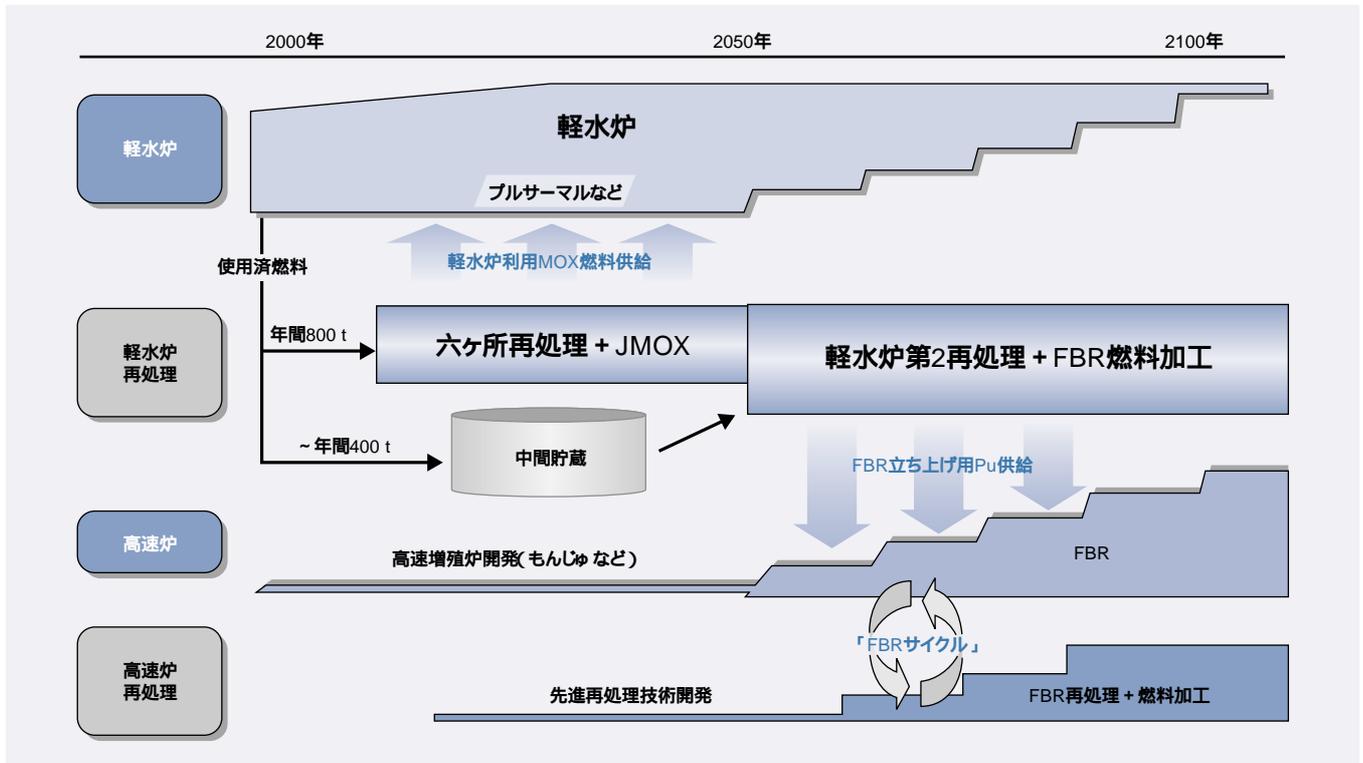


燃料サイクル関連技術開発の動向

Status of Nuclear Fuel Cycle Technology Development

深澤 哲生 Tetsuo Fukasawa
 澤田 周作 Shūsaku Sawada

岡田喜久雄 Kikuo Okada
 清水 仁 Masashi Shimizu



注:略語説明 MOX(Mixed Oxides), JMOX(Japanese MOX), FBR(Fast Breeder Reactor)

今後予想される原子燃料サイクルの状況

「六ヶ所再処理」で回収されるPuは、軽水炉にリサイクルされる。軽水炉第2再処理で回収されるPuは、FBR立ち上げのために供給され、FBR再処理で回収されるPuはFBRにリサイクルされる。

わが国の原子力政策大綱で軽水炉使用済燃料を全量再処理することが確認され、再処理能力(六ヶ所村再処理工場:年間800 t)を超える使用済燃料(年間約400 t)は中間貯蔵されることになった。「六ヶ所再処理」で回収されるPuは、MOX燃料に加工され、軽水炉にリサイクルされる、いわゆる「プルサーマル計画」が推進される見通しである。一方、高速増殖炉(FBR)原型炉「もんじゅ」のプロジェクトが再開され、2007年度末の再臨界を予定している。また、2010年からは中間貯蔵された燃料の処理方策の議論が開始され、2015年ごろには高速

増殖炉の実用化像が明確化され、2050年ごろには商業用高速増殖炉の導入が開始されると予想されている。

このような状況下では当面、軽水炉使用済燃料再処理や中間貯蔵、高速増殖炉などを着実に推進するとともに、2050年以降の軽水炉からFBRへの移行期における最適燃料サイクルを検討する必要がある。日立製作所は、「六ヶ所再処理」や「もんじゅ」、中間貯蔵などに取り組み、FBRへの移行期の燃料サイクルや、廃棄物処分などの将来技術の開発を推進している。

1 はじめに

資源小国のわが国では、エネルギーの長期安定供給のため、燃料サイクルの確立は必要不可欠であり、特にFBR(高速増殖炉)による準国産のPu資源の活用が重

要である。また、わが国は非核保有国で唯一再処理が許されている国である。地球温暖化、石油価格の高騰(枯渇説)、有限なウラン資源、使用済燃料貯蔵量の増加などの問題も考慮し、「六ヶ所再処理」で軽水炉燃料サイクルの輪を完結させ、将来のFBRサイクルにスムー

ズに移行させていくことが肝要である。

放射性廃棄物の処理処分は、原子力利用を進めるうえで解決すべき課題であり、特に有用なU、Pu資源を再処理で回収した残りの高レベル廃棄物を安全に隔離する必要がある。

ここでは、六ヶ所再処理工場、FBR原型炉「もんじゅ」、放射性廃棄物処理処分、FBRへの移行期サイクルに関する日立製作所の取り組み状況について述べる。

2 燃料サイクルを取り巻く状況

原子燃料サイクルの概要を図1に示す。現状の軽水炉サイクルでは、発電に供された使用済燃料は発電所サイト内のプールに貯蔵され、一部は青森県・六ヶ所村の使用済燃料貯蔵プールに移送されている。また、原子力発電所から発生する使用済燃料の貯蔵・管理を目的とする新会社「リサイクル燃料貯蔵株式会社」が、2005年11月21日に青森県むつ市に設立された。

独立行政法人日本原子力研究開発機構の東海再処理工場では、2005年12月までに1,102 tの使用済燃料を処理し、回収ウランは一部の軽水炉で使用する¹⁾。軽水炉ウランをベースにした燃料サイクルの輪はすでに確立しており、今後は、六ヶ所再処理工場による商用ベースでのU、Puリサイクル、およびその後のFBRサイクルを目指すことになる。

MOX(Mixed Oxides:UとPuの混合酸化物)燃料加

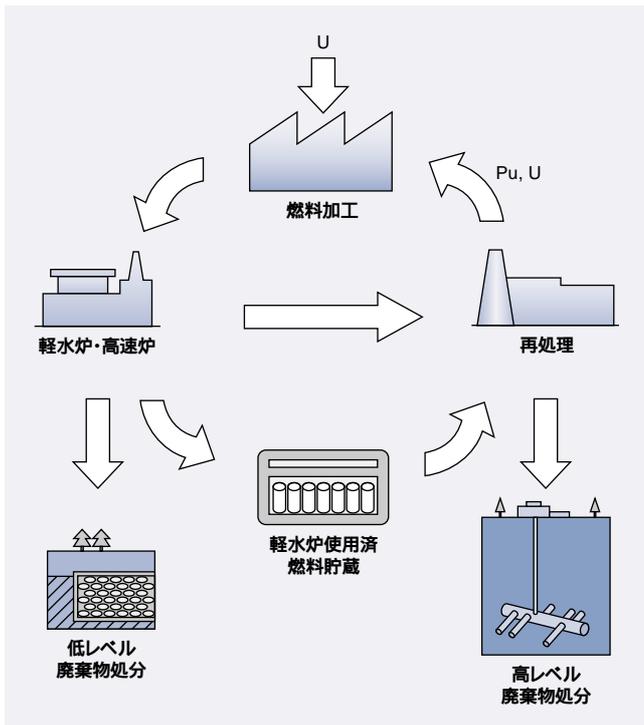


図1 燃料サイクルの概要
U燃料は軽水炉で燃焼（使用）後、再処理によってPuとUを回収する。MOX（PuとUの混合酸化物）燃料は、当面は軽水炉で、将来は高速炉で使用される。

工施設では、日本原燃株式会社が2005年4月20日に経済産業大臣に事業許可を申請し、「もんじゅ」については、2005年9月1日に本格改造工事を開始した。また、低レベル廃棄物処分は、2005年12月現在、六ヶ所村で約18万本のドラム缶を埋設済みで、高レベル廃棄物処分については積極的な研究開発と候補地募集が進められている。

3 燃料サイクル事業への取り組み

3.1 六ヶ所再処理工場

日本原燃株式会社が青森県六ヶ所村に建設中の軽水炉燃料再処理工場（年間処理能力：800 tU）では、2007年7月の竣（しゅん）工に向けてウラン試験が進められている。2004年12月21日に開始したウラン試験は、2005年9月20日に建屋ごとに計画したウラン試験項目を終了しており、ウラン試験総合進捗（ちよく）率は約73%（2005年11月末現在）となっている。

日立製作所は、主施設のうち分離建屋と低レベル廃液処理建屋の建屋幹事会社として建設を取りまとめ、せん断処理・溶解廃ガス処理設備や高レベル廃液処理設備、酸回収設備、低レベル廃液処理設備などの担当会社として設計、製作、建設、試運転を進めている。

機器類が所定の機能を発揮し、安全かつ安定して運転できるかについて、取り扱う物質を段階的に操業状態に近づけて確認するため、2001年春からの「通水作動試験」では水・蒸気・空気を、2002年秋からの「化学試験」では、放射性物質を含まない化学薬品を用いて、各設備の機能や性能をそれぞれ確認している。硝酸リチウムを用いた低レベル廃液蒸発缶除染係数試験では、所定の値を十分上回ることを確認するなど、良好な結果を得ている。

2004年12月からは、ウランを使用した「ウラン試験」が開始されており、日立製作所担当の廃棄物処理設備については、インサービス運転を主体として試験を継続しており、ウラン試験全体としても建屋統合試験を終え、最終段階である総合確認試験を2006年1月22日に終了した。

今後は、「ウラン試験」に続いて「アクティブ試験（使用済燃料による総合試験）」が実施される計画である。

3.2 「もんじゅ」

独立行政法人日本原子力研究開発機構FBR原型炉「もんじゅ」は、部分出力試験中の1995年12月の二次冷却系ナトリウム漏えい事故以来停止中である。事故後、安全性総点検やナトリウム漏えい対策などの安全審査や、設工認、福井県「もんじゅ専門委員会」での審議を経て、地元の理解が得られるよう活動を推進してきた。

その結果、2005年2月にナトリウム漏えい対策などにかかわる改造工事計画について、福井県と敦賀市から了解を得、2005年9月に改造工事に本格着工した。約17か月で同工事を完了し、その後約1年間の工事やプラントの確認試験を経て、2007年度末の臨界を目指している。

改善工事は、(1)二次冷却系温度計の交換・撤去工事、(2)ナトリウム漏えいに対する改善工事、および(3)蒸気発生器の一つである蒸発器ブローダウン性能の改善工事である。日立製作所は、(2)の一部である、一次系ドレン弁電動化と、二次系室壁・天井への断熱材の設置、総合漏えい監視システムの設置などを担当している。

3.3 使用済燃料中間貯蔵

日立製作所は、輸送回数と貯蔵物量を低減するために、高収納体数化を図った輸送貯蔵乾式金属キャスクを開発した。経済性と長期信頼性を追求し、組立が簡易な構造と経年変化の少ない材料を採用している。また、各種要素試験と総合評価を行うための $\frac{1}{3}$ モデルの落下試験を実施し、その成果を基に、実規模大の乾式金属キャスクを製作して実機製造への完成度の向上を図っている(図2参照)。

3.4 放射性廃棄物処理

日立製作所は、原子力発電所や再処理施設などからの放射性廃棄物処理技術として、安全に埋設処分するための固化処理技術と、核種の放出低減を目指した環境負荷低減のための処理技術を開発した。

固化処理技術では、液体状および粉体状の放射性廃棄物の充てん量を増やして、固化体強度や内部空けきり率などの陸地での処分基準に適合した「インドラム固化処理技術」を開発した。また、固体状の放射性廃棄物を対象として、従来のバッチ式のモルタル混練方式と比較して設備構成を簡素化した「連続混練設備」を開発した。

環境負荷低減技術としては、洗濯廃液・シャワー廃液

中の有機物をオゾンによって分解すると同時に、放射性クラウドを汙過によって処理するシステムを開発した。一般に、オゾン分解処理は、上下水の消毒・脱臭などで低濃度の有機物処理に適用されている。開発したシステムでは、従来のばっ気方式ではなく、タンク循環ラインに連続注入方式を採用することにより、洗濯廃液などの高濃度有機物処理への適用を可能にした。

このシステムは、廃液中の洗剤成分や人のあかなどの有機物をオゾンガスで二酸化炭素にまで分解し、かつ簡易なフィルタで放射性固形分を処理することにより、二次廃棄物量を従来の活性炭方式の $\frac{1}{20}$ 以下に低減できる画期的なものである。

4 燃料サイクル関連技術の開発

4.1 移行期燃料サイクル

軽水炉からFBRへの移行期においては、想定される不確定要因に柔軟に対応しつつ、FBR導入に必要なPuを過不足なく供給することが重要となる。原子力政策大綱で国が示したFBR導入のシナリオは、2050年ごろから運転を終える既設軽水炉を順次FBRでリプレースする。このため、FBR導入速度は初期と後半が年間約2 GWe、中盤が年間約0.5 GWeとなっている。そのため、移行期の軽水炉再処理ではPu供給速度の調整機能が必要となる。

日立製作所は、このような状況に柔軟に対応するため、リサイクル原料を中間バッファとする燃料サイクル構想“FFCI(Flexible Fuel Cycle Initiative)”を考案した(図3参照)。

FFCIでは、まず軽水炉使用済燃料からウランの大部分を分別除去し、FBR導入が順調に進む場合には残りのリサイクル原料をそのままFBRサイクルへ送り、リサイクル原料からPuを回収して燃料としてFBRへ供給する。FBR導入速度が途中で低下したり、導入が遅延する場合には、リサイクル原料を簡易加工して一時貯蔵し、FBR再開に備える。

FFCIと従来一般的に考えられている燃料サイクルを比較すると、FFCIのほうが移行期の軽水炉再処理施設を数年早く建設する必要はあるものの、施設の容量と機能をほぼ半分に低減できることがわかった。また、FFCIは軽水炉使用済燃料貯蔵量の低減にも有効であり、従来と比較して貯蔵量を約半分に低減できる²⁾。

FFCIの技術課題は、リサイクル原料の簡易加工と一時貯蔵であり、最適技術の開発を図る。

4.2 廃棄物処分

原子力発電所で発生する低レベル放射性廃棄物の

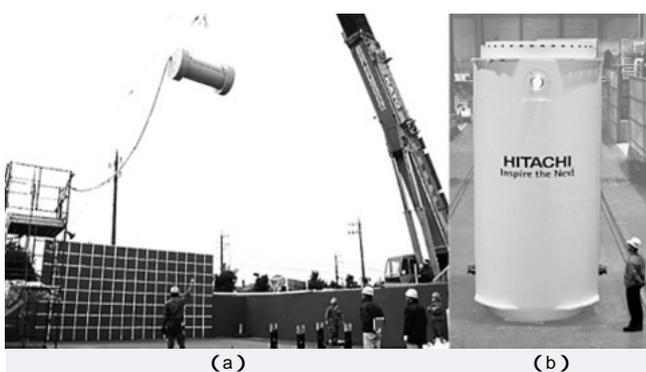
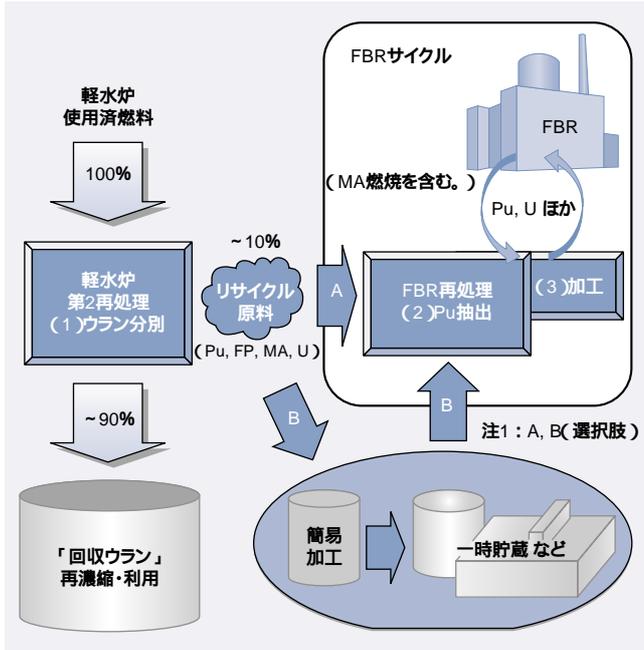


図2 輸送貯蔵乾式金属キャスクの $\frac{1}{3}$ モデル落下試験の様子(a)と実規模キャスクの外観(b)

各種要素試験と $\frac{1}{3}$ モデル落下試験によって確立した設計手法を用いて実規模大の乾式金属キャスクを製作し、実機製造への完成度の向上を図る。



注2:略語説明 FR(Fission Products), MA(Minor Actinides)

図3 移行期におけるFFCI(Flexible Fuel Cycle Initiative:柔軟な燃料サイクル構想)
 軽水炉使用済燃料からウランの大部分を分別し、残りのリサイクル原料からPuを回収してFBRに供給する。FBRの導入が遅延する場合はリサイクル原料を一時貯蔵する。

埋設処分は、1992年に事業化済みである。高レベル放射性廃棄物については、2000年10月に実施主体として「原子力発電環境整備機構(NUMO)」が設立され、2030年代後半を目標に最終処分の開始を目指して立地調査を進めている。また、超ウラン核種を含む放射性廃棄物(TRU(Transuranium) 廃棄物)に関しては、「TRU廃棄物処分技術検討書 第2次TRU廃棄物処分研究開発取組まとめ(第2次TRUレポート)」³⁾が発行され、TRU廃棄物処分の技術的成立性と安全性の見通しが示されている。

日立製作所は、TRU廃棄物処分技術開発の一環として、株式会社太平洋コンサルタントと共同で、1999年度から経済産業省の地層処分技術等調査委託の一部として財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターから研究を受託し、高強度高緻(ち)密コンクリート製TRU廃棄物処分用廃棄体容器の製作技術と長期核種閉込め性評価の開発を進めている⁴⁾。この技術は、第2次TRUレポートでも代替技術として紹介されている。また、高レベル放射性廃棄物処分に関しては、2004年に経済産業省から革新的実用技術開発費の助成を受け、ボーリング孔を用いて地層の核種移行遅延特性などの地化学特性を原位置で計測する、地質環境診断用マイクロ化学プローブに関する技術開発を進めている⁵⁾。

5 おわりに

ここでは、燃料サイクル関連技術開発の動向について述べた。

原子燃料サイクルを巡る動きは着実に進展しており、海外資源に依存せずに地球温暖化を抑制できる、わが国独自のエネルギー源の確保が可能になりつつある。原子力で全エネルギーを賄うことはできないものの、基幹エネルギーとしての期待は大きい。

安全・安心と品質を第一優先に、日立製作所は、今後も信頼性の高い関連機器の製造、有望技術の開発を進めていく考えである。

参考文献など

- 1) 財団法人原子力安全研究協会:軽水炉燃料のふるまい,実務テキストシリーズNo.3(1998.7)
- 2) J. Yamashita, et al.: Flexible Fuel Cycle Initiative(FFCI) for the Transition Period from Current Reactors to Next Generation Reactors, 3E562, GLOBAL 2005 Tsukuba(Oct. 9-13, 2005)
- 3) TRU廃棄物処分技術検討書, JNC TY1400 2005-013/FEPC TRU-TR2-2005-02
- 4) T. Kawasaki, et al.: Development of Waste Package for TRU-Disposal(4) Evaluation of Confinement Performance of TRU Waste Package Made of High-Strength and Ultra Low-Permeability Concrete, 8B 254, GLOBAL 2005 Tsukuba(Oct. 9-13, 2005)
- 5) 大江, 外:地質環境診断用マイクロ化学プローブに関する技術開発, 日本原子力学会「2005年秋の大会」, L12~L16(2005.9)

執筆者紹介



深澤 哲生

1981年日立製作所入社,電力グループ 日立事業所 燃料サイクル部 所属
 現在,燃料サイクル分野の技術開発に従事
 工学博士
 日本原子力学会会員,ヨーロッパ原子力学会会員
 E-mail:tetsuo.fukasawa.gx@hitachi.com



澤田 周作

1980年日立製作所入社,電力グループ 日立事業所 燃料サイクル部 所属
 現在,燃料サイクルの設計開発取組とに従事
 日本原子力学会会員,技術士(原子力・放射線部門)
 E-mail:shusaku.sawada.uj@hitachi.com



岡田喜久雄

1983年日立製作所入社,電力グループ 日立事業所 燃料サイクル部 所属
 現在,六ヶ所再処理工場の試運転取組とに従事
 E-mail:kikuo.okada.qj@hitachi.com



清水 仁

1983年日立製作所入社,電力グループ 日立事業所 原子力計画部 所属
 現在,使用済燃料貯蔵の技術開発に従事
 日本原子力学会会員
 E-mail:masashi.shimizu.tq@hitachi.com