

総合講演・報告2 「放射性廃棄物の処理・処分と分離・変換技術」研究専門委員会

**分離・変換技術の廃棄物処理・処分への適用：
先進的核燃料サイクルの総合的な性能評価の試み
(5) 高速炉サイクルを対象とした検討**

Application of partitioning and transmutation technology to waste management:

An attempt to assess total performance of advanced nuclear fuel cycle

(5) A trial assessment for fast reactor cycle

*渡部 創¹, 佐々 敏信¹, 大和田 仁², 斉藤 拓巳³, 石尾 貴宏⁴, 村上 毅⁵, 島田 隆⁶

¹ 日本原子力研究開発機構、² 原子力環境整備促進・資金管理センター、³ 東京大学、⁴ 日本原燃株式会社、⁵ 電力中央研究所、⁶ 三菱重工(株)

本発表では、先進的核燃料サイクルの総合的な性能評価の一部として実施している「高速炉サイクル」を対象とした検討の現状について述べる。

キーワード：核燃料サイクル、性能評価、高速炉サイクル、加速器駆動核変換システム

1. はじめに

既存技術として未だ研究開発途上である高速炉サイクルについて、WG-A, Bと同様に技術-特性マトリクスの評価を行うためには、これまでに公開されている研究開発に関する報告書をベースとした調査が第一ステップとなる。また、技術-特性マトリクスの全項目を埋めることが困難となることも予想される。そこで、調査を行うにあたり、技術-特性マトリクスの特性項目の中の「1. 経済性」の評価が可能なシナリオの選定を行い、当該シナリオに基づいた調査に着手した。

2. シナリオの選定

評価すべきシナリオの数を限定するため、各シナリオに用いられる技術を限定する必要がある。シナリオを構成する要素としては(1)炉及び核変換のタイプ、(2)燃料サイクル(再処理+燃料製造)がある。(1)については高速炉による核変換と ADS(加速器駆動核変換システム)の付加がオプションとなり、(2)には MA(マイナーアクチニド)分離及び LLFP(長半減期核分裂生成物)分離の有無がオプションとなる。これらのオプションの組み合わせによって評価を行うシナリオを構築する。下記に核変換技術及び燃料サイクル技術に関するオプションについて、シナリオ数を限定するための前提条件及び調査にあたっての情報源を記す。

2.1 核変換技術

(1) 高速炉

高速炉システムに関しては高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究(FS)¹⁾、高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT プロジェクト)²⁾において技術の概要、コストについて記載されており、これらを基に経済性評価の試算結果も示されている³⁾。これらの文献を基に調査を行っていく。したがって、基本となる技術は FS フェーズ II において主概念として選定された、ナトリウム冷却酸化物燃料炉とした。比較のため、副概念として選定された金属燃料炉についても合わせて調査を行うこととした。高速炉を用いた LLFP 核変換については、原子力システム研究開発事業「高速炉を活用した LLFP 核変換システム研究開発」(H28-31、代表：東京工業大学 千葉教授)を中心に情報収集が可能である。

(2) ADS

ADS の導入オプションは複数考えられるが、現在原子力機構を中心に検討を進めている、階層型での利用を前提とする。本オプションでは、ADS は核変換専用として用いられ、発電炉として FR が合わせて利用されるものとする。従って発電サイクルと核変換サイクルの 2 階層のサイクルが同時に独立して動くことを想定する。高速炉発電用サイクルで回収した MA 及び LLFP は全て ADS サイクルに供する。ADS 技術については、コストの試算が行われている JAEA のレポート⁴⁾や OECD/NEA から出されている報告書⁵⁾等に加えて、各種 ADS 設計論文を基に調査を行う。

2.2 分離技術

(1) 再処理

高速炉に適合する再処理プロセスとして、FS/FaCT で検討した先進湿式再処理法を採用する。本プロセスは解体せん断、連続溶解、晶析、溶媒抽出による U/Pu/Np 共回収から成るプロセスである。溶媒抽出プロセスによって Np が U, Pu と共に回収されるため、Np の分離はオプションとはしない。炉システムと同様に、FaCT プロジェクト等で経済性評価まで実施されており、各種報告書から情報収集可能である。ADS 階層型における核変換サイクル及び金属燃料炉に適合する再処理技術としては、乾式再処理を組み合わせる。乾式再処理に関する情報は FS 及び FaCT の報告書から収集可能である。

(2) MA 分離

オプションとして、3 価の MA (Am, Cm) の分離をターゲットとする。これらの元素の硝酸溶液からの回収方法としては、抽出クロマト法及び溶媒抽出法の選択肢がある。現段階では、コスト的にはどちらの手法を用いても差が顕著ではない。本評価では、プラントでの運転実績のある溶媒抽出法を基に調査を進め、最終的に抽出クロマト法についての評価も加えることとする。コスト評価は経済産業省受託研究の一環として実施されており、その報告書⁶⁾が情報源となる。

(3) LLFP 分離

既に確立した技術である ⁹⁹Tc (溶媒抽出)、¹²⁹I (吸着) の分離、及び ImPACT で開発された ¹⁰⁷Pd (電解)、⁷⁹Se (電解+揮発)、¹³⁵Cs (吸着)、⁹³Zr (溶媒抽出) 分離を対象とする。ImPACT の報告書等を中心に分離技術について調査を進める。

上記の要素技術の組み合わせとして、下記の通り 5 つのシナリオについて評価を行うこととした。ここで、シナリオ 0 としてリファレンスとしての高速炉ワンススルーについて検討することとした。

シナリオ 0 : FR(高速炉)ワンススルー (軽水炉再処理+Na 冷却酸化物燃料高速炉)

シナリオ 1 : U, Pu リサイクル (Na 冷却酸化物燃料高速炉+先進湿式再処理(Np 分離まで))

シナリオ 2 : FR 分離変換 (Na 冷却酸化物燃料高速炉+先進湿式再処理(MA 分離含)),
(金属燃料 FR+乾式再処理)

シナリオ 3 : ADS 分離変換 (ADS 核変換サイクル+FR 発電サイクル)

シナリオ 4 : LLFP 分離変換 (シナリオ 2 または 3 に LLFP 分離核変換を追加する)

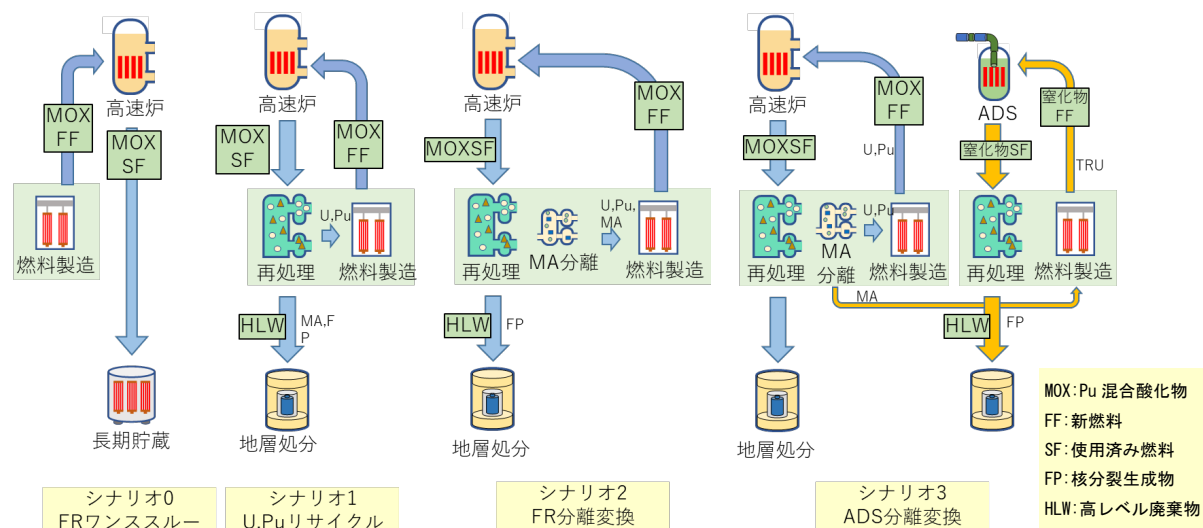


図1 調査を進めるシナリオ(0～3)の概要

3. 技術-特性マトリクス評価の検討状況

3.1 高速炉システム

炉システム、燃料再処理、燃料製造の3項目について安全性、経済性、環境影響、資源の利用効率、核拡散抵抗性、廃棄物管理性について、既存技術との比較がなされている項目を中心に調査を行った。例えば経済性については、建設費、廃止措置費用、運転費、燃料費等を含め、発電単価が8.3円/kWhという試算であり、将来の軽水炉の発電コストと競合可能と評価される。MA分離に着目した場合、再処理工場にMA回収建屋追設によって、建設費等投資費が約30%、運転・保守費が約25%増加する見込みである。その他の項目についても経済性と同様に、定量的な比較評価が可能となるよう、具体的な値を中心に調査を進めている。一方、廃棄物管理性については、発電、再処理、燃料製造のそれぞれの工程から発生する廃棄物の物量や発熱量等の具体的な内訳が、マトリクス評価に必要となるが、これらの情報は調査対象である報告書類からは見いだせなかった。今後、有識者や調査対象報告書の執筆者等に聞き取り調査を進めていくことを検討している。

金属燃料高速炉・乾式再処理システムでは、再処理工程には乾式再処理技術を、燃料製造には射出鋳造技術を適用するため、上記システムとはプロセスが大幅に異なるが、高速炉システムとしては上記とほぼ同様のシステムが適用可能である。乾式再処理では、MAはUやPuと共に回収されるため、MA分離工程の付加は必要ない。FSでの検討結果を基に、燃料製造や再処理でのコストや乾式プロセス特有の廃棄物処理方法並びに発生量等について調査を行った。燃料製造及び再処理を合わせたコストは設計要求値(0.8円/kWh)を満足する可能性があると評価されている。廃棄物の発生量については種類毎に年間の発生量が試算されている。一方、本システムでは廃棄物の形態が上記システムと異なるため、廃棄物発生量と共にその性状を踏まえた調査及び評価が必要である。今後、最新の研究結果を中心に調査し、情報のアップデートを進めていく。

3.2 ADS

高速炉システムと同様に安全性や経済性等について調査結果を整理したが、高速炉システムと比較して具体的な情報量が少なく、調査は継続中である。多量のMAを装荷した未臨界炉心を加速器で駆動するため、電源喪失時等に対応可能な安全性に優れたシステムと言える。経済性については建設、運転費、廃止措置費用を含めて21円/kWhと試算されている。加速器の設置や運転維持などが発電炉に追加されるため経済性は劣るが、本試算は比較的古い情報であり、より新しい設計情報を対象とした調査を進める必要がある。初装

荷の燃料は Pu を混合するが、以降に追加する燃料は全て MA のみであり、発電炉の U, Pu 資源を消費しない。ADS による核変換サイクルを発電サイクルから切り離すことが出来るため、資源の利用効率や時代の要請に柔軟に対応した運用が可能なシステムであると言える。再処理に関しては、発電サイクルからの MA 抽出には高速炉の情報を、核変換サイクルには上述の金属燃料高速炉システムの乾式再処理によるアクチニド一括回収に関する情報を、それぞれ利用可能である。今後、核変換サイクル用の MA 窒化物燃料製造工程など、ADS システム特有の技術や廃棄物について調査を進めていく。

4. まとめと今後の展望

「放射性廃棄物の処理・処分と分離・変換技術」研究専門委員会では実施している先進的核燃料サイクルの技術・特性マトリクスを用いた評価の内、高速炉に関する技術のシナリオの選定を行い、調査に着手した。今後調査を進め、来年度末にはマトリックス評価表を完成させる予定である。

参考文献

- 1) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究-フェーズII最終報告書, JAEA-Evaluation 2006-002(2006).
- 2) 日本原子力研究開発機構、高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT プロジェクト)-フェーズI報告書-, JAEA Evaluation, 2011-003 (2011).
- 3)向井田恭子 他, 高速炉サイクルの経済性評価-炉の建設コストと燃料サイクルコスト-, 日本原子力学会誌, 61, 1, 40 (2019).
- 4)大井川宏之 他, 原研における長寿命核種の分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方, JAERI-Review 2005-043 (2005).
- 5)OECD/NEA, Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR)in Advanced Nuclear Fuel Cycles, (2002).
- 6)日本原子力研究開発機構, 経済産業省受託事業 平成 27 年度 高速炉等技術開発 成果報告書, 平成 28 年 3 月 (2016) .

*Sou Watanabe¹, Toshinobu Sasa¹, Hitoshi Owada², Takumi Saito³, Takahiro Ishio⁴, Tsuyoshi Murakami⁵, Takashi Shimada⁶

¹JAEA, ²RWMC, ³UTokyo, ⁴JNFL, ⁵CRIEPI, ⁶MHI