

群分離・核変換技術に関する国内外の状況



平成25年8月7日

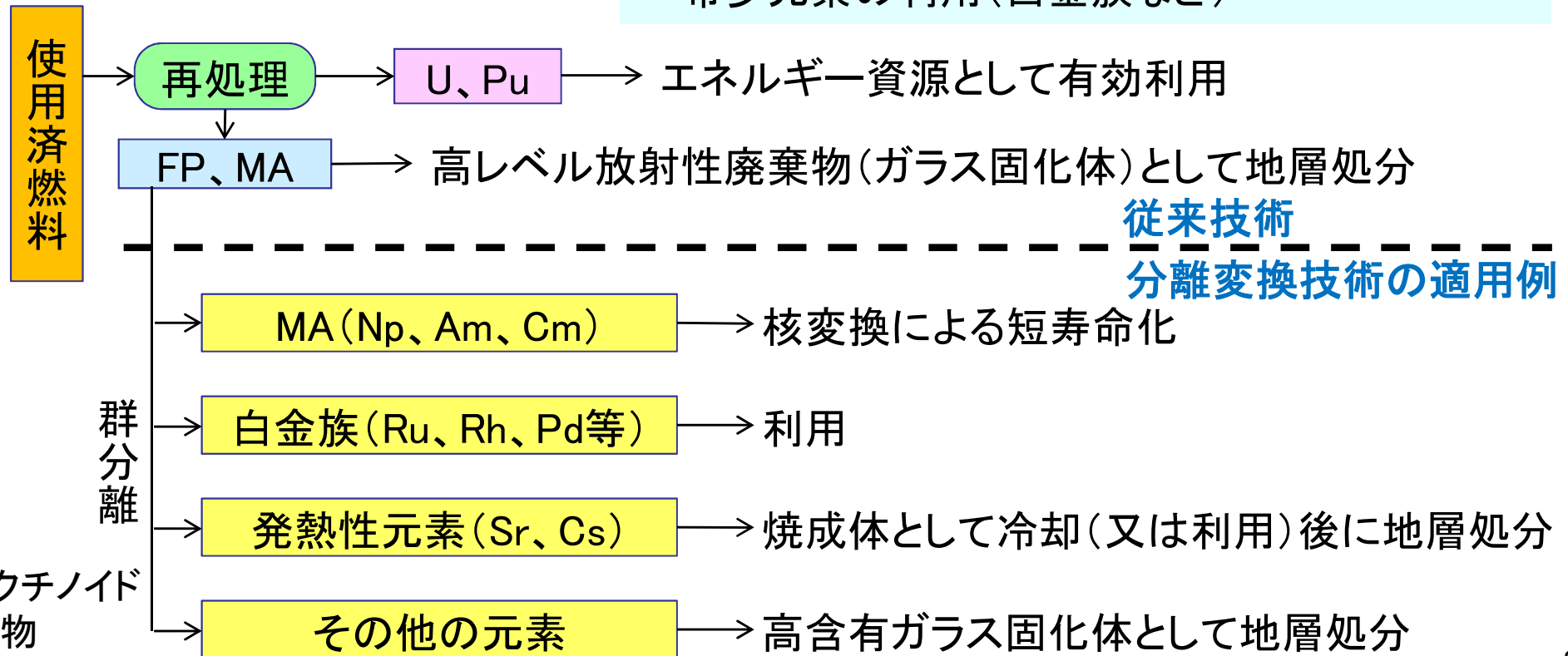
独立行政法人 日本原子力研究開発機構

群分離・核変換技術とは

群分離・核変換技術(分離変換技術)
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(分離技術)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(変換技術)ための技術

目標

- ・**長期リスクの低減:**
廃棄物の潜在的有害度の総量を大幅に低減
- ・**処分場の実効処分容量の増大:**
発熱の大きい核種を除去してコンパクトに処分
- ・**放射性廃棄物の一部資源化:**
希少元素の利用(白金族など)



MA: マイナーアクチノイド
FP: 核分裂生成物

分離変換技術の導入効果

■ 長期リスクの低減

高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度の低減

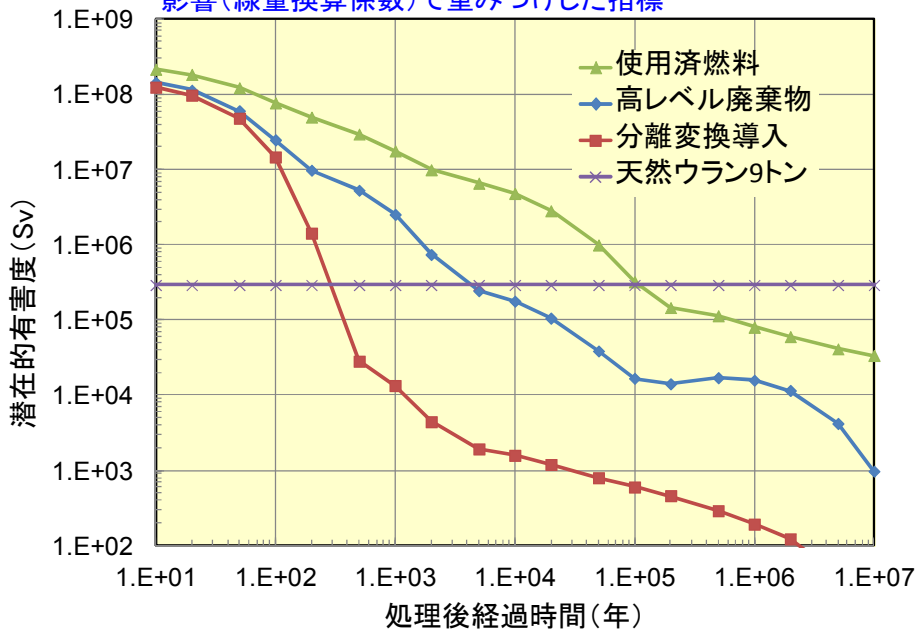
■ 地層処分場実効的な容量増大

MA核変換及び発熱性核種であるSr-Csの分離貯蔵の組み合わせにより集積処分が可能
(ただし、現存するガラス固化体や現行技術からのガラス固化体は従来通りの処分が必要)



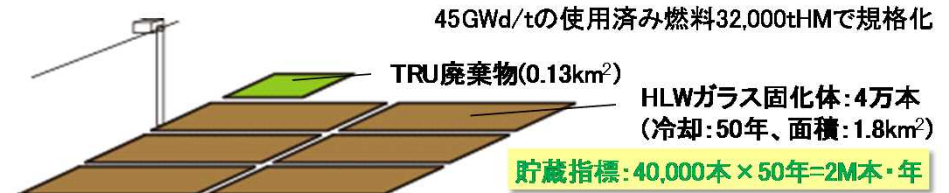
高レベル放射性廃棄物の地層処分の負担軽減

潜在的有害度：各放射性核種の人体への影響(線量換算係数)で重みづけした指標



燃焼度43GWD/t、5年冷却後の再処理でUとPuを99.5%除去。
分離変換ではさらにMAを99.5%除去

従来の地層処分



分離変換導入

MA核変換は超長期の潜在的有害度削減と長期発熱核種(Am-241)の除去に有効



さらに長期貯蔵

Sr-Cs焼成体: 5,100本 (冷却320年、面積:0.005km²)

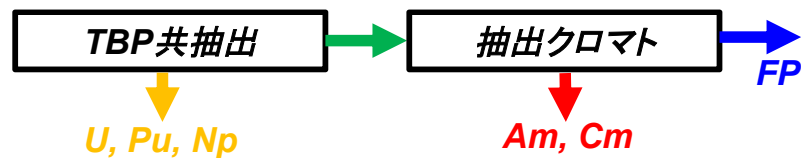


分離技術

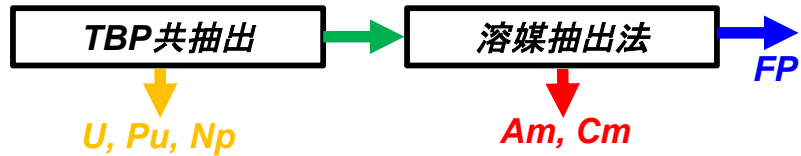
- **分離技術**: 使用済核燃料から用途に応じて元素(群)を分離・回収する技術。再処理と同時または再処理後の高レベル廃液に分離プロセスを適用。

日本

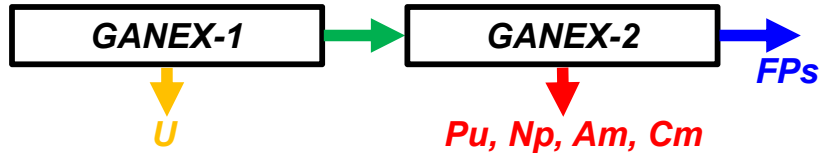
先進湿式法(NEXT法):



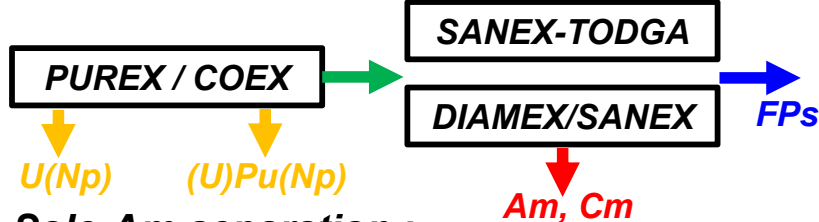
溶媒抽出法:



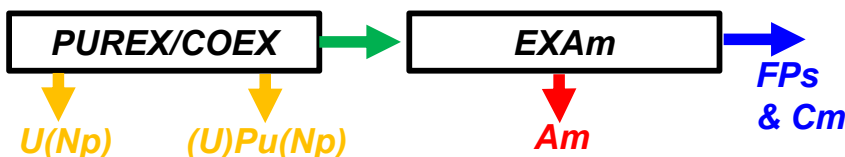
Grouped separation:



Enhanced separation:



Sole-Am separation:



フランス

- Purex法をもとにU, Pu, MA, FPを用途に応じて分離・回収する技術を開発中 (kg規模の使用済燃料の実廃液による連続プロセス試験)

米国

- GNEP計画の下でPurex法をもとにU, Pu, MA, FPを用途に応じて分離・回収する技術を開発。

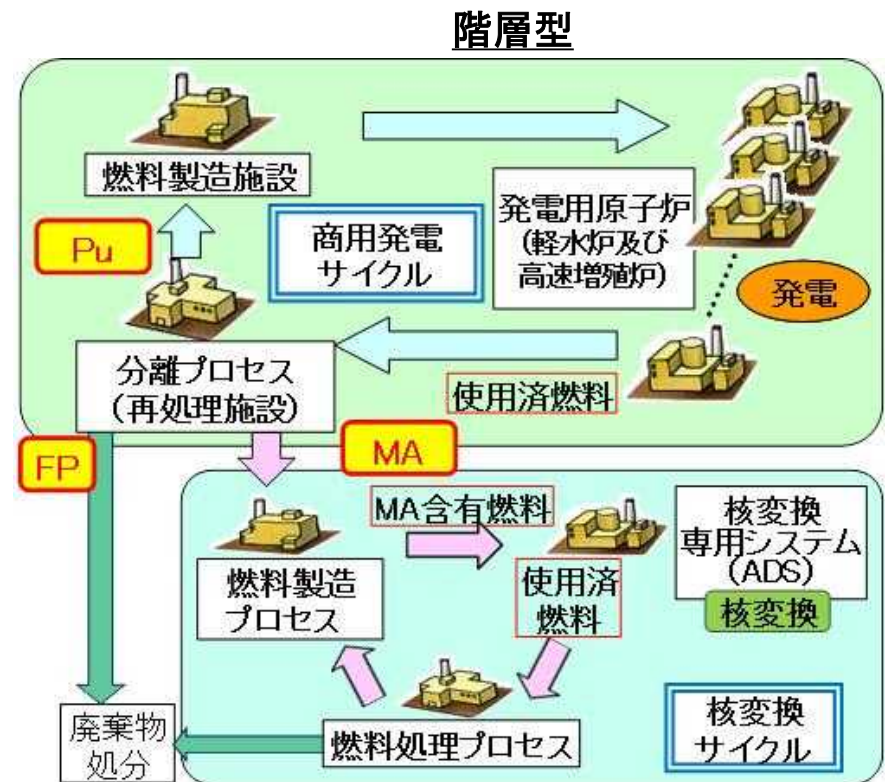
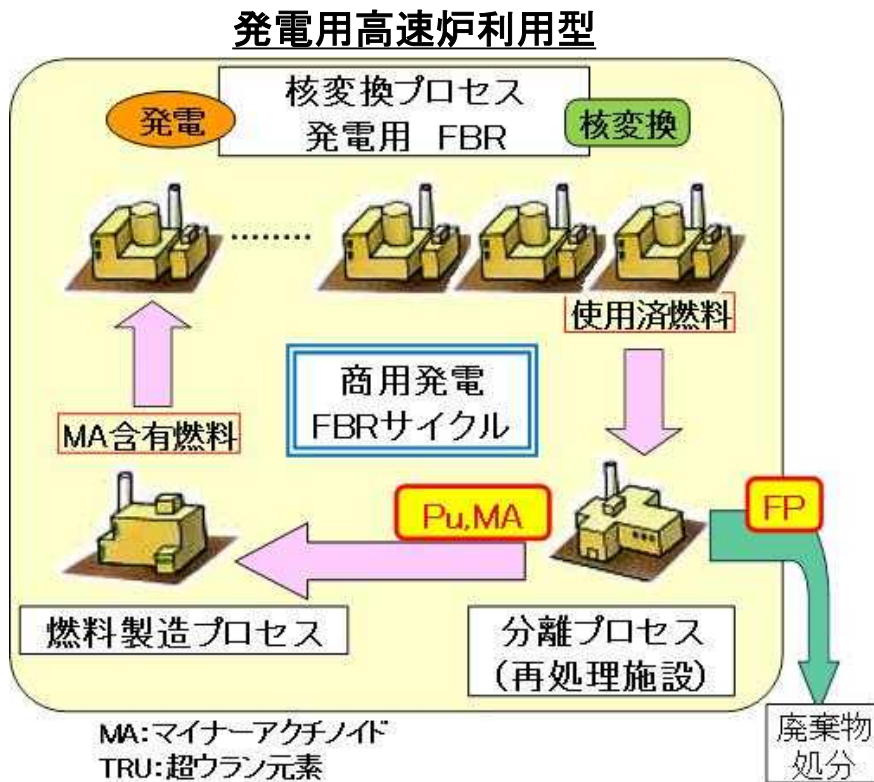
核変換技術

■ **核変換技術**: 使用済燃料中のMAを回収し、主に核分裂反応により短寿命核種に変換する技術

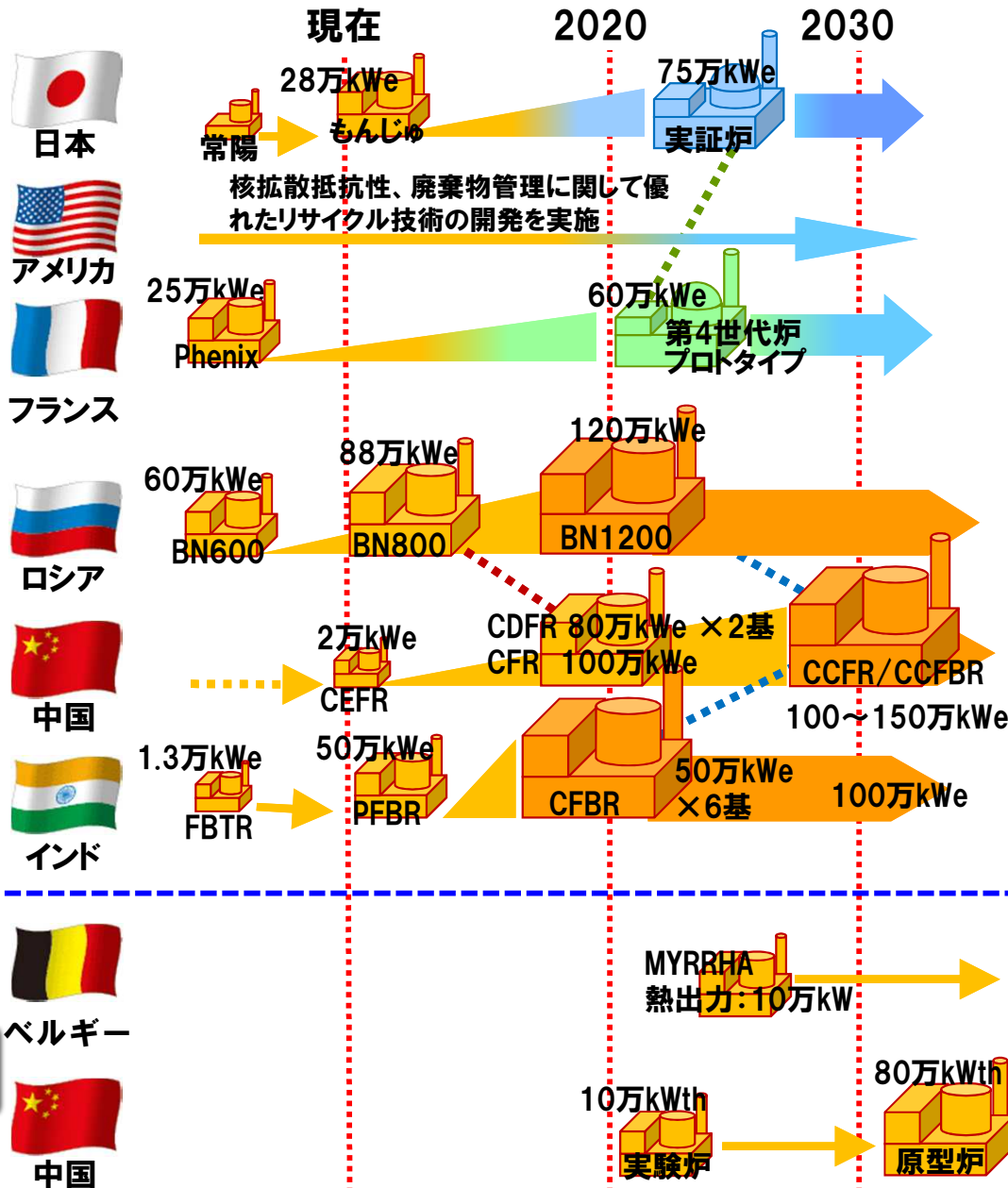
■ **主な核変換システム**

■ **発電用高速炉利用型**: 発電用高速炉(FBR・FR)における均質または非均質燃料によるリサイクルを目的として、発電用高速炉と一体的に研究開発を実施

■ **階層型**: 発電用サイクルから独立した、加速器駆動システム(ADS)を中心とした核変換専用サイクルを構成する階層型概念に基づく研究開発を実施



FR及びADSの開発状況



日本

- 高速炉・ADSそれぞれの研究開発を実施

欧州

- フランスを中心として高速炉型(非均質装荷:後述)を検討中
- ベルギーを中心としてADS実験炉MYRRHAの建設を計画している

米国

- 1990年代よりAFCI計画、GNEP計画などで高速炉・ADSともに検討してきた

中国

- 昨年度から大規模な予算措置を受け、高速炉・ADSそれぞれによる核変換の研究開発を進めている

米国における状況

Blue Ribbon Commission



- オバマ政権が「使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の貯蔵・処理・処分及び燃料サイクルを含めたバックエンド政策の包括的な評価・検証」のため設置、2012年1月に最終報告。
- 最終報告の中で、「**先進的な原子炉及び燃料サイクル技術に関する研究開発・実証(RD&D)のための、人材育成を含む、安定的かつ長期的な支援**」の必要性を提言
 - 現在利用できるか、合理的に予想できる原子炉と燃料サイクルの技術開発は、少なくとも今後数十年間、廃棄物管理の課題を基本的に変える可能性はない。**現状で燃料サイクル技術を絞り込むことは時期尚早である。**将来のさまざまな時点で社会的利益をもたらす可能性のある原子炉と燃料サイクル技術は、持続的な安全性、経済性、環境及びエネルギー確保の目的から極めて有望であり、官民が研究開発の投資を継続する価値があるし、**RD&Dを継続すべきである。**
- BRCの下に設置された「原子炉・核燃料サイクル技術小委員会」では、現行炉及び先進的原子炉や燃料サイクル技術に関する技術的観点からの調査を行い、2012年1月に小委員会の勧告を含む最終報告書を提出。
- 小委員会報告における主な指摘
 - ✓ **先進的な原子炉及び燃料サイクル技術は、安全性・処分・経済性・環境等で有益である。**
 - ✓ **核変換は、TRU核種による長期的な発熱を低減するための唯一の実用的な方法である。**

参考資料: BRC Report to the Secretary of Energy (2012年1月)
http://brc.gov/sites/default/files/documents/brc_finalreport_jan2012.pdf

参考資料: Reactor and Fuel Cycle Technology Subcommittee Report to the Full Commission, Updated Report (2012年1月)
http://brc.gov/sites/default/files/documents/updated_rfct_report_final.pdf

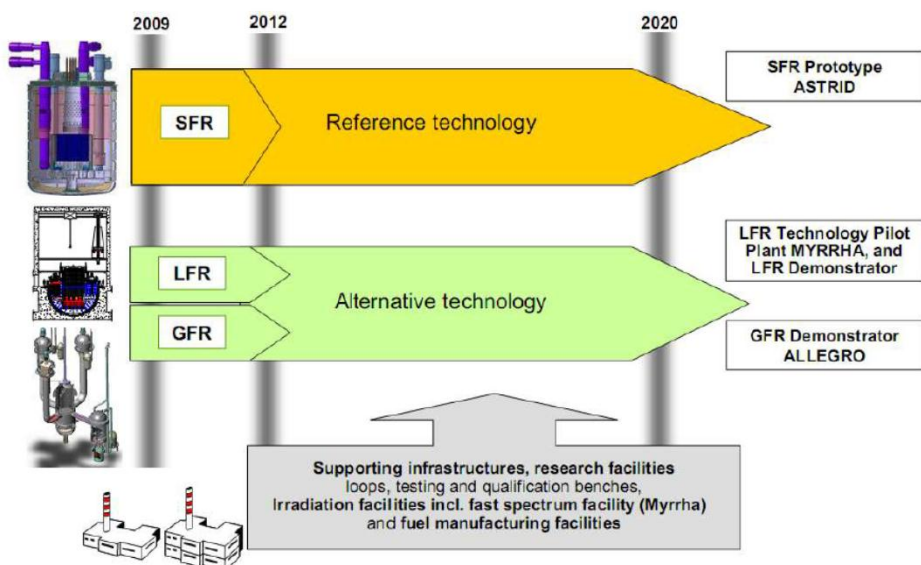
欧州における状況

欧州持続的原子力産業戦略ESNII及び欧州枠組みプログラム



- 2007年9月に、欧州委員会EURATOMが、「持続可能な原子力エネルギー技術開発プラットフォーム構想」(SNE-TP: Sustainable Nuclear Energy Technology Platform)を発表
- 2010年10月からは、欧州持続的原子力産業戦略(ESNII:The European Sustainable Nuclear Industrial Initiative)として研究をさらに推進
 - 2040年代の第4世代高速中性子炉(FNR)実現に向けたロードマップ
 - ウラン資源の有効活用、MAの核変換による高レベル放射性廃棄物の減量等を目的
- 欧州委員会EURATOMによる7次欧州枠組みプログラム(FP)において分離変換技術に関連する様々な研究開発プロジェクトを実施

ESNII: The European Sustainable Nuclear Industrial Initiative



ESNII The European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (2010年10月)

<http://www.snetp.eu/www/snetp/images/stories/Docs-ESNI/ESNII-Folder-A4-oct.pdf>

7次FPで実施中の分離変換に関連するプログラム

プログラム名	研究開発内容	予算(M€)		期間
		全体	EC	
LEADER	鉛冷却高速炉の開発	5.6	3.0	2010/04~2013/10
ALLIANCE	ガス冷却高速炉の開発	1.4	0.9	2012/10~2015/09
MAXSIMA	MYRRHAの安全評価	10.1	5.5	2012/11~2018/10
MAX	MYRRHA用の加速器開発	4.9	2.9	2011/02~2014/01
FREYA	MYRRHA/FASTEF用の臨界実験	5.1	2.8	2011/03~2016/02
FAIRFUELS	核変換用燃料開発	7.7	3.0	2009/02~2014/07
GETMAT	第4世代炉用材料開発	14.0	7.5	2008/02~2013/10
SACSESS	分離プロセスの開発	10.3	5.6	2013/03~2016/02
ASGARD	第4世代炉用燃料の再処理	9.4	5.5	2012/01~2015/12

フランスの状況

原子力・代替エネルギー庁(CEA)による分離変換に関する報告書

2006年放射性廃棄物等管理計画法に基づき実施した研究開発成果を基に、2012年12月に「長寿命放射性元素の分離・核変換研究」について報告書を取りまとめた(2020年にプロトタイプ炉の運転開始するためのオプション選択)。

- MAの核変換は、深地層処分の必要性を排除するものではないが、より長期に渡る発展への道を開く可能性がある。
- 分離技術
 - ✓ MA分離技術は、今日検討されている全てのプロセスについて実験室レベルで実証済。それらプロセスを産業規模まで外挿することに対し理論的な障害はない。
- 高速炉
 - ✓ 現状、ナトリウム冷却高速炉は、今世紀前半に配備する場合に対する最良の解決策と思われる。電気出力60万kWの統合技術実証炉ASTRIDは、産業化に向けた必須ステップ。
 - ✓ Amの核変換は、高速炉の炉心部均質モードでの数個のペレット規模で実証。非均質オプションについては、最初の照射試験分析を現在実施中。
 - ✓ 高速炉の発電コストへの核変換の影響は5%から10%程度。産業化には、特にMA含有燃料の製造及び取扱いに関して持続的な研究開発が必要。
- ADS
 - ✓ 核変換は、加速器駆動システム(ADS)を含む専用の独立した階層においても可能。産業用に成熟させるために必要な研究開発努力は、臨界システムに比べ遙かに大きなものになる。さらに、ADSによる核変換は、臨界炉を用いる場合と比べkWhあたりのコストが20%増加を生じる。

ベルギーの状況 (1/2)

MYRRHA計画 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
- 核破砕ターゲット: 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

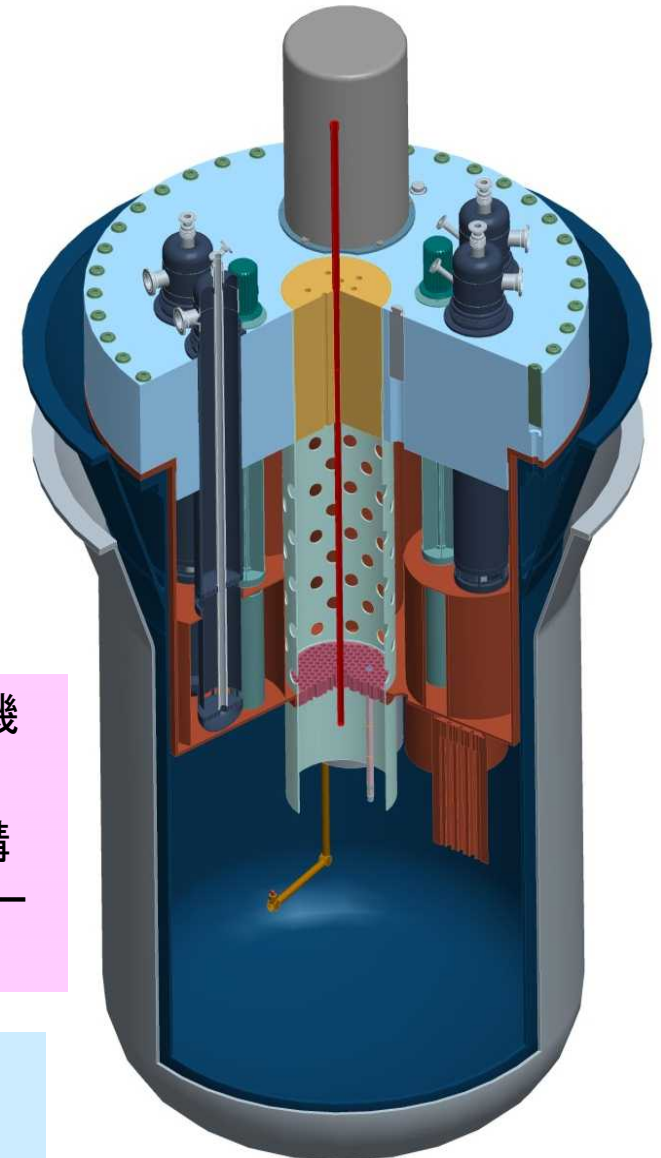
○窓なし型ターゲット概念を追求していたが、最近、窓あり概念に変更

- 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

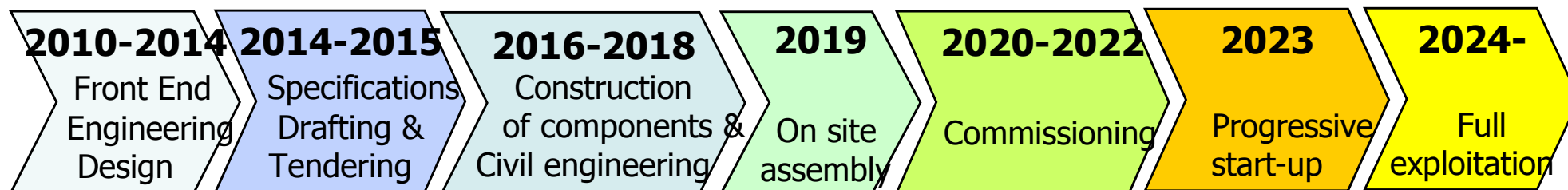
□2010年3月 ベルギー政府がサポートを表明

- 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



ベルギーの状況 (2/2)

MYRRHA計画のスケジュールと予算



支出予想

建設フェーズ(2010-2023)

✓ 建屋:	196Mユーロ
✓ 装置:	370Mユーロ
✓ エンジニアリング:	202Mユーロ
✓ 予備費:	192Mユーロ
計:	960Mユーロ

運転フェーズ(2024-2054)

✓ 運転経費:	46.6Mユーロ/年
✓ 組織強化:	14.6Mユーロ/年
計:	61.2Mユーロ/年

収入の目論見

建設フェーズ(2010-2023)

✓ ベルギー:	40%
✓ EU諸国及びEU:	<30%
✓ アジア諸国:	20%
✓ その他(米、カザフ、...):	>10%
✓ 不足分は欧州投資銀行から融資	

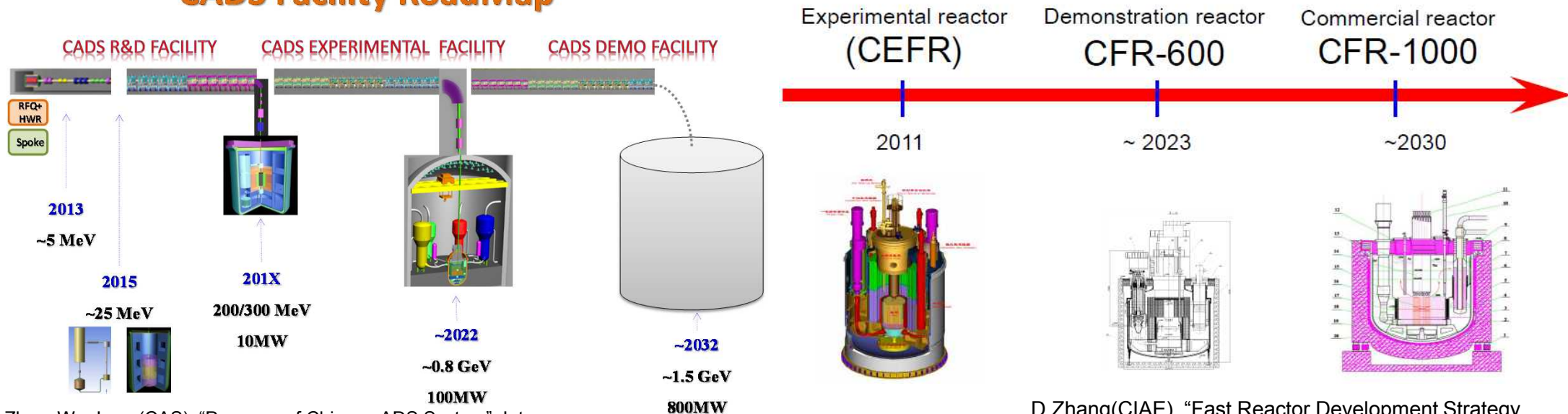
運転フェーズ(2024-2054)

✓ コンソーシアムによる負担:	25.2Mユーロ/年
✓ 科学技術収入:	17.1Mユーロ/年
✓ 利用収入:	>18.8Mユーロ/年
計:	>61.1Mユーロ/年

中国の状況

- 経済成長とともに原子力発電所の数が増えており、2020年までに米国と同程度の数になると見込まれている。一方で、原子力発電所から排出される高レベル放射性廃棄物の処分が大きな問題になると認識しており、2030年頃には3200トン/年のHLWが排出されると試算している。
- ウラン資源の利用率の向上と軽水炉使用済燃料の長寿命核種の変換を目的とした高速増殖炉開発と、核変換を目的としたADSの研究開発を実施。
 - ✓ 高速増殖炉に関しては、実験炉の建設を終えて、実証炉CFR-600(600MWe、2025年頃運転開始予定)の設計を開始。
 - ✓ CADS (Chinese ADS)は800MW出力の原型炉を2032年に作ることを目標に研究開発を実施。Phase1用の資金(\$250M)及び建設用地(内陸部)を確保。

CADS Facility RoadMap



我が国で研究開発を実施中の主な分離変換概念



分離変換概念	発電用高速炉利用型		ADS階層型
	均質型	非均質型	
核変換システム	高速炉		加速器駆動システム (ADS)
燃料中のMA濃度と装荷形態	低濃度(5%以下) 発電用燃料を兼用 炉心全体に装荷	やや高濃度(20~30%) 炉心又はブランケットの一部にMAターゲット燃料を装荷	高濃度(50~80%) Uフリー燃料を炉心全体に装荷
燃料形態	酸化物/金属燃料	酸化物/金属燃料	窒化物
MA燃料の再処理・再加工	発電サイクル設備で一括処理	発電サイクル設備を一部共用	発電サイクルと独立のMA専用サイクル設備
再処理プロセス	先進湿式法 (酸化物) 乾式法 (金属)		発電サイクル: 湿式分離法 専用サイクル: 乾式法
備考	酸化物燃料均質装荷は、FaCTの主概念、金属燃料均質装荷はFaCTの副概念	Am高含有燃料製造に関する技術開発を実施中	要素技術開発を実施中

JAEAにおける分離変換概念の研究開発実施範囲



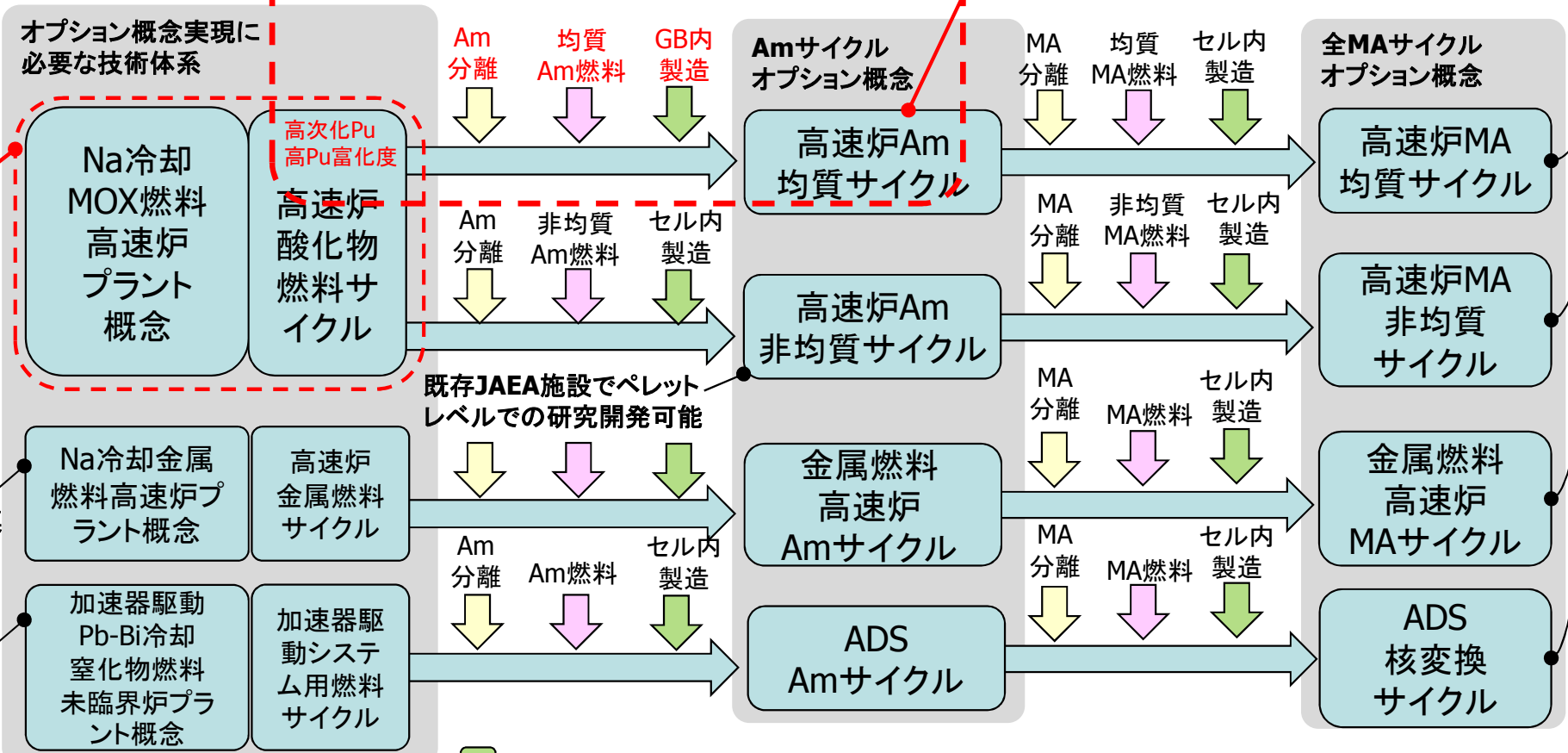
基礎研究

核反応断面積, 燃料物性等の基礎データ (Pu→Np, Am→Cm) (低濃度→高濃度) (低精度→高精度)

「もんじゅ」等での廃棄物減容等の研究の主たる対象

既存JAEA施設を使用して実規模燃料ピンレベルでの研究開発可能

海外も含め、実験室規模での要素技術の研究開発のみが可能



- 参考資料 -

1. 原子力委員会研究開発専門部会分離変換技術検討委員会報告書「分離変換技術に関する研究開発の現状と進め方」(平成21年4月28日)
2. フランスにおける状況に関する資料
 - 1991年の法律：放射性廃棄物管理研究法
 - 1991年法で実施された研究の評価
 - 2006年の法律：放射性廃棄物等管理計画法
 - 2006年法で実施された研究の評価
 - CEA2012年報告書の概要
3. 国際機関・国際協力を中心とした研究開発

1. 原子力委員会「分離変換技術検討会」(平成21年)での指摘事項

分離変換技術開発の基本的方針



- 分離変換技術の研究開発活動は、発電用高速増殖炉サイクル技術の研究開発活動と強くリンクして行われなければならない。
- FaCTの主概念および副概念における分離変換技術の研究開発は、分離性能や変換性能を限りなく高くすることが求められているのではなく、所要の性能目標を達成するのに適切な技術を実現することを目標に進められなければならない。
- ADS 利用については、十分な核変換効率の達成に加えて、発電システムとは独立したシステムを設けることによる効果について慎重に評価されねばならない。
- それぞれの分離変換技術の研究開発は、概していえば、基礎研究段階から準工学段階にまで発展してきているものの、分離変換技術を含む原子力発電システムに対して要求されている性能目標の達成度合いを評価するための情報が不足している。
- したがって、今後の分離変換技術の研究開発は、高速増殖炉サイクル技術の研究開発の一部として、与えられた性能目標に対する貢献度を定期的に評価し、その結果を取組に反映しながら進めるべきである。
- 発電用高速増殖炉へのMA の非均質装荷概念は高速増殖炉サイクル技術の研究開発に含めて扱うものとし、階層型概念の研究開発は高速増殖炉サイクルを中核とする将来の原子力発電システム体系の一部として研究開発を進めるべきである。

1. 原子力委員会「分離変換技術検討会」(平成21年)での指摘事項 提言(1/2)



- 国は、2010年頃に、分離変換技術を取り入れた高速増殖炉サイクル技術に関するそれまでの研究開発の進捗状況や実用化に向けた取組の検討状況等を評価し、その結果を踏まえてその後の研究開発方針の一層の具体化を図ることとしている。また、第2再処理工場のあり方に関する議論を2010年頃から開始するとしている。
- そこで、当面は、各研究機関が、上に示した方針で研究開発活動を推進することを提案する。
- 2010年からの作業においては、研究開発成果を踏まえて、実現可能な発電用高速増殖炉サイクル技術を展望して、その性能評価を行い、要求性能を達成できる可能性が検討されることになる。
- その際には、検討作業の結果を踏まえて、本報告書において指摘した様々な開発課題に対する取組について、これを強化、維持、中止することを含む研究開発方針の一層の具体化を行うこととし、階層型概念の研究開発については、その基本方針を示して、一層の具体化を図ることを提案する。
- また、その際には、種々の基礎データの獲得やベンチマーク実験、あるいは、工学研究の実施に必要な施設や設備に関して、国内施設や海外施設の利用計画などを含めた合理的かつ戦略的な方針が提示されるべきである。

1. 原子力委員会「分離変換技術検討会」(平成21年)での指摘事項 提言(2/2)



- 研究開発機関においては、上記評価時期を念頭において、以下の点にも配慮して、着実に研究開発を実施すべきである。
- また、分離変換技術の開発は、基礎分野のポテンシャルを維持し、人材を育成していく面でも重要な研究開発分野であり、大学等とも連携・協力して研究開発を進めていくべきである。
 - ✓ 原子力技術に対しては、他のエネルギー供給技術に比較して市場における優位性を高くする観点から性能目標が設定される。原子力エネルギー供給システムに対する研究開発は、常に、この性能目標の実現可能性への貢献度合いを評価して軌道修正しつつ推進されるべきこと。
 - ✓ 「発電サイクル系」と「放射性廃棄物処分系」を中心とした全原子力システムとしての特性を評価するための研究を強化して進めること。
 - ✓ システムの成立性を決定するような重要な基礎データの充足、及び、基本的ベンチマークの充実を進めること。特に、共通基盤データについては、連携した合理的な取組を期待する。
 - ✓ 基礎的な実証を終えているシステムについては、そのシステムを開発することの妥当性を評価した上で、工学的な成立性の確証を得るため、準工学試験あるいは工学試験を進めること。
 - ✓ ADS等、工学的必須課題についての研究が途上にあるものは、国際的な共同研究などを含めて、なるべく早く、その克服の可能性についての見通しを得ること。
 - ✓ 現在研究開発が行われている技術概念のより良い組み合わせの可能性を検討すること。

2. フランスにおける状況 (1/10)

1991年の法律：放射性廃棄物管理研究法



- 59基の商用発電炉により電力の80 %近くを原子力発電
- 使用済燃料の再処理を行い、MOX (U-Pu混合酸化物)燃料を20基の商用発電炉で利用
- 原子力発電に伴う放射性廃棄物の処分までを含めて、燃料サイクル全体について検討
- 放射性廃棄物管理研究法 (1991年12月30日に成立)
 - » 高レベル放射性廃棄物の管理
 - 自然、環境、公衆の健康の保護、後世代の権利の尊重
 - » 高レベル放射性廃棄物の管理に関して、15年間に行うべき研究開発の枠組を規定
 - » 3つの研究開発領域
 - 領域1: **分離変換** フランス原子力庁(CEA)
 - 領域2: 深地層処分 放射性廃棄物管理機関(ANDRA)
 - 領域3: 長期中間貯蔵 フランス原子力庁(CEA)
 - » 毎年報告書を提出、2006年までに研究を総括した報告書を議会へ提出
 - » これを踏まえ、議会ではその後の高レベル放射性廃棄物の管理方策を決定

2. フランスにおける状況 (2/10)

1991年の法律で実施された研究の評価



- 議会科学技術評価局(OPECST)
 - » 2005年1月～2月に3回の公聴会(Public Hearing)を実施
 - » 2005年3月29日に報告書を議会へ提出
- 原子力庁(CEA)、放射性廃棄物管理機関(ANDRA)
 - » 2005年6月30日に研究報告書を政府へ提出
- 公開討論国家委員会(CNDP)
 - » 2005年9月12日～2006年1月13日に公聴会(Public Debate)を実施
 - » 2006年1月27日に報告書を公表
- 国家評価委員会(CNE)
 - » 2006年1月に総括評価報告書を政府へ提出
- 仏政府の要請による国際ピアレビュー(分離変換)
 - » OECD/NEAが事務局となり、国際レビューチーム(IRT)を組織
 - » 10名の専門家(米国3、日本2、EC2、ロシア1、ベルギー1、スイス1)
 - » 2006年2月に最終報告書を仏政府へ提出
- 2006年6月28日に新法律(放射性廃棄物等管理計画法)が成立

2. フランスにおける状況 (3/10)

議会科学技術評価局(OPECST)による報告書



「放射性廃棄物管理研究の進捗状況及び今後の展望に関する報告書」

- 1991年の法律に基づいて実施された研究により、分離変換、地層処分、及び長期中間貯蔵のそれぞれの利点が明らかにされ、それらの補完性が証明された
- 分離変換は2040年に実現可能である
 - » 分離の実験室レベルでの実現可能性は実証済みであるが、実用化には時間がかかる
 - » 核変換の実現可能性は科学的に実証されており、技術実証装置の建設が待たれている
- 国会は3つの研究領域の研究の継続と方針決定の姿勢を維持しなければならない
 - » 分離変換に関する研究を協力して継続すべきである
 - 高度分離の産業化には莫大な投資が必要であるが、それは処分の節約につながる
 - 2008～2009年に予定されているフェニックス炉の閉鎖によって核変換研究が難しくなる
 - 第IV世代炉による核変換のためには緊密な国際協力が必要である
 - 加速器駆動システム(ADS)の欧州実証施設の実現は、今後検討すべき目標である
- 法律により、放射性廃棄物管理の方法として、分離変換、地層処分、及び長期中間貯蔵を利用するという原則決定を下すべきである

2. フランスにおける状況 (4/10)

国家評価委員会(CNE)による総括評価報告書



「1991年12月30日法律のもとに実施された諸研究に関するCNEの総括評価報告書」

- 放射性廃棄物管理の全体戦略を15年の研究成果から策定すること
- 地層処分を基本方策として採用し、徹底的に研究すること
- 分離変換に関する研究を第四世代の原子炉系の要求との関連において方向付けをし直し調整すること
- 加速器駆動システム(ADS)による核変換に関する欧州EUROTRANSプロジェクト(フランスからはフランス原子力庁(CEA)とフランス国立科学研究センター(CNRS)などが参加)の終了時において、ADSの役割と将来について結論を出すこと
 - » 分離研究の方が核変換研究より進んでいる
 - » 高速中性子炉におけるマイナーアクチノイド(MA)の核変換は原理的に可能である
 - ただし、燃料またはターゲットを製造する能力はまだ実証されていない
 - 燃料及びターゲットに関する研究は依然としてMAをほとんど含有していない酸化物のみを対象にしている
 - これらのリサイクルに関する実験に着手されていない
 - » 階層型シナリオは、電力生産を核変換からデカップリングするものであって、発電用原子炉の核燃料サイクルに影響を及ぼさず、個別的な利益がある

2. フランスにおける状況 (5/10)

国際レビューチーム(IRT)による報告書



「1991年の法律における『領域1:分離変換』についてのCEAの成果報告書の国際ピアレビュー」

- 種々の技術分野において、その開発レベルは異なっている
 - » PWR使用済み燃料の化学分離はたいへんよく進展した
 - » 燃料・ターゲットの研究はまだ探索の段階である
 - » 高速中性子照射場がなくなることは、この分野の進捗を危うくする
- 燃料開発、核破砕ターゲット技術及び加速器の信頼性の現状のレベルを見ると、加速器駆動システム(ADS)のためには、まだかなりの技術の進展が必要である
 - » これらの開発は欧州EUROTRANSプロジェクトで進められており、CEA(フランス原子力庁)とCNRS(フランス国立科学研究センター)はこのプログラムに引き続き貢献していくべきである
- 研究の目標は、すべて放射性毒性の低減の観点から述べられている
 - » 廃棄物の長期毒性の管理から言えば、放射性毒性の低減と被ばく量低減の2つがあり、この観点からの検討も有益であろう
 - » アクチノイドの分離変換が第1で、核分裂生成物の分離変換はその次であろう
 - » 分離変換は、廃棄物の発熱量及び体積の低減をとおして、処分場の効率的利用に役立つ可能性がある
- 燃料サイクル全体における分離変換の効果について、総合的な考察がない
 - » 例えば、マイナーアクチノイド・リサイクルにおける燃料製造との係り、分離変換を導入したときの最終処分場の性能などについて、言及されていない

2. フランスにおける状況 (6/10)

2006年の法律：放射性廃棄物等管理計画法



- あらゆる種類の放射性物質及び放射性廃棄物、特に放射線源または放射性物質を使用する施設の開発または解体の結果生ずるものを永続的に管理することにより、健康、及び環境の保護に関し保証する
- 将来世代を通し支えることになる負荷を未然に防ぐ、または、制限するために、放射性廃棄物を絶対的に安全な場所に保管するために必要な手段を研究し、実施する
- 上に規定された原則、長半減期中・高レベル放射性廃棄物の管理に関し以下3点の相補的な基本方針に基づき、これら廃棄物に関する調査研究を行う
 - » 第1項：長半減期放射性元素の分離・変換
 - 次世代原子炉及び加速器駆動システムの調査・研究と連携して推進する
 - 産業化の見通しを2012年までに評価し、2020年12月31日以前に原型炉の稼動を目指す
 - » 第2項：地下深部の地層における可逆的処分
 - 処分地の選定及び処分センターの設計を行うことを目的として調査・研究継続する
 - 2015年に可逆性のある地層処分場の設置許可申請、2025年に操業開始を目指す
 - » 第3項：貯蔵
 - 調査した需要、特に収容力及び保管期間に応じることのできるよう、遅くとも2015年には、新しい貯蔵施設の建設もしくは既存施設の改造を行うことを目標に推進する

2. フランスにおける状況 (7/10)

CEA2012年報告書の概要 ①報告書の位置づけ



- 放射性物質及び廃棄物の持続的管理に係る2006-739法(2006年6月28日)では、使用済燃料管理方針を定義、以下2原則を補足;
 - 適切に処理した最終放射性廃棄物の量及び毒性を低減する使用済燃料処理・リサイクル政策の妥当性を確認する
 - 高レベル且つ長寿命の最終廃棄物については深地層処分をレファレンスとする
- また、政令PNG-MDR(2008年4月16日, 2012年4月23日)により2006-739法(2006年6月28日)を補完。CEAに対し、以下の方針のもと「長寿命放射性元素の分離・核変換研究を取り纏めること」を要請。
 - 2005-781法(2005年7月13日)第5条 に述べる次世代原子炉に係る研究及び廃棄物核変換に特化した加速器駆動未臨界原子炉研究と関連して実施する
 - 2012年までに産業化見通しを評価する
 - 2020年12月31日までに原型施設(プロトタイプ施設)を運開する、このため2012年報告書によってオプション選択が可能であるように取り纏める
- 同要請に従いCEAは報告書を取り纏めた。
- 現在フランス政府が、本報告書のレビューを実施中。

2. フランスにおける状況 (8/10)

CEA2012年報告書の概要 ②報告書の構成



- CEAが放射性廃棄物管理機関(ANDRA)、国立科学研究センター(CNRS)、大学、アレバ社、フランス電力(EDF)と共同でまとめた
- 報告書は5巻構成
 - 第1巻: 第4世代原子炉による放射性物質の持続可能な管理
 - 第2巻: 長寿命放射性核種の変換
 - 第3巻: 第4世代ナトリウム冷却高速中性子炉—技術実証炉ASTRID
 - 第4巻: 第4世代ガス冷却高速中性子炉—実験炉ALLEGRO
 - 第5巻: まとめと勧告

2. フランスにおける状況 (9/10)

CEA2012年報告書の概要 ③第5巻概要(1/2)



1. 使用済燃料に含まれるU及びPuをリサイクルする高速炉の使用をベースとした第4世代システムの開発により、温室効果ガスを排出せずに電力を生産する将来の見通しが提示される。それは、安全かつ経済競争力があり、核物質の持続可能な管理という目的を達成するものである。
2. 第4世代高速炉システムの開発能力を有していることは、長期的なエネルギー供給保障だけでなく、産業競争力及び雇用に関しても、フランスにとっての国家資産である。
3. フランスでは、2種類の主たる第4世代高速炉システム(ガス冷却高速炉とナトリウム冷却高速炉)を研究中である。現状、ナトリウム冷却高速炉は、今世紀前半に配備する場合に対する最良の解決策と思われる。それには、豊富な実績に基づく最高の産業的成熟度、明確化された将来開発への道筋(特に安全性に関して、CEAによって実施された研究により、主な技術的ブレークスルーの見通しが、ここ数年で得られている。)といった、いくつかの本質的な優位性が組み合わさっている。ガス冷却型高速炉は様々な観点から有望な代替選択肢であるものの、技術実証炉の建設の前にまだ多くの研究努力を必要とし、産業的成熟には程遠い。
4. 電気出力60万kWの統合技術実証炉ASTRID(Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration)は、産業化に向けて必須のステップである。主な産業的特徴をそなえ、革新的概念の検証のために設計されている。現在実施中の研究開発により、特に安全性及び運転性に関するとりわけ革新的なオプションの選択が可能となる。
5. ASTRIDプロジェクトは幅広い協力体制の下で進められている。フランス国内ではフランス電力(EDF)、アレバ社、アルストム社、ブイグ社、コムックス・ニュークレエール社、ヤコブ・フランス社などが参加、国外では東芝、ロールスロイス社、アストリウム社の参加のほか、GIFや二国間協力の活動がある。現在の計画によると、早くて2017年に詳細概念設計を完了し、2020年代前半の運転開始を目指した建設開始を判断する。
6. エネルギーの安定供給を第一優先とするいくつかの国では、高速炉の導入をより早く開始する可能性がある。フランスにおいて発電用高速炉の導入について様々なオプションを検討してきた。第一段階として、高速炉を基数を限定して導入し既存の軽水炉と併用する段階的アプローチが適切であるとCEAは考える(大規模導入は第二段階に予定)。検討の結果、2040年頃に予定される第一段階の導入開始時期を遅らせるべきではないことも示された。EDFとAREVAによる導入シナリオ研究によって、このアプローチを精緻化する予定である。

2. フランスにおける状況 (10/10)

CEA2012年報告書の概要 ③第5巻概要(2/2)



7. 高速炉は核物質管理の観点から柔軟性が極めて高い。必要に応じて、外部の天然U資源に頼らずに追加の発電容量を増加することが可能である。あるいは、高速炉をいつか段階的に廃止する場合には、燃焼炉モードにより核物質のインベントリを減らすことができる。
8. MAの核変換は、深地層処分の必要性を排除するものではないが、より長期に渡る発展への道を開く可能性がある。長寿命の高レベル放射性廃棄物の処分場面積を1/10に縮小する可能性がある他、数世紀後に廃棄物の放射能毒性を1/100にまで減少させる可能性がある。
9. MAの分離技術の実現可能性は、今日検討されている全てのプロセスについて実験室レベルで実証済である。それらプロセスを産業規模まで外挿することに対し理論的な障害はない。プロセスの最適化と技術体系確立のための研究開発を追求することが考えられる。
10. Amの核変換の実現可能性は、高速炉の炉心部において、均質モードでの数個のペレット規模で実証されている。炉心周辺部における非均質核変換オプションについては、最初の照射試験分析を現在実施中である。
11. 核変換は、専用の独立した階層においても行うことができる。そこには高いMA濃度を受け入れるよう設計された加速器駆動システム(ADS)が含まれる。それらのシステムを産業用に成熟させるために必要な研究開発努力は、今日までの進展にもかかわらず、臨界システムに比べ遙かに大きなものになると考えられる。さらに、(今日研究されている装置の場合、) ADSによる核変換は、臨界炉を用いる場合と比べkWhあたりのコストについて20%の増加を生じる。
12. 高速炉における核変換の産業規模での実施効果を(異なる可能なモードについて)様々なクライテリアに従って評価した。最終廃棄体の性質において著しいメリットが示されたが、特に核物質サイクルにおける操作に対するデメリットも示された。高速炉の発電コストへの核変換の影響は5%から10%程度である。(kWhあたりのコストは大部分が炉のコストによって決まり、核変換オプションの導入によって僅かしか影響を受けない。)産業規模での実施については、種々の側面、特にMA含有物の製造及び取扱いの側面を評価するために、持続的な研究開発努力が必要である。

3. 国際機関・国際協力を中心とした研究開発



- OECD/NEA
 - 分離・核変換技術に関する情報交換を1980年代から実施
 - 燃料サイクル概念毎の比較研究、核変換に関するベンチマーク解析、加速器信頼性に関する情報交換なども実施
- IAEA
 - 非OECD国を含めた広範な情報収集、ステータスレポートの刊行等のレビュー活動、核変換に関するベンチマーク解析等を実施
- Generation-IV
 - MA燃焼を目的の一つとした高速発電炉の研究協力を実施