



## - 高速増殖炉サイクルの研究開発 - 高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究

### 1. はじめに

高速増殖炉（FBR）サイクル実用化戦略調査研究は、安全性を前提に、FBRサイクルが本来有する長所を最大限に活用した実用化像を創出し、軽水炉サイクル及びその他の電源と比肩する経済性を達成して、FBRサイクルを将来の主要なエネルギー供給源として確立する技術体系を整備することを目的としている。本研究は、電気事業者（財）電力中央研究所（電中研）及び日本原子力研究所（原研）など、関係機関の参画・協力を得てオールジャパン体制で1999年7月から開始し、革新技术を採用した幅広い技術選択肢の検討評価を行い、有望な実用化候補概念を抽出するフェーズ（1999～2000年度）を経て、現在は5年間の予定でフェーズ（2001～2005年度）を実施している。フェーズでは設計研究によるプラント概念の具体化を通じた開発課題の抽出、工学的試験による技術的成立性の評価を踏まえて、FBRサイクルとして技術的に整合した実用化候補概念の明確化を図るとともに、実用化に至るまでの研究開発計画を立案することとしている。

2004年度第2四半期では、FBRサイクル実用化戦略研究のフェーズ「中間取りまとめ<sup>1)</sup>」の成果について研究開発課題評価委員会の答申を受けた（<http://www.jnc.go.jp/siryoku/hyouka/HY040727/honbun.pdf>）。ここでは、2003年度末までに得られた成果及びフェーズ「後半2年間の研究開発計画並びにフェーズ「終了以降の研究開発展開の基本的考え方についておおむね妥当」との評価結果を得た。また、中間取りまとめの結果は文部科学省「原子力分野の研究開発の評価に関する委員会」及び「核燃料サイクル研究開発WG」においても評価を受けた。

### 2. 高速増殖炉システム

2004年度第2四半期は、2005年度に実施するフェーズII最終取りまとめに向けて、各炉の設計研究と要素技術開発を着実に進展させた。以下に、炉概念ごとに進捗状況を概説する。

#### ナトリウム（Na）冷却炉

第2四半期においては、大型及び中型Na冷却炉について、各種設備設計の具体化を進めると共に、構造健全性、安全性等に関する設計評価を進めた。炉心設計では、熔融燃料排出性を改良した再臨界回避概念の成立性検討を行い、その炉心の性能評価を行っている。要素技術開発では、1/1.8スケール液面部分モデル水流動試験、1次冷却系ポンプと中間熱交換器との合体機器の振動試験、大流量・大口径配管の1/3縮尺水流動・振動試験を実施している。

#### 鉛ビスマス冷却炉

鉛ビスマスによる被覆管腐食を低減するための温度条件変更（被覆管最高温度570℃）に伴う機器配置などの検討を継続して実施した。また、炉容器高さを低減するために、崩壊熱除去系熱交換器の設置位置を蒸気発生器上部から水平方向に並べ設置するよう設計変更をした。これに伴い、崩壊熱除去系の冷却能力を変更する必要が生じたため、崩壊熱除去系の仕様検討に着手した。

#### ヘリウムガス冷却炉

ヘリウムガス冷却炉については、六角ブロック縦方向流集合体を採用した炉心（取出し平均燃焼度120GWd/t）の詳細設計及び安全解析に向け、核特性と安全性に影響を及ぼす炉心高さ及び崩壊熱除去系の冷却能力向上等について検討を進めた。

#### 水冷却炉

高速炉環境下での炉心成立性と安全性について評価していくこととしており、第2四半期においては、マイナーアクチニド（MA）燃料の可能な

装荷量を概略評価するための準備を進めている。

#### 小型炉

小型炉については、電気出力300 MWe程度で経済性を追求した概念（経済性追求型）及び電気出力50 MWe程度で炉心寿命の長期化を追求した概念（極地利用型）について検討を継続している。

第2四半期は、主に極地利用型概念について、ループ型とタンク型を対象に検討を進めた。炉心設計では金属燃料炉心を採用し、30年間燃料無交換、炉心出口温度550℃を達成しながら、炉心等価直径1.8mのコンパクトな炉心概念を構築した。プラント設計では、燃料無交換という特徴をいかすことによる原子炉構造の縮小化・シンプル化を検討し、冷却系・崩壊熱除去系の仕様設定とプラント物量評価を行った。また小型炉を用いた水素製造プラントの検討では、ハイブリッド熱化学法を用いた水素製造プラントの安全性評価として熱交換器の伝熱管破損評価に着手した。

### 3. 燃料サイクルシステム

#### (1) 再処理システム

##### 先進湿式法

システム技術開発では、先進湿式法について、昨年度までに取得した技術データを反映して、工程ごとの詳細な設計見直しを継続している。また超臨界・直接抽出法について、昨年度までの試験研究で得られた情報を踏まえた主工程条件等の設計検討を継続している。

高レベル放射性物質研究施設（CPF）においては、昨年度の第2キャンペーンとして実施した単サイクル共抽出試験及びSETFICS法によるMA回収試験で採取した試料の分析・解析を継続している。また、先進湿式法に係る晶析試験の準備を開始した。

##### 乾式法（酸化物電解法、金属電解法）

酸化物電解法については、ウラン（U）を用いた電解試験及び蒸留試験を実施するとともに、溶融塩中での吸光度測定試験を継続した。

金属電解法については、電中研との共同研究に基づきCPFに設置したプルトニウム（Pu）試験用グローブボックスにおいて、Puを用いた試験の本格実施に向けて、電解精製槽の溶融塩へのPu溶解試験に着手した。

#### (2) 燃料製造システム

##### 簡素化ペレット法

システム技術開発では、小規模施設の経済性向上を目指した設計検討を継続した。またMAの発熱の燃料製造への影響評価に関して、温度評価、安全対策の具体化等のより詳細な検討を継続した。

ショートプロセス製造技術については、混合酸化物を用いた成型・焼結試験を進めるとともに、MA含有燃料ピン照射に供する燃料製造のための性能確認試験を継続した。

##### 振動充てん法

スイスポール・シェラー研究所（PSI）及びオランダエネルギー研究機構（NRG）との共同研究において、オランダHFR炉での振動充てん燃料照射試験で照射した試験ピンの照射後試験（前期分）を終了し解析を進めるとともに、次の照射試験の準備を開始した。また、Uを用いた振動充てん燃料製造試験を継続した。

##### 鑄造法

電中研と原研との共同研究において、射出鑄造装置等からなる金属燃料製造試験設備の準備を完了し、U-Pu-Zr（ジルコニウム）合金の射出鑄造試験に向けた準備を進めている。

### 4. 統合評価

実用化戦略調査研究が目指している2015年頃の技術体系の確立から技術実証、初号機導入を経てFBRの本格導入に至るFBRサイクル実用化ステップを想定し、軽水炉からFBRへの移行シナリオについて、将来の電力需給、軽水炉プラントの立地や廃止措置、世界的なU需給の動向等を念頭において検討を進めている。検討に当たっては中間貯蔵される軽水炉使用済燃料やプルサーマル使用済燃料を、Puのバランスを考慮して再処理することにより、軽水炉サイクルからFBRサイクルへ円滑に移行するシナリオを構築することとした。

現時点までの主な成果は以下の通りである。

- 軽水炉からの移行に関わる前提条件として、原子力発電設備容量は現状の4,600万kWeから2030年時点で5,800万kWeまで増加し、その後一定で推移すると仮定した場合の軽水炉からプルサーマルを経てFBRサイクルへの移行を評価すると、平均して毎年100万kWe程度が軽水炉からFBRに置き換わり、おおむね22世紀初頭までに移行を完了する。また、移行初期に軽水炉再処理容量を増大させれば、FBRへの移行が加速し、より短期での移行も可能となる。また、

この場合の我が国の天然U累積需要量は、FBRへの移行が完了する頃に在来型資源の5%をやや上回るレベルで頭打ちとなり、その後は海外からのU調達不要となる。

- FBRサイクルの他の基幹電源との経済的な競合性や導入開始から移行期における発電原価を試算した。技術実証フェーズの実規模プラントとしては電気出力が75万kWe程度であれば、発電原価は現行の軽水炉の発電原価とほぼ同等程度を達成でき、初期投資としてのFBRプラントの建設費も回収可能である。30万kWe程度の出力とすると、初期投資は少なくなるが売電収入も低下するため、燃料費を含む運転経費は賄えるものの、建設費の回収までは難しいと考えられる。実用化フェーズの150万kWeの大型プラントでは、大型化によるスケールメリットにより、ほぼ同じ時期の将来軽水炉の発電原価を下回る可能性がある。
- FBRサイクルの投資対効果を、研究開発費:200~600億円/年、割引率:3%、FBR発電原価:約3円/kWh、FBR導入開始:2030年などを主な評価条件として試算したところ、約16倍の利益指数が得られた。更に、評価条件の不確かさを考慮して、様々な感度解析を行ったところ、利益指数として少なくとも数倍以上の値が得られた。

また、実用化候補概念の明確化のための多面的評価に関しては、評価対象とする炉と燃料サイク

ルの組み合わせの見直しを行うとともに、社会的受容性及び技術的実現性の評価構造の見直し等を進めている。

FBRサイクルに対する社会的受容性向上への取組みに関しては、FBRサイクルに対する国民各層の認知状況や受容性の支配要因等の把握を出発点とする今後の活動計画を作成した。これに沿って、国民一般を対象にインターネットを利用して実施するアンケート調査の具体的方策についての検討を進めた。また、FBRサイクルに対する理解者拡大の方策としてFBRサイクル技術と接点を持ち得る自然科学や社会科学等の関連領域の研究者や学生に対する訴求手法の具体化方策の検討もあわせて進めた。

今後、フェーズ最終取りまとめに向けて、設計研究と要素技術開発の最新の成果を採り入れ、社会的ニーズへの適合性の高いFBRサイクルの概念を明確にするとともに、実用化に至るまでの研究開発計画を立案していく。

#### 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構、日本原子力発電株式会社：“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 - フェーズ 中間報告書 - ”, JNC TN1440 2004 004 (2004)。

（ 本社：経営企画本部  
FBRサイクル開発推進部 ）