

海外における核種分離・消滅処理技術の研究開発状況 (1/5)

	フランス	スイス	EU	アメリカ
調査施設	原子力庁(CEA) カダラッシュ研究所 マルクール研究所	パウル・シェーラー研究所(PSI)	超ウラン元素研究所(ITU)	連邦エネルギー省(DOE) ロスアラモス国立研究所(LANL) アルゴンヌ国立研究所(ANL)
1.核種分離・消滅 処理技術の位置 づけ	1991年制定の放射性廃棄物管理研究法に基づき、高レベル・長寿命放射性廃棄物の処理処分方法として、地層処分、分離・核変換及び長期貯蔵に関する研究開発を実施。2006年までに総合評価報告書を議会に提出し、議会でその後の管理方を決定する。 分離・核変換技術については、CEAが担当している。	国としての方針はなし。消滅処理技術、特に加速器駆動システムについては、先進的核燃料サイクルの一環としてPSIが検討している。	EUにおける核種分離・消滅処理研究は、深地層処分、使用済燃料の中間貯蔵あるいは処分、プルトニウムの燃焼(酸化物や窒化物の高濃度Pu燃料、Pu燃焼用不活性マトリックス等の研究)等とともに廃棄物管理研究の一つと位置づけられており、ITUはEUにおける様々な研究をサポートしている。	DOEにおいて、加速器駆動消滅処理(ATW)技術開発の開発指針(ロードマップ)を策定しており、現在、その最終報告を取りまとめ中。
2.核種分離・消滅 処理技術開発の 意義	原子力発電・核燃料サイクルのオプションの幅を広げる。 PWRとFBRで長寿命核分裂生成物(LLFP)の量を安定化するための科学的・技術的実現可能性を確認し、核変換専用システムでその量を低減させる可能性を評価する。	資源の有効利用とアクチノイドのリサイクルを中心とした新しい燃料サイクル概念を構築する。	将来の原子燃料サイクルの選択肢を広げる。	ATWは、使用済燃料の永久処分の潜在的毒性を低減することができる将来技術である。米国は、現在ワンスルー政策を取っており、研究所においては、原子力の基礎的な研究開発計画としての意義も大きいと考えられている。
3.処理対象元素・ 核種	マイナーアクチノイド(MA : Np, Am, Cm)、LLFP (I-129, Tc-99, Cs-135)。 Puについては、リサイクル可能なエネルギー源となる物質ととらえ、廃棄物とは考えていない。一方、長期にわたり廃棄物中の含有放射能に寄与する。したがって、長期にわたる廃棄物管理シナリオでは、Puの管理方法も考慮する必要がある。	MA及びLLFP。	MA(Np, Am, Cm)、LLFP(I-129, Tc-99)。 Puについては想定するシナリオによって、リサイクル可能なエネルギー源とも、処分の対象ともなりうる。	U、TRU(Pu, MA(Np, Am, Cm))、LLFP(I, Tc)。 米国は使用済燃料の直接処分を処分方策としていることから、ATWにおける分離対象核種はU、Puも含んでいる。
4.分離目標	湿式法：溶媒抽出により99～99.9%を分離。	分離に関する研究は行われていない。		廃棄物の潜在的毒性を、数百年間でウラン鉱石より小さくすることを目標とする。

	フランス	スイス	EU	アメリカ
5.技術開発の動向			EUでは、第4次フレームワーク計画(1994-1998)で、分離・消滅処理については、シナリオスタディー、湿式による分離研究、ADSを中心とする消滅処理研究の他、トリウムサイクル、高燃焼度MOX燃料の評価研究などを実施しており、ITUはこれらのプログラムに参加している (ITUとして独自の分離・消滅のシナリオを提案しているわけではなく、様々なプロジェクトに参加する形で研究を行っているので、以下の各項目が一連のシナリオに含まれるものではない。)	
(1)分離	湿式法については、独自の分離フローシートを作成し、実験室規模の遠心抽出器等を用いた実証試験を実施。具体的には、 1)PUREXプロセス：使用済燃料を硝酸に溶解した溶液から、U・Pu, Np, Tc, I, (Zr)を分離 2)DIAMEXプロセス(DIAMIDEを用いた抽出法)：残った高レベル放射性廃棄物(HLW)から、アクチニド元素(A_n)及びランタニド元素(Ln)を分離 3)SANEXプロセス：Ln (FPの1/3を占める)が共存する硝酸溶液からAnを分離 4)SESAMEプロセス：Cmが共存する硝酸溶液からAmを分離 乾式法については、ロシアとの共同研究により、フッ化物溶融塩を用いた乾式分離について、小規模実証試験を実施予定。また、塩化物についても試験の実施を検討中。		湿式分離技術としては、CEAが開発しているDIAMEXプロセス(PUREX後の硝酸廃液からAm、Cmを回収する)について、実廃液を用いた試験を実施しており、良好な結果を得ている。 一方、乾式分離技術については、電中研との共同研究を実施している。この中で、高レベル廃液の脱硝・塩素化による塩化物への転換技術、溶融塩化物/液体Cd又はBiを溶媒とするアクチニドの還元抽出技術の小規模な実証試験を実施する予定である。	湿式法については、UをTRU及びFPから分離するプロセスとして検討されている。本プロセスはPuだけを分離することではなく、TRU+FP(Tc, I)群とU群に分離する。分離されたUは、現在は使用法がないため、貯蔵あるいは廃棄物として処分されることになる。 乾式法では、使用済金属燃料からTRUとTc, Iを分離することを目的としている。ただし、FPの分離技術や燃料加工については未検討である。燃料処理施設(FCF)において、ナトリウムボンド金属燃料を安定化処理し、ウラン金属インゴットとTRUとFPを含んだ廃溶媒をゼオライトで固化して、固化体を製作した実績がある。

	フランス	スイス	EU	アメリカ
5.技術開発の動向				
(2)燃料設計・製造	幅広くいろいろな燃料形態について検討。 1)均質炉心 MA(含有率10%以下)を含有した標準燃料(軽水炉、高速炉)、CAPRAタイプ燃料(Pu含有率の高い燃料)を検討。酸化物燃料はSUPERFACTプロジェクト(実施済)で、金属燃料(U-Pu-Zr+MA,RE)はMETAPHIXプロジェクト(電中研との協定)で照射試験を実施、標準燃料との比較検討を行っている。 2)非均質炉心 MA(含有率20%以上)を不活性母材に分散させたもの、MA固溶体を検討。不活性母材については、照射燃料の作成、照射挙動、特性に関するデータを取得している。また、MA化合物やターゲット形態の検討・選定を行っている。 LLFPについては、ターゲット形態の検討を行っている。また、高速炉で用いる減速材を検討している。	先進核燃料サイクル研究として、高燃焼P I E、ウランフリー燃料に関する研究が行われている。また、MAに関しては、EFTTRA計画における照射、Pu、Npの粒子燃料に関する研究(CEA及びJNCとの協力研究)が行われている。この他に、PSIの590MeVサイクロトロンを用いてアクチノイド酸化物の陽子照射試験(ATHENA計画)が行われている。	SUPERFACT計画やEFTTRA計画に参加し、酸化物系の均質燃料や非均質燃料、あるいは消滅ターゲットとしての不活性母材の製造や照射前試験を実施している。 一方、金属燃料については、電中研と共同で金属燃料の基礎物性を測定するとともに、照射用MA含有金属燃料を製造し、照射前試験を実施している。	EBR-IIのU-Pu-Zr合金燃料での実績を踏まえて、Zr-TRU金属合金燃料を候補としている。まだ概念検討の段階であり、被覆管材料等の課題がある。To、IのFPターゲットについては、今後検討されることになっている。
(3)消滅処理	高速炉を用いた消滅処理については、フランスが中心となり、欧州各国が参加しているCAPRA計画(高速炉を用いたPu燃焼研究計画)のなかで、MA燃焼やLLFP消滅に関する研究開発が行われている。炉心としては、(2)の燃料設計・製造とリンクして、均質及び非均質炉心を検討している。また、LLFPは、減速材付き燃料集合体を非均質装荷する概念を検討している。 ADSについては、GEDEON(先進的な廃棄物管理方法を研究するためCEA、CNRS及びEDFが設立したグループ)で基礎的な調査研究を実施。来年末を目途にADS設計のためのシステム研究計画に関する報告書を作成中。原型機を当面の目標とし、そのための技術的及び安全性に関するオプションの検討をまとめたものを2002年末までに作成。研究開発は、国内研究と合わせて欧州委員会のフレームワーク計画の枠組みの中で各国の協力の下、進めることとしている。システムのオプションについて、加速器(LINACあるいはサイクロトロン)、消滅体系(液体あるいは固体)、冷却材(鉛-ビスマスあるいはヘリウムで、ナトリウムは考えていない)、燃料と燃料サイクルなどが焦点となっている。	既にLWR、MHTGR(ガス冷却炉)、ALMR(高速炉)、Energy Amplifier(ADS)との相互比較を行っている。ベストなシステムは無いとしているが、アクチノイド消滅にはADSを第1候補として研究が進められている。ADSシステム設計では、CEAとの研究協力を行っている。この中では、10MWthのデモシステム、100MWth級の実験炉、3000MWth級の実用炉が検討されている。冷却材には、Heガス、液体金属(Na、Pb-Bi)及び重水(鉛モデルータ付)が考えられている。デモシステムのデザインに関するクライテリアは、高中性子束場の実現と実用炉に近い核特性を得ることに置かれている。 OECD/NEA/NSCの消滅処理ベンチマーク解析には、日本(原研)、ロシア(IPP E)と共に第1回から参加している。現在は第1回での各機関の解析値の相違を詳細に検討するため、PSIの提案により第2回のベンチマーク解析が進められている。		ATWが検討されている。加速器としては、LANLにおいてトリチウムの生産用に関与されたATP(Accelerator Production of Tritium)があり、低エネルギー加速器(6.7MeV、100mA)の実現に向けて実証試験を行っている。高エネルギー化に伴う発熱、ビームの安定性、メンテナンスの頻度等が開発課題である。ATWで要求されるスペックは、1.5GeV、250mAとしており、上記の課題に加えビーム窓や核破砕ターゲットに技術的ブレークスルーが必要とのことである。 また、LANLでは鉛-ビスマスに関しては、ロシアとの共同研究の一環として鉛-ビスマスのループ施設を有しており、流動実験や被覆管の腐食等について試験研究を行っている。鉛-ビスマス冷却材・ターゲットのバックアップとして、LANLではナトリウム冷却材とタングステンターゲットが検討されている。 現段階では炉心については具体的な設計は行われていない。
(4)燃料処理	基本的に分離プロセスと同様と考えられる。		ITUとして具体的に実施している項目はない。	乾式プロセスで行う。

海外における核種分離・消滅処理技術の研究開発状況 (4/5)

	フランス	スイス	EU	アメリカ
6. 今後の見通し及び課題	当面の目標は、1991年法に基づき2006年までに、分離・核変換に関する様々な技術の科学的・技術的実現可能性及び工業的実現可能性を評価することである。ADSについては、長期的には、欧州委員会のフレームワーク計画で行われている原型機開発とフェーズを合わせて、仏国内の研究開発を進めていくことを考えている。	現在進められている先進核燃料サイクル研究とともに、消滅処理に関する長期R & D計画の提案がPSIで検討されている。ただし、法改正により使用済み燃料の再処理が中止される可能性があり、現実的には本技術の研究には厳しい状況にある。	分離・消滅処理研究は欧州委員会の第5次フレームワーク計画(1998-2002)に引き継がれており、 ・ Strategy Studyとして、PTの効果や種々のプロセス(臨界体系と未臨界体系等)の比較、 ・ 分離研究では、湿式のほか、乾式法やクロマトグラフィを応用した方法など新しいプロセスの開発、 ・ 消滅処理では、基礎データの取得やADSの開発(冷却材選定、安全解析、モックアップ)、アクチニドやLLFP含有照射燃料やターゲットの開発等を実施予定である。 また、ITUでは、乾式分離や金属燃料製造・照射に関して電中研との共同研究を実施している。	10月中には、現在策定中のATW研究開発ロードマップの最終報告が取りまとめられる予定。したがって、現在、ATWに関する研究開発プロジェクトはなく、関連する分野の既存の研究開発の中で要素技術開発を行っている状況である。今後、核不拡散の観点から再処理やPu利用の是非という政治的な問題が表立って議論されると、ATWに予算がつくかどうか不透明である。 技術的な課題は、加速器のスケールアップ、炉心設計の具体化、Pb-Bi冷却材による材料腐食の低減、燃料設計の具体化、FPターゲット設計などがある。

	フランス	スイス	EU	アメリカ
7.技術の導入シナリオ及びスケジュール	1991年法に定められているように、2006年までにそれまでの研究開発成果を総括するため、各研究開発項目について、それぞれ以下のようなタイムスケジュールで開発を進めている。	具体的な計画はない。	EUあるいはITUとして、具体的な導入シナリオやタイムスケジュールは明示されていない。	
(1)核種分離	①Npの分離（PUREX法の改良） 科学実現可能性 1995、技術実現可能性 2002 ②HLW/An・Lnの分離（DIAMEX法） 科学実現可能性 1994、技術実現可能性 2002 ③An/Lnの分離（SANEX法） 科学実現可能性 2001、技術実現可能性 2005 ④Am/Cmの分離（SESAME法） 科学実現可能性 2000、技術実現可能性 2005 ⑤Csの分離 科学実現可能性 1995、技術実現可能性 2005			
(2)消滅処理	①フェニックスでの照射計画 2004 ②核変換シナリオ ○全体的な特性 1999 ○技術的原理 2001 ③ハイブリッドシステム原型機プロジェクト ○根拠となる技術報告書 2000 ○技術および安全システムの選択 2002 ○実現可能性および技術選定研究の完了 2006 また、上記の国内R&Dは、以下の原型機開発に関する欧州委員会のフレームワーク計画と進捗を合わせて進められる予定である。 ○第5次計画（1998～2002） ・基礎研究、システム研究（設計、安全性） ○第6次計画 ・フィージビリティスタディとシステムの決定 ○第7次計画（あるいは第8次計画まで） ・技術開発の最終段階及び建設			ATW研究開発のロードマップの中では、5～10年間のスケジュールが示されている。その後15年で施設のスケールアップを行い、1/2スケールのATWプラントを建設、約5年間でプロトタイプのシステムを完成する。最後の25年間で、8つのATWユニットを建設するというシナリオを提示している。このシナリオによると、8つのATWプラントの建設・運転コストは約\$2,890億と見積もられており、これは発電収益約\$2,950億で賄えるので、ATW計画には合理性があるとしている。 ただし、研究開発に関する具体的な予算措置は、早くて2001年度以降である。