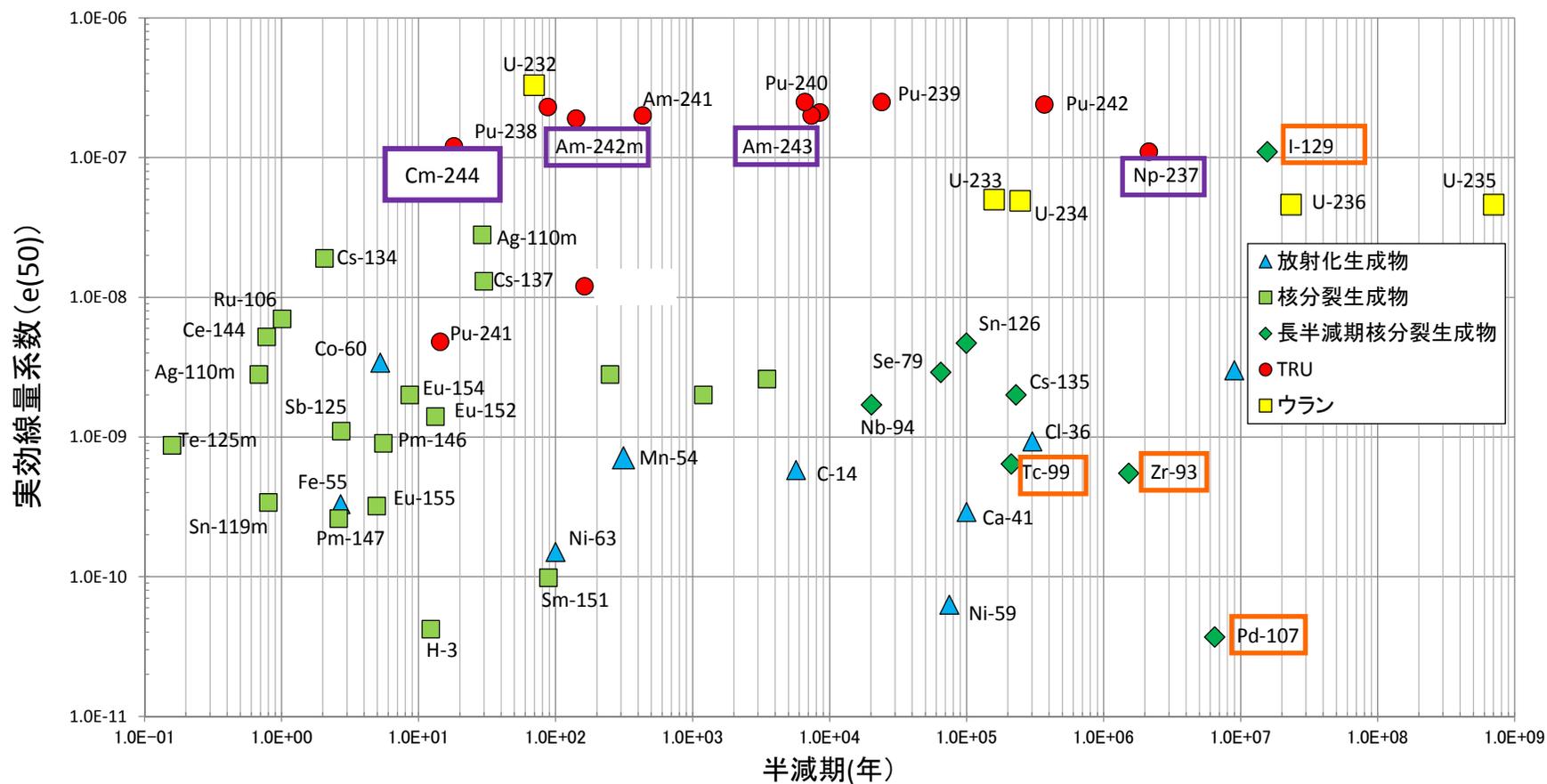


分離変換の対象核種

M(fast-n, fission)FP

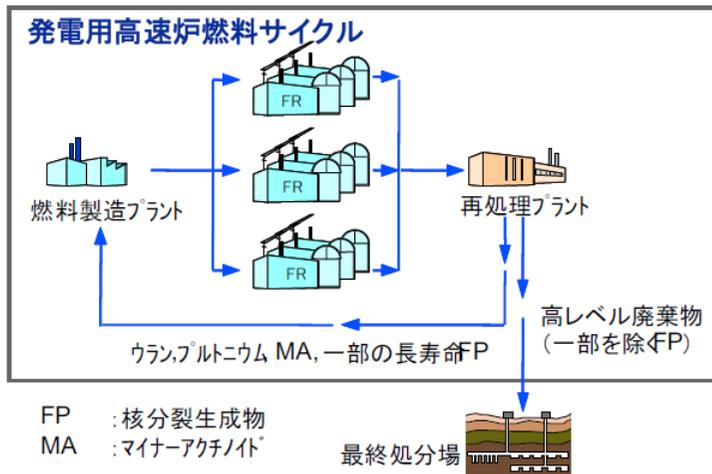
- マイナーアクチノイド核種
- 長半減期核分裂生成物核種

プルトニウムについては、資源状況に応じて、変換に向ける可能性もあり



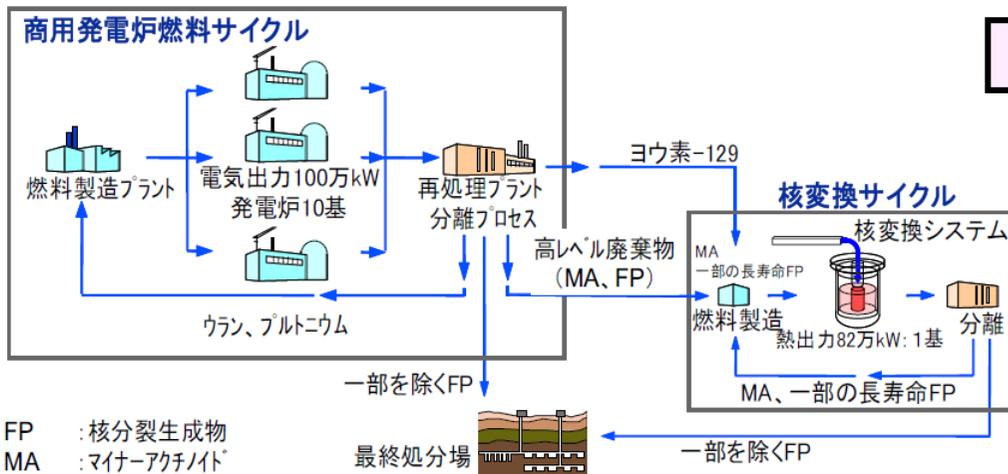
2種類の分離変換システムの概念(高速炉体系と階層型)

群分離・核変換技術には、大きく分けて、高速炉サイクルの中で実施する「発電用高速炉利用型」と、加速器駆動核変換システム(ADS)を用いた「階層型」の2つがあり、また2つを併用することも可能である。



発電用高速炉利用型

- ・発電炉を用いた分離変換技術。
- ・次世代再処理プラントでウランやプルトニウムと共にマイナーアクチノイドもリサイクル。
- ・核変換には発電炉(高速炉)を用いる。



階層型(専用サイクル型)

- ・発電用サイクルに分離プロセスと核変換サイクルを付設。
- ・核変換には専用システム(加速器駆動炉: ADS)を用いる。
- ・コンパクトな核変換サイクルにマイナーアクチノイドを閉じ込める。

我が国における分離核変換に関わる取組の経緯

1988年:「群分離・消滅処理技術研究開発長期計画(オメガ計画)」開始

消滅処理分野→ 原子炉(炉物理・物性、FBR応用、専焼高速炉)

加速器(陽子加速器、電子加速器)

2000年:オメガ計画チェックアンドレビュー(原子力委員会決定)

「今後も着実に研究開発を進めることが適当」、

「今後、若い技術者にとって魅力ある、十分に能力を発揮できるような環境づくりが必要」

2000年:特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律案の付帯決議など

「国及び関係機関は、最終処分の負担軽減等を図るため、長寿命核種の分離変換技術の研究開発について、国際協力、国際貢献の視点等も加味するとともに、定期的な評価を行いつつ、着実に推進することが必要である。」

2005年:原子力政策大綱

「その他の基礎的・基盤的な研究開発の主要な活動には、...や放射性廃棄物中の長寿命核種の短寿命化等による放射性廃棄物処理・処分の負担軽減に貢献する分離変換技術の研究開発等がある。」

2008年:特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針(改訂)

「国及び関係研究機関は、最終処分の負担軽減等を図るため、長寿命核種の分離変換技術の研究開発について、国際協力、国際貢献の視点等も加味するとともに、定期的な評価を行いつつ、着実に推進することが必要である。」

2009年:原子力委員会「分離変換技術検討会(座長山名)」報告書及び委員会決定

「この技術を含む将来の原子力発電技術体系に要求される性能目標を満たして実用化できれば、原子力発電に伴って発生する放射性廃棄物の処分体系を一層合理的に設計できる自由度の増大が期待される。」

前民主党政権下でのバックエンド・分離核変換に関わる姿勢

革新的エネルギー・環境戦略(平成24年9月14日)

核燃料サイクルについては、特に青森県に国策に協力するとの観点から・・・等の負担をお願いしてきた。これらの協力については、重く受け止めなければならない。また、これまで使用済核燃料等の受け入れに当たっては、核燃料サイクルは中長期的にぶれずに着実に推進すること、青森県を地層処分相当の放射性廃棄物の最終処分地にしないこと・・・の約束は尊重する必要がある。青森県を最終処分地にしないとの約束は厳守する。他方、国際社会との関係では核不拡散等・・・こうした国際的責務を果たしつつ、引き続き従来の方針に従い再処理事業に取り組みながら、今後、政府として・・・

なお、当面以下を先行して行う。

－直接処分の研究に着手する。

－「もんじゅ」については、国際的な協力の下で、高速増殖炉開発の成果の取りまとめ、廃棄物の減容及び有害度の低減等を目指した研究を行うこととし、このための年限を区切った研究計画を策定、実行し、成果を確認の上、研究を終了する。

－廃棄物の減容及び有害度の低減等を目的とした使用済核燃料の処理技術、専焼炉等の研究開発を推進する。

－バックエンドに関する事業については、民間任せにせず、国も責任を持つ。

－国が関連自治体や電力消費地域と協議をする場を設置し、使用済核燃料の直接処分の在り方、中間貯蔵の体制・手段の問題、最終処分場の確保に向けた取組など、結論を見出していく作業に直ちに着手する。

文科省における分離核変換に関わる動き

文科省における原子力研究では、福島第一事故の後、放射性廃棄物減容を意識した研究計画が徐々に進みつつある。

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会原子力科学技術委員会の審議において、廃棄物減容に関わる、以下の二つの審議が行われている。

1. もんじゅ研究計画作業部会 9月審議終了

廃棄物の減容・有害度低減を目指した研究開発を、高速増殖炉技術のとりまとめ、高速炉の安全強化、とならんで、3本柱の一つに

2. 群分離・核変換技術評価作業部会 8月5日より審議開始

核変換技術の研究開発について、核変換実験施設の整備の必要性や有効性、整備計画の妥当性等について調査検討を行う。

文科省予算による「国家課題対応型研究開発推進事業」の「原子力システム研究開発事業」において、「環境負荷低減技術研究開発」の事業が開始された。

平成25年度より、「環境負荷低減技術研究開発」として放射性廃棄物の減容及び有害度低減に資する研究開発についても競争的な環境の下で推進することとなった。また、本研究開発を通じて、環境負荷低減技術の強化、更には継続的な若手研究者等の育成への寄与を期待する。

群分離・核変換技術評価作業部会

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会原子力科学技術委員会 群分離・核変換技術評価作業部会 (8月5日より審議開始)

目的

核変換技術の研究開発について、群分離・核変換技術の研究開発の現状等を評価するとともに、陽子ビームを用いた出力規模の高い核変換実験施設の整備の必要性や有効性、整備計画の妥当性等について調査検討を行う。

審議内容

○核変換技術、特に加速器を用いた核変換について、現在の技術レベルを踏まえ、今後の進め方について、以下の観点から議論。

- ・2009年の原子力委員会における指摘からの技術的進展がどの程度あるか。
- ・現時点において、技術的課題がどこにあるか。
- ・高速炉による核変換と並行して、実施する意義はどこにあるか。
- ・国際的な連携による研究の加速化の見込みがあるか。
- ・上記事項を含め、実用化に向けて、経済性も含めた現実的な構想があるか。

10月30日に中間とりまとめを作成

群分離・核変換技術評価作業部会の「中間的論点とりまとめ」より抜粋

- 群分離・核変換技術は、高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種を、その半減期や利用目的に応じて分離するとともに、長寿命核種を短寿命核種あるいは非放射性核種に変換するための技術である。
- この技術が実現すれば、廃棄物の潜在的有害度の総量を大幅に低減することによる長期リスクの低減、発熱の大きい核種を分離してコンパクトに処分することによる処分場規模の縮小、白金族などの希少元素の利用による放射性廃棄物の一部資源化といった効果が得られる可能性がある。
- 群分離・核変換技術については、1988年のオメガ計画以降、最終処分の負担軽減等を図るために長寿命核種の分離変換技術の研究開発は着実に推進することが必要であると評価されてきている
- 一方で、高レベル放射性廃棄物の処理・処分の社会的負担軽減を目指して、他の技術的選択肢でも社会受容性の高い新たなバックエンド概念が構築できることを示すことにより、将来の政策的な柔軟性が広がることが期待される。
- 高速増殖炉サイクルによる分離・変換技術については、「もんじゅ研究計画作業部会」において、廃棄物の減容及び有害度の低減等を目指した研究計画をとりまとめたところ。

分離変換システムの概要

分離変換技術の目的

①放射性廃棄物処理処分の負担軽減

初期の高い放射能と発熱の原因となる短寿命核種の分離による廃棄物の減容
長寿命核種の低減によるHLWの潜在的危険性の低減

②資源の有効利用

HLW中の希少元素(ルテニウム、ロジウム、パラジウム等)の有効利用

分離変換技術

分離技術

高レベル放射性廃棄物に含まれる元素や放射性核種を、それぞれの核種の物理的あるいは化学的特徴を利用して、**処理方法や利用目的に応じていくつかのグループ、元素あるいは核種に分離**する技術

変換技術

分離した後、中性子やガンマ線などの放射線を物質に照射すると別の核種に変わる反応を利用して、**特に長寿命核種を短寿命核種又は安定な核種に変換**する技術

「分離プロセス」: 従来の核燃料サイクルから発生する高レベル放射性廃棄物から分離対象元素を分離

「核変換サイクル」: 分離した元素を中性子などの放射線を利用して変換するための以下の一連のプロセス

「燃料製造プロセス」: 分離した元素を核変換するのに適した燃料等の形に加工

「核変換プロセス」: 燃料等に中性子などの放射線を照射して核変換対象元素を変換

「燃料処理プロセス」: 照射済燃料等を処理して再度燃料として加工するものと廃棄物として処分するものを分離

分離核変換の3つの意義（2009年のレビュー結果より）

①潜在的有害度の低減

HLW の地層処分は、長期間にわたって放射線を発生し続ける廃棄物を地下 300 メートルより深いところに隔離することによって、これが社会に与えるリスクを十分に小さくする技術として極めて有効な手段である。分離変換技術の研究開発を進めることによってこの技術を導入することができれば、地層処分する HLW の長期的な潜在的有害度を小さくできる可能性がある。ただし、技術進歩によって将来は変わるかもしれないが、いまのところ、HLW にアクチノイド元素が混入しないとはいえないことから、潜在的有害度の減少の程度はこの混入割合に依存することに留意する必要がある。

②地層処分場に対する要求の軽減

分離変換技術の研究開発を進めることによって MA の分離変換を導入することができれば、MOX 燃料を利用する軽水炉や Pu を燃料に利用する高速炉による発電体系においては、発電量あたりに必要な HLW の地層処分場面積を小さくしたり、廃棄体を処分するまでに貯蔵しておく期間を短縮したりできる。したがって、このことが実現すれば、原子力発電を持続的に利用していく場合に、新たな処分場の開設が必要になるまでの期間を長くでき、あるいは廃棄体の管理負担を軽減できる可能性がある。

③廃棄物処分体系の設計における自由度の増大

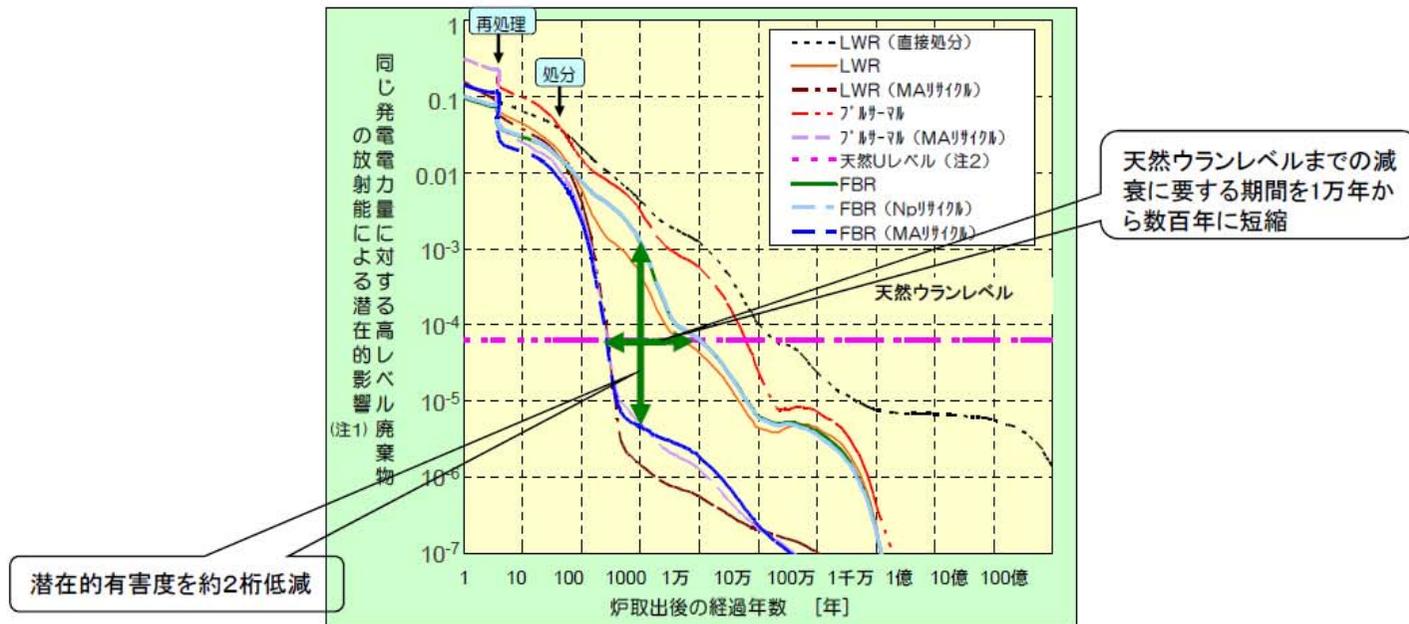
分離変換技術の進歩により、MA の分離変換と発熱性 FP の分離技術が利用可能になり、さらに、これらの技術により調製される固化体を地層処分するまでの貯蔵期間を長期間に選ぶことができる場合には、地層処分場の所要面積を小さくできる他、種々の廃棄物処分方法の組み合わせで構成される「廃棄物処分体系」をより合理的なものとして設計する自由度が増大する可能性がある。ただし、各廃棄物の具体的な貯蔵方法や処分方法については、さらに詳細な検討が必要である。

分離核変換の意義（潜在毒性の低減）

(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。

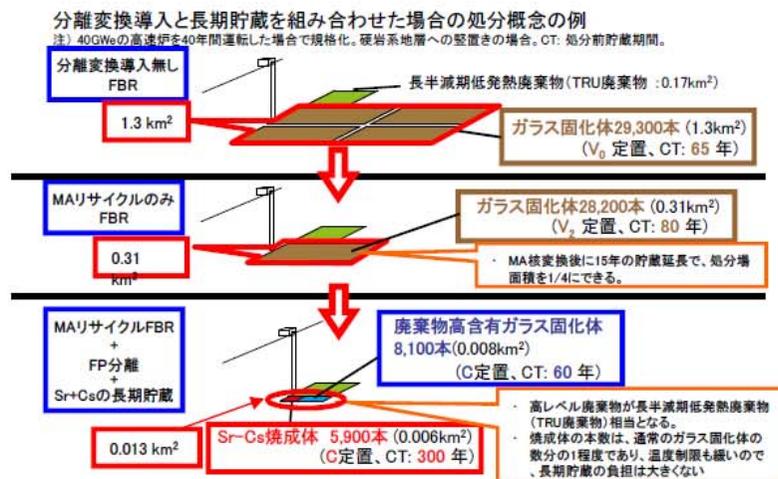
(注2) 天然ウランレベルの線は、LWR(直接処分)のケースで燃料の原料として必要な天然ウラン(190トン強)とその娘核種による潜在的な有害度の経時変化における最大値を示している。

分離核変換の意義（地層処分面積の削減）

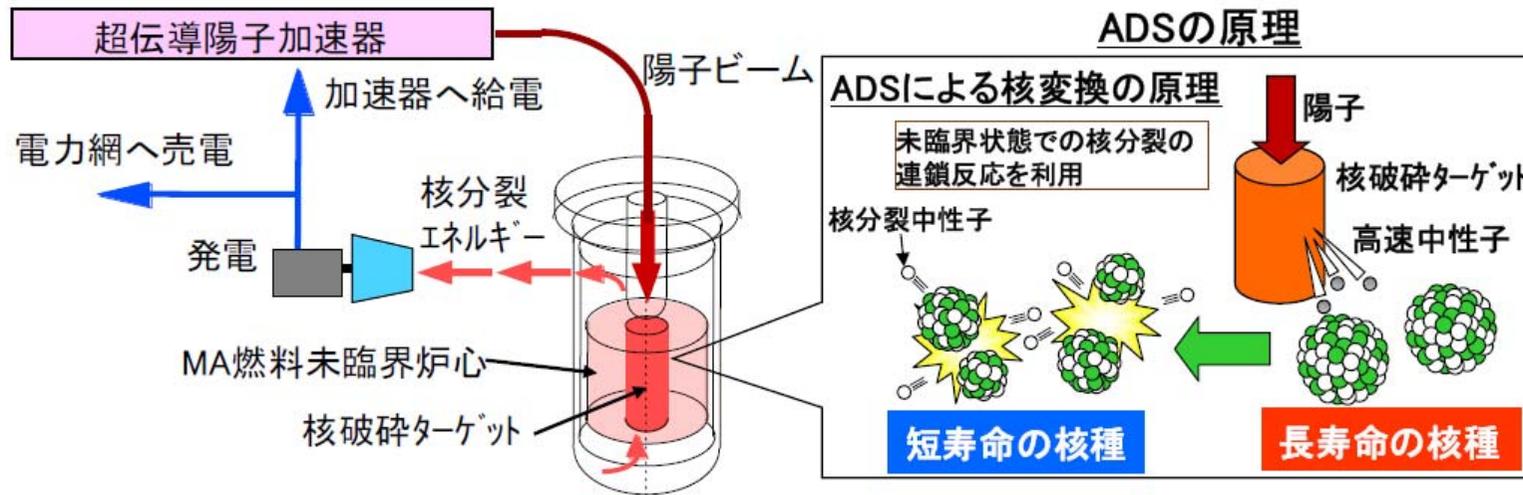
(4) 処分場に対する要求に影響を与えるパラメータ

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。



加速器駆動未臨界システムによる分離変換システムの概要



ADSの仕組み:

- ・超伝導加速器で大強度の陽子を高効率で加速。
- ・陽子はビームダクト・ビーム窓を通過して鉛・ビスマス(Pb-Bi)に入射。
- ・Pb-Biは核破碎ターゲットと炉心冷却材を兼ねる。
- ・燃料の主成分はマイナーアクチノイド(MA)。
- ・陽子はPb-Biとの核破碎反応で大量の中性子を発生。
- ・その中性子によりMAを核分裂反応で核変換。
- ・さらに核分裂で発生した中性子も核変換に使用。
 - 核分裂の連鎖反応で、1個の中性子を20個に増倍。
- ・核分裂で発生する熱で発電し、加速器に供給。

ADSによる核変換の特徴:

- ・臨界高速炉によるMA核変換で問題となる実効遅発中性子割合の低下、ドップラーフィードバックの低下、冷却材ボイド反応度の悪化等の影響が小さい
- ・出力規模で30~40倍の軽水炉で生じるMAを核変換できる。例えば、熱出力800MWthのADSであれば、1基で1GWe規模の軽水炉約10基またはFBR8基で生じるMAを核変換できる
- ・少数のADSと発電炉サイクルの1/30~1/100程度の規模の物流量で、MAをコンパクトな核変換専用システムに閉じこめ、発電用燃料サイクルに影響を与えないで効果的にMAを核変換できる

日本原子力機構提唱の二階層ADS分離変換システム概念

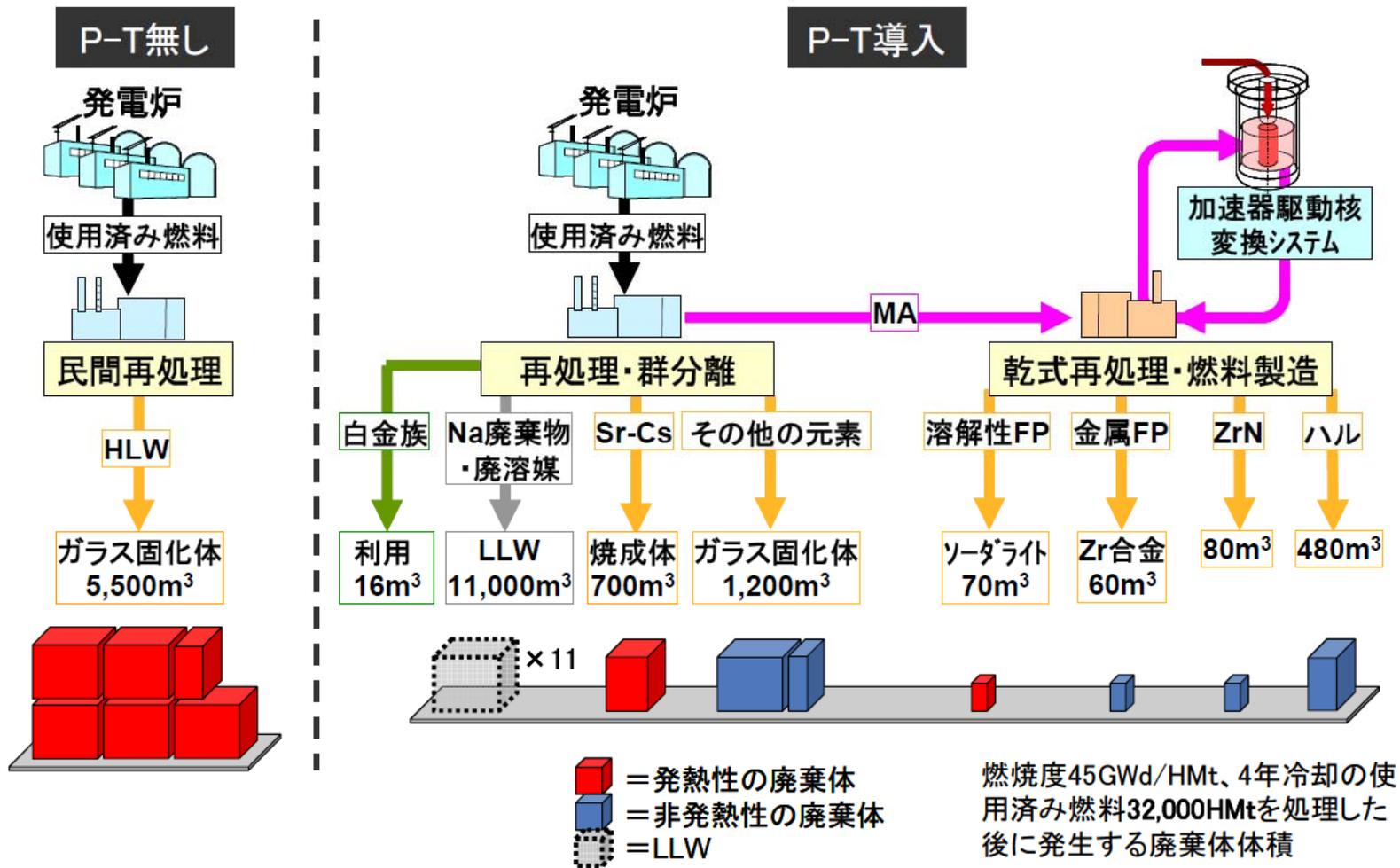


図1 階層型分離変換を導入した場合の発生廃棄物の検討例¹⁾

分離変換システムの特性等

もんじゅ・FaCT

加速器駆動未臨界炉

システム呼称	発電用高速炉 (MA 均質サイクル)	発電用高速炉 (MA 非均質サイクル)	階層型
炉 型	発電用高速増殖炉		ADS
燃料中の重金属に占める MA 濃度と装荷形態	・低濃度(5%以下)の MA 含有燃料(酸化物又は金属)を炉心全体に装荷	・MOX 炉心の一部にやや高濃度(20~30%)の MA ターゲット燃料を装荷	・高濃度(50~80%)の MA 含有燃料を炉心全体に装荷
MA 燃料の再処理・再加工	発電炉用サイクル設備で一括処理	発電炉用サイクル設備を一部共用	発電炉用サイクルと独立の MA 専用サイクル設備
移行期における典型的な概念の核変換能力	50kgMA/GWt/年 (酸化物、MA 濃度 5%) 60kgMA/GWt/年 (金属、MA 濃度 5%)	~30kgMA/GWt/年 (炉心平均 MA 濃度 4%)	~310kgMA/GWt/年
平衡期の全体構成 (58GW _e 中での各システムの割合)	MA 装荷高速炉:58GW _e	MA 非装荷高速炉:43GW _e MA 装荷高速炉:15GW _e	MA 非装荷高速炉:58GW _e ADS:約 2GW _e
平衡期の発電用サイクルの再処理量	480tHM/年	480tHM/年	480tHM/年
発電用サイクルにおける新燃料発熱	移行期:15W/kgHM (酸化物、金属) 平衡期: 9W/kgHM(酸化物) 4W/kgHM(金属)	移行期:4W/kgHM 平衡期:3W/kgHM	移行期:4W/kgHM 平衡期:3W/kgHM

分離変換システムの特性等

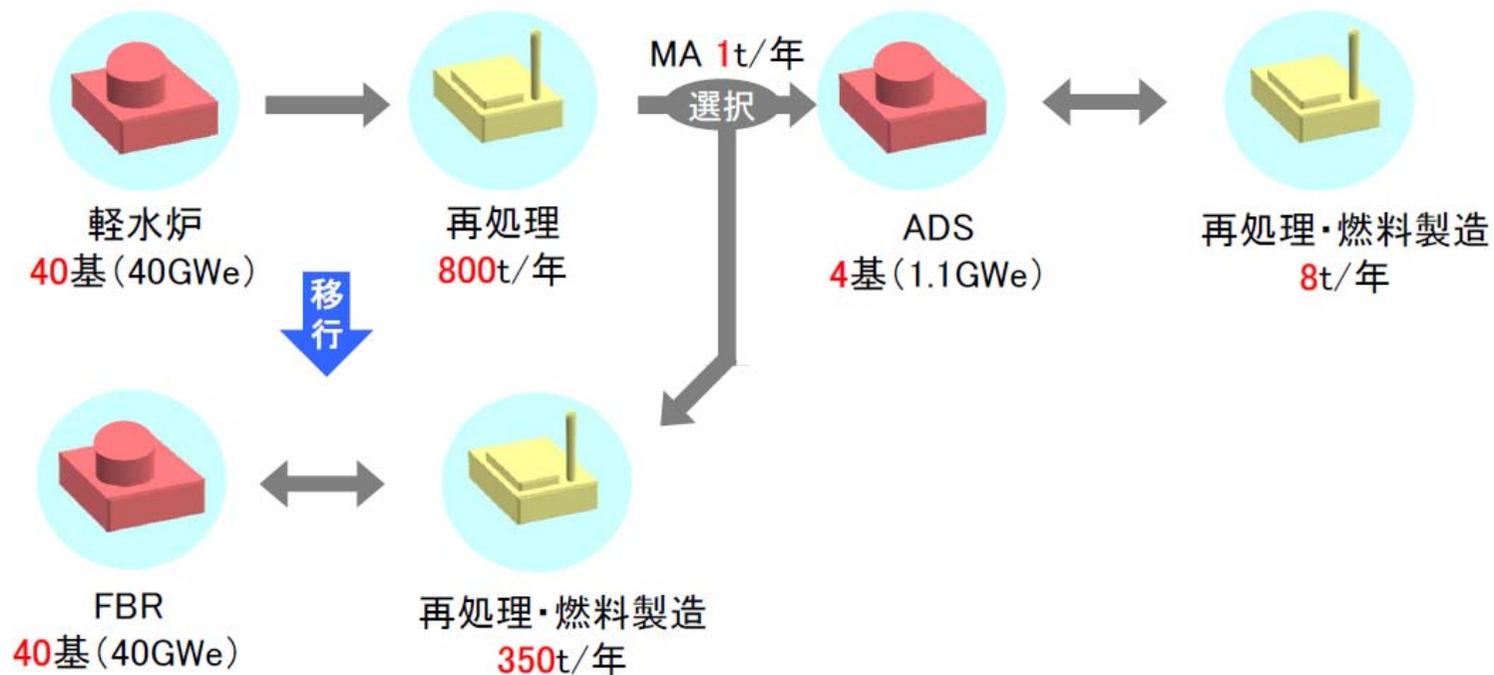
もんじゅ・FaCT

加速器駆動未臨界炉

システム呼称	発電用高速炉 (MA 均質サイクル)	発電用高速炉 (MA 非均質サイクル)	階層型
炉 型	発電用高速増殖炉		ADS
発電用サイクルにおける新燃料中性子放出量 (10^6 n/s/kgHM)	移行期:32(酸化物、金属) 平衡期:26(酸化物) 7(金属)	移行期:0.3 平衡期:0.2	移行期:0.3 平衡期:0.2
平衡期に核変換サイクルが受け入れる MA 量	該当なし (発電炉で変換するため)	1.5tMA/年 (Am、Cm のみ)	1.5tMA/年 (Am、Cm のみ)
核変換サイクルの再処理量	該当なし	移行期:40tHM/年 平衡期:30tHM/年	移行期:16tHM/年 平衡期:12tHM/年
核変換サイクルにおける新燃料発熱	該当なし	移行期:54W/kgHM 平衡期:155W/kgHM	移行期:300W/kgHM 平衡期:385W/kgHM
核変換サイクルにおける新燃料中性子放出量 (10^6 n/s/kgHM)	該当なし	移行期:140 平衡期:560	移行期:660 平衡期:1010
備 考	・MA 濃度は、移行期で最大 5%、平衡期は酸化物で 1%、金属で 0.5%	・Np は発電サイクルで変換	・Np は発電サイクルで変換 ・MA 専焼(臨界)炉は、安全性の余裕が厳しいため現在のところ検討対象外

※ 本表は各概念の典型的な設計パラメータを挙げており、設計の前提及び条件が異なっているため、性能の直接比較は示していない。

ADSシステムの規模と導入のイメージ

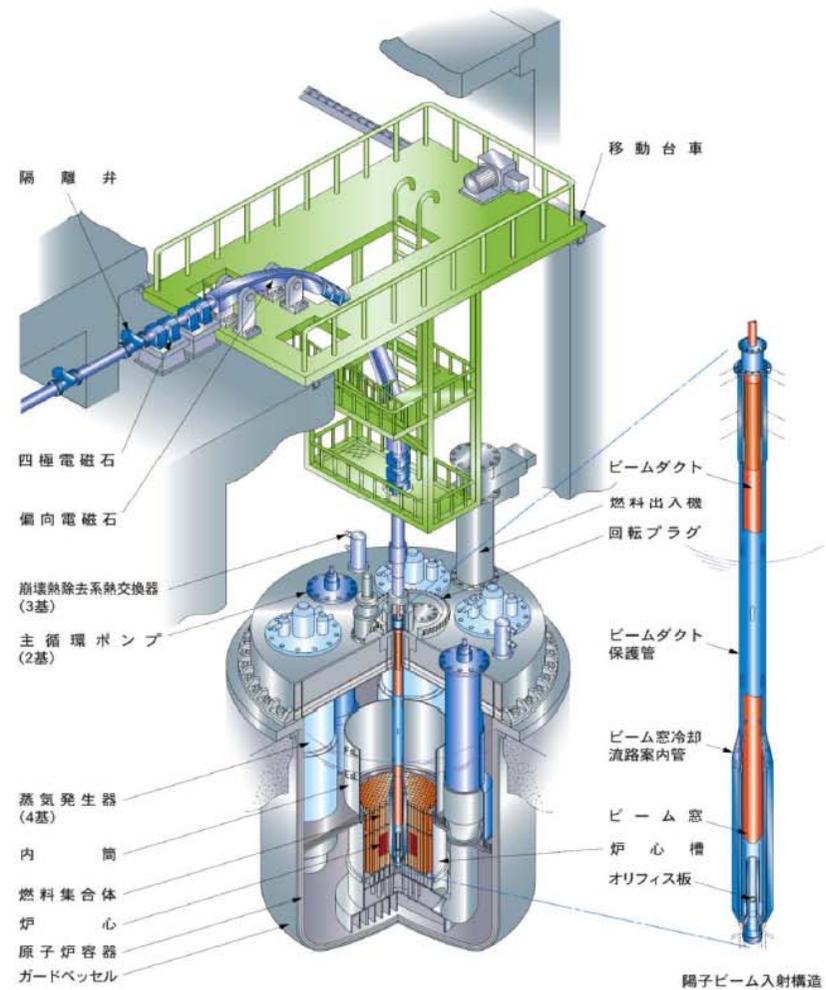


- ✓ 2050～2100年にかけて高速増殖炉(FBR)を導入。
- ✓ 2050～2100年に運転する軽水炉燃料の再処理工場でMA分離→ADSで核変換 or 移行先のFBRで核変換

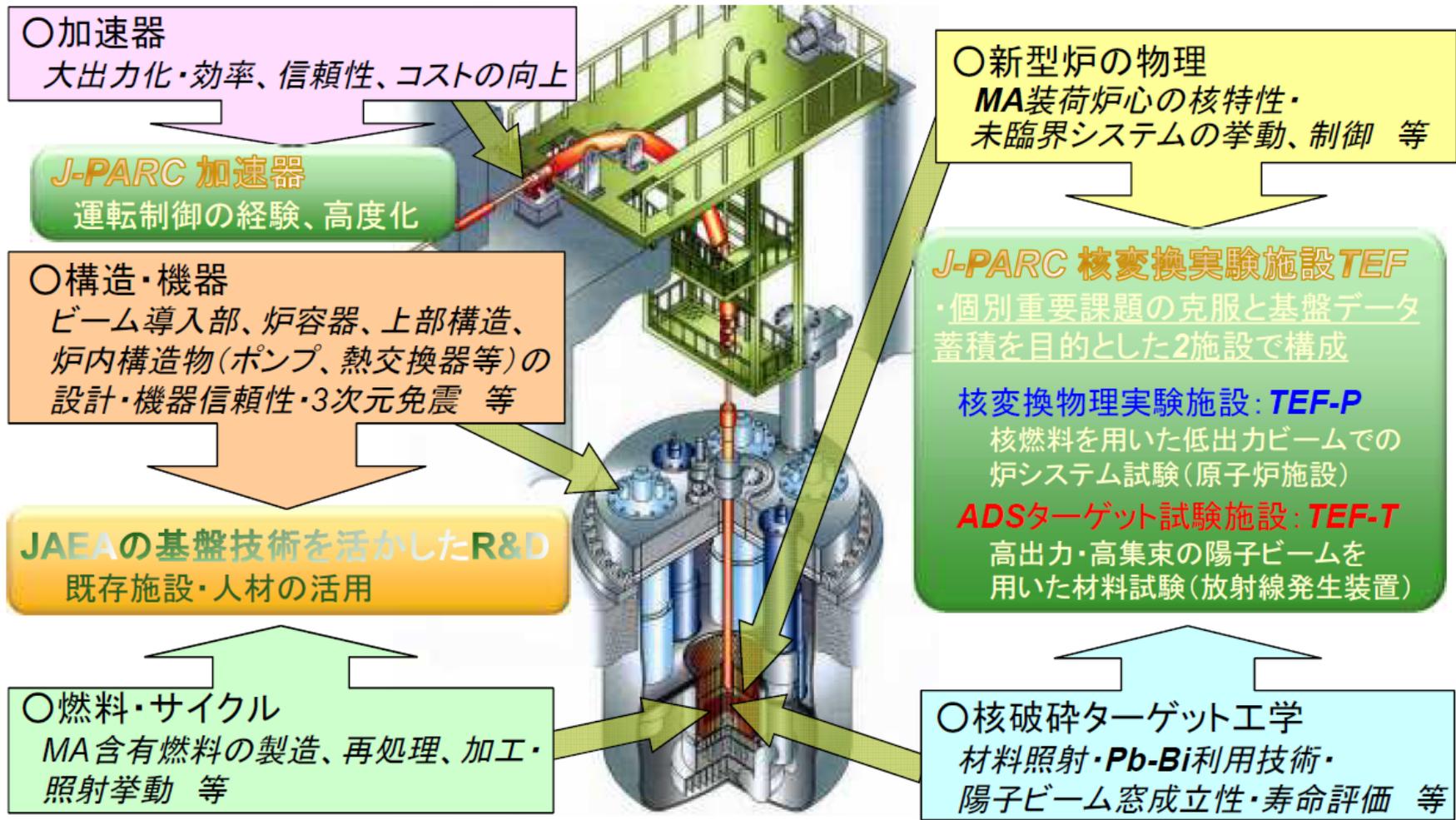
原子力機構の実用ADS概念

- ・ 陽子ビーム : 1.5GeV
- ・ 核破碎ターゲット : Pb-Bi
- ・ 冷却材 : Pb-Bi
 入り口 : 300°C、出口 : 407°C
- ・ 最大 $k_{\text{eff}} = 0.97$
- ・ 熱出力 : 800MWt
- ・ MA初期装荷量 : 2.5t
- ・ 燃料組成 :
 (MA +Pu)N + ZrN
- ・ 核変換効率 :
 10%MA / 年
- ・ 燃料交換法 : 600EFPD, 1 バッチ

- ・ 主循環ポンプ : 2基
- ・ 蒸気発生器 : 4基
- ・ 崩壊熱除去系 : 3系統



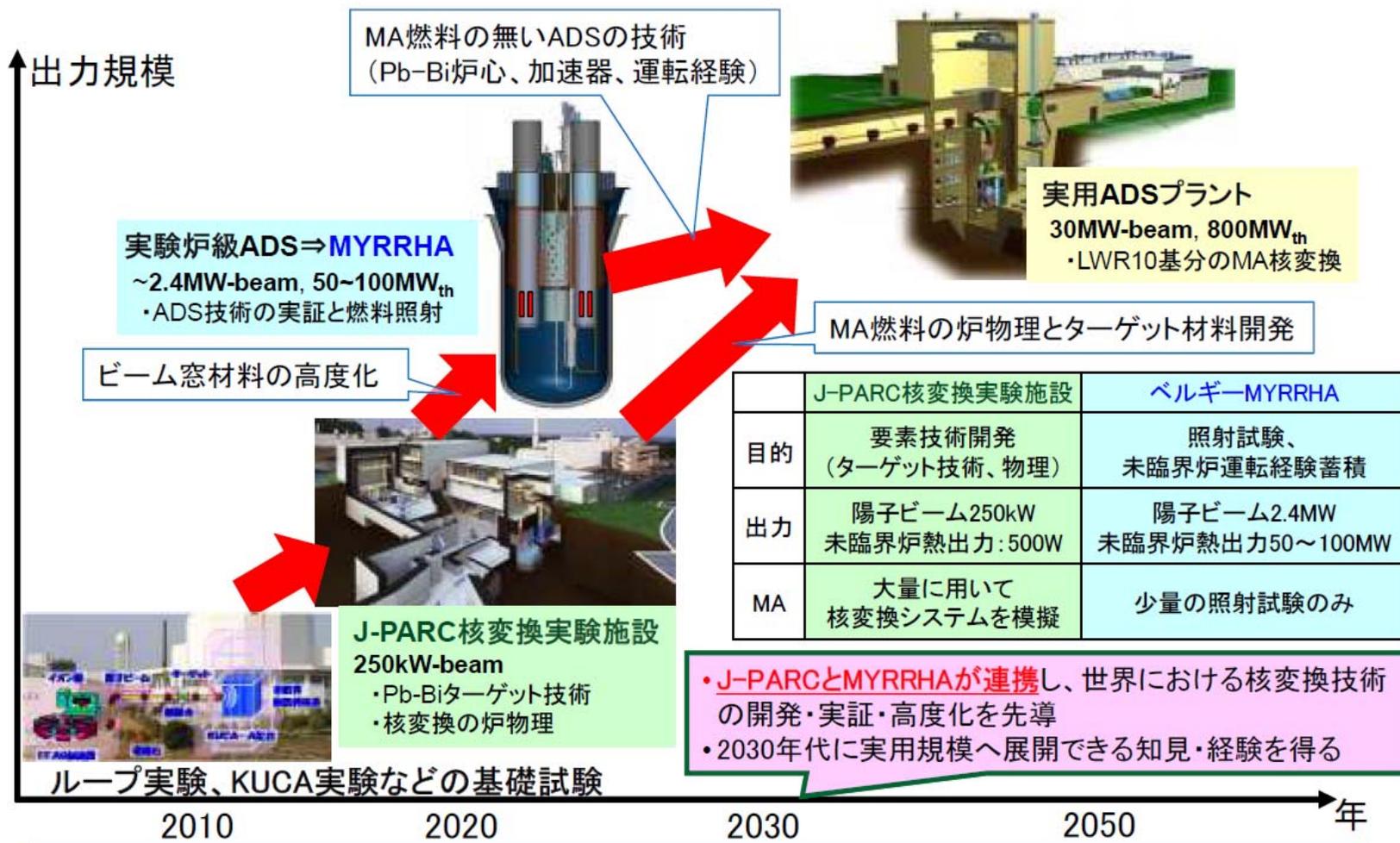
原子力機構の実用炉概念(たくさんの開発課題がある)



段階を踏んでの開発が計画されている

施設概要と位置づけ:

ADS実用化に向けたロードマップ

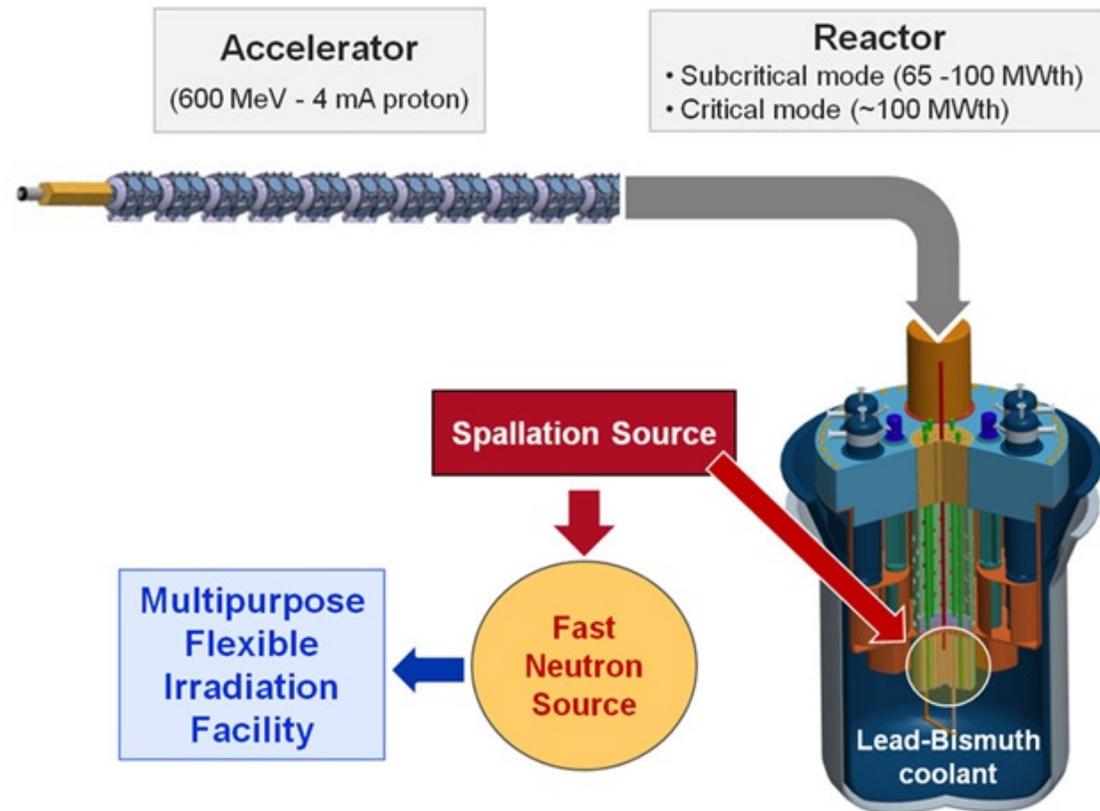


ベルギーで計画されているADSシステム(MYRRHA PROJECT)

○ベルギーのSCK・CENでは、熱出力50～100 MW規模の照射試験用ADSであるMYRRHAの建設を計画している。MYRRHAはADSによる核変換技術の開発だけでなく、先進的な原子炉(特に鉛冷却炉)の開発、核分裂炉及び核融合炉のための高速中性子照射、加速器に基づく科学コミュニティーへの貢献、Si照射やRI製造のための中性子照射施設といった多目的利用を念頭に置いた実験施設として検討されている。なお、燃料には通常のMOXを用いるため、核変換専用の照射施設ではない。

○ベルギー政府は、2016年(平成28年)頃の着工を目指し、総額9億6,000万ユーロ(1ユーロ130円として約1,250億円)の建設費の内の40%を拠出することを決めており、残りの負担を諸外国に呼び掛けている。

○原子力機構は、本年2月にMYRRHAプロジェクトに対する関心表明を発出し、プロジェクト参加の検討が進められている。MYRRHAではMA核変換は行われられないものの、ADSの開発において必須となる実験炉級ADSの段階として、極めて有効な知見・経験を得ることが期待される。



MYRRHAの概要

□ 目的

- 核廃棄物の核変換技術の開発
- 先進的な原子炉(特に鉛冷却炉)の開発
- 核分裂炉及び核融合炉のための高速中性子照射施設
- 加速器に基づく科学コミュニティへの貢献
- Si照射やRI製造のための中性子照射施設

□ 仕様

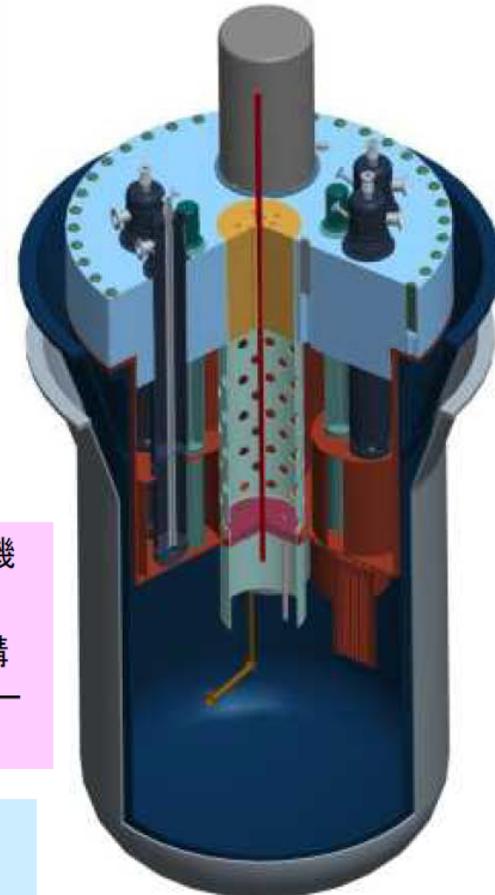
- 加速器:超伝導LINAC
 - 陽子ビーム: 600 MeV – 4 mA
 - 核破碎ターゲット: Pb-Bi
 - 炉心冷却材: Pb-Bi
 - 最大 $k_{\text{eff}} = 0.9552$ ($k_s = 0.96$)
 - 熱出力: 未臨界時50~100MWt
臨界時 ~100MWth
 - 燃料組成: MOX(富化度30wt%)
- 臨界での運転も可能な概念に変更中
○窓なし型ターゲット概念を追求していたが、最近、窓あり概念に変更

- 照射炉BR2の後継として、2016年頃の着工を目指している

- 2006年11月に原子力機構と協力取り決め締結
- 2010年から原子力機構は欧州の「中央設計チーム(CDT)」に参加

□2010年3月 ベルギー政府がサポートを表明

- 建設費 960Mユーロのうち40%を負担
- 2010~2014年の準備段階に60Mユーロを支給



原子力機構が計画している核変換実験施設(J-PARC二期計画)

J-PARC: Japan Proton Accelerator Research Complex



原子力機構が計画している核変換実験施設

核変換実験施設 (TEF: Transmutation Experimental Facility)

核変換物理実験施設:TEF-P

目的：低出力で未臨界炉心の物理的特性の探索とADSの運転制御経験を蓄積
施設区分：原子炉（臨界実験施設）
陽子ビーム：400MeV-10W
熱出力：500W以下

ADSターゲット試験施設:TEF-T

目的：大強度陽子ビームでの核破碎ターゲットの技術開発及び材料の研究開発
施設区分：放射線発生装置
陽子ビーム：400MeV-250kW
ターゲット：鉛・ビスマス合金



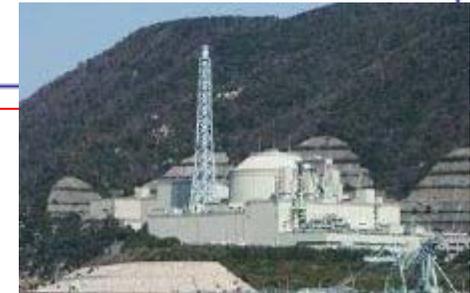
もんじゅ研究計画での「廃棄物減容・有害度低減」の位置づけ

- 「もんじゅ」で目指す研究開発分野を①高速増殖炉の成果の取りまとめを目指した研究開発、②廃棄物の減容及び有害度の低減を目指した研究開発、③高速増殖炉/高速炉の安全性強化を目指した研究開発、の3本柱に整理。
- 高速増殖炉プラントとして最低限必要な技術を取得できる「5サイクル終了時点」(6年程度)を「成果の取りまとめ時期」として定め、技術達成度やコスト、安全性などの観点から評価し、その時点でのエネルギー政策上の位置付けや国際情勢も勘案し、研究継続を判断。
- なお、「性能試験終了時点」(2年程度)に中間的な評価を行う。

(2) 廃棄物の減容・有害度低減を目指した研究開発

(基本的な考え方)

- 「もんじゅ」をはじめとする高速増殖炉/高速炉は、軽水炉では燃やすことが難しい「高次化Pu」や「MA」を燃料として燃焼することが可能である。このため、廃棄物の減容・有害度低減等の環境負荷低減に貢献すると考えられている。
- 一方で、「常陽」等を用いてこれまでもMA含有燃料等に関する基礎的な研究は行われてきたが、実際の燃料規模で環境負荷低減の有効性を確認するための核的性能や燃料性能に関する知見が十分ではない。「もんじゅ」は、これらの知見を得るために重要な施設である。
- 以上を踏まえ、まずは「高速増殖炉/高速炉システムによる環境負荷低減の有効性の確認」を目標とし、燃料製造・高速炉による照射・再処理といった一連の高速炉サイクルによる廃棄物の減容・有害度低減に資する全体システムの成立性を確認するため、全体システムの中核を成す「もんじゅ」において燃料照射試験と分析を行いデータの収集を実施するとともに、「もんじゅ」のデータを補強・補完する観点から、「常陽」でも照射試験等を実施する。
- 加えて、MA含有燃料等の製造・照射・処理の各段階で必要な研究を実施する。

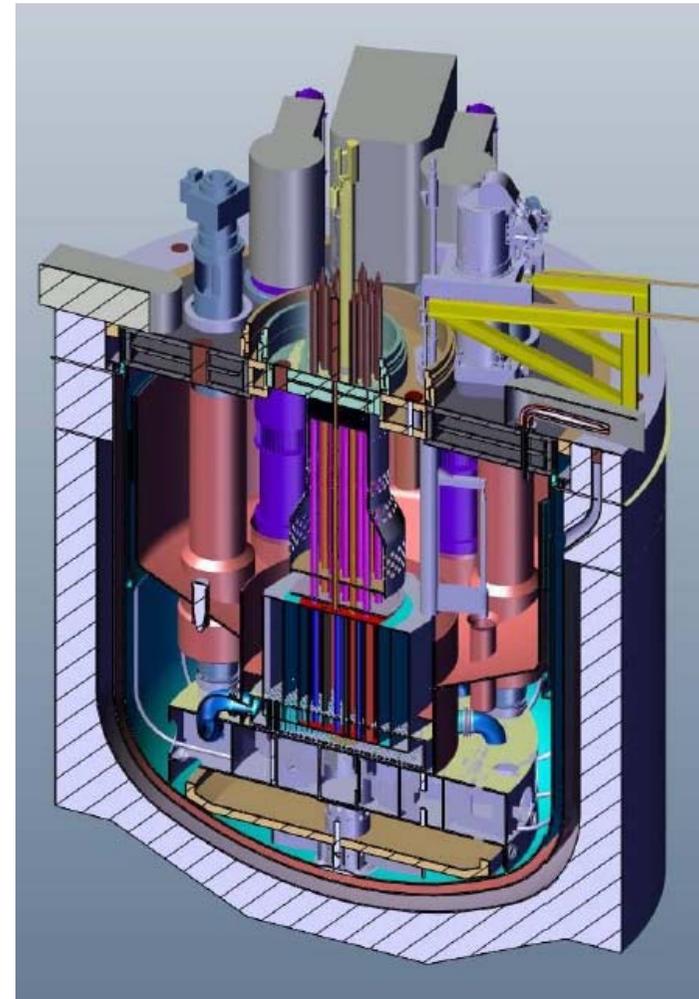


フランスのASTRID計画

- フランスではADS開発には消極的で、逆に、マイナーアクチニド燃焼を重視した、高速増殖タンク型炉(Na冷却炉)であるASTRIDを2025年に運転開始する予定で、研究を進めている。

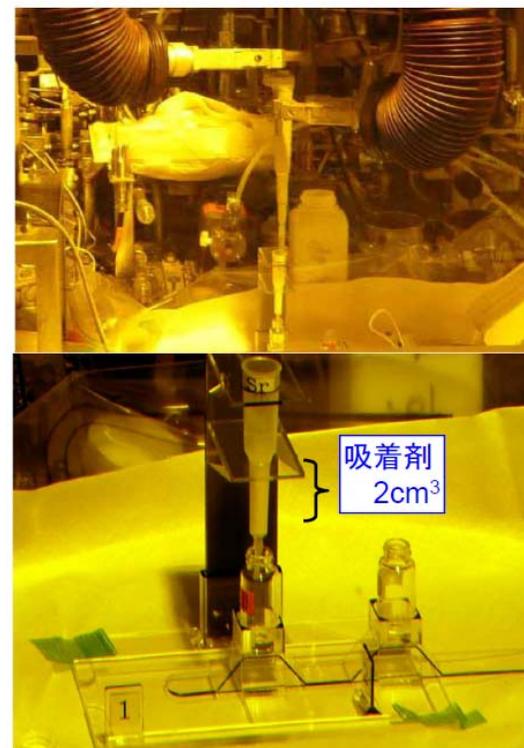
Main features

- 1500 thMW - ~600 eMW
- Sodium cooled pool type reactor
- 3 Primary pumps, 4 IHX
- 4 Secondary sodium loops with EMPs
- Oxide fuel $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$
- High level expectations in terms of safety demonstration
 - Preliminary strategy for severe accidents (core catcher...)
 - Diversified decay heat removal systems
- Fuel handling in sodium



群分離技術については、着実に研究が進められてきた

- 群分離技術については、実験室規模でのホット試験、工学規模でのコールド機器開発、模擬高レベル廃液による試験等についてロードマップの課題に沿った成果が得られ、さらに、プロセス実廃液試験による適用性評価に向けた検討が行われているなど、概ね、原子力委員会「分離変換技術検討会」での指摘事項に沿った研究開発が進められている。
- 課題としては、MAをランタノイドとともに抽出する工程以外の工程の開発段階が低い状態にとどまっていることが懸念される。
- また、工学規模へのステップアップに向けた実験に移行するためには、トレーサー量を超える濃度のMA溶液を取り扱うデータの取得が課題である。
- 今後、実廃液試験によりデータの取得を進めるとともに、産業界と連携して工学規模への展開を見通すための技術開発を進めることが期待される。
- なお、高レベル廃棄物の潜在的有害度の有効な低減及び処分場面積の縮小の観点から、MA回収率の目標値を99.9%に設定しているのは適切であるが、それが実現できない場合も含めたシステム全体での適切な目標管理を行うべきである。



分離核変換技術開発について私見など

- 未臨界炉心(中性子増倍系)を利用することの革新性(反応度事故、炉心管理の裕度)を期待できる
- ある程度のエネルギー投資をして得る過剰な中性子を、長半減期核種の核分裂に向けるといふ、積極的な放射性核種燃焼の発想は、核分裂利用体系の本質課題に対する前向きな方向性
- 炉心自体は、高速増殖炉の設計と似る(Na冷却、Pb-Bi冷却)
- 放射性元素を分別処理するというクローズドサイクル概念には、「手間とコストをかけすぎ」という批判もあれば、「許容なコストの範囲内」との意見もある

ADSは以下のような目的に利用可能ではないか

- ・原子力利用による長半減期核種の累積量を減少(潜在ハザードの低減)
 - ・軽水炉体系での高レベル放射性廃棄物管理と処分の合理化
 - ・軽水炉体系での蓄積したプルトニウムの消費(燃焼)
 - ・高速炉発電体系からの高レベル放射性廃棄物管理と処分の合理化
 - ・ADSを利用することでの高速炉発電系の負荷の低減
-
- 社会的な理解を得にくい「原子力バックエンド」に対する、一つの代替ポテンシャル技術としては、着目に値する