

核燃料サイクル開発機構における FBR サイクルの
実用化戦略調査研究 研究開発課題評価委員会概要

1. 審議経過

第 1 回委員会	平成 16 年 5 月 18 日
第 2 回委員会	平成 16 年 6 月 22 日
答 申	平成 16 年 7 月 6 日

2. 評価結果（詳細は別紙のとおり）

【答申における「総合評価」部分を抜粋】

エネルギー資源に乏しい我が国にとって、エネルギーの長期的安定供給を可能にする技術的選択肢の確保が重要である。そのような選択肢の中で、FBR サイクル技術は、可能性が最も大きいものの一つであり、中長期的には、原子力発電の主流となっている軽水炉に続く将来の重要な電源の一つと位置付けられるものと考えられ、FBR サイクル技術の実用化は、国として取り組むべき重要課題である。このため、将来の FBR サイクルの実用化像を明確にし、その技術体系を整備するという本研究の目的は適切なものといえる。

本課題では、当初の目標や計画に対して柔軟に対応しており、「フェーズⅠ」で選定された実用化候補概念について、「フェーズⅡ」における各システムの設計研究の実施、要素技術開発に関連する試験研究の進展に伴い、明確化に必要な知見が整備されつつあり、全体として「フェーズⅡ」中間とりまとめまでの研究は順調に進んでいると評価する。

また、今後の「フェーズⅡ」の最終とりまとめに向けた計画や「フェーズⅡ終了以降」の展開の基本的考え方に対しても、おおむね妥当と判断する。

なお、「フェーズⅡ」の最終とりまとめに際しては、各候補概念の技術レベルに差があることから技術的不確定性などを考慮する必要がある。

さらに、将来の有望な FBR サイクル候補概念の明確化に向けて、これまでの成果で各候補概念の課題が明らかになってきたが、今後、これらの課題に対する工学的成立性を見通しを検討し、その有望性を判断することが重要である。各候補概念の技術的課題は、いずれも実用化までには更なる研究開発が必要であり、「フェーズⅡ終了以降」においては、重点化と取捨選択を行いつつ進めるのが適当である。このため、候補概念の優先度を判断する基準と資源配分の方針を整理しておく必要がある。

3. 委員構成

(委員長)

岡 芳明 東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設教授

(委員)

井上 正 電力中央研究所狛江研究所
金属燃料・乾式リサイクルプロジェクトリーダー

岡嶋 成晃 日本原子力研究所エネルギーシステム研究部
炉物理研究グループ主任研究員

末次 克彦 アジア・太平洋エネルギーフォーラム代表幹事

鈴木 潤 未来工学研究所R & D戦略研究グループリーダー

高杉 政博 関西電力(株)原燃サイクルグループチーフマネージャー
ジャーナリスト

戸田 三朗 東北放射線科学センター理事

二ノ方 壽 東京工業大学原子炉工学研究所教授

古田 一雄 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

松井 恒雄 名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻教授

松本 史朗 埼玉大学工学部応用化学科教授

吉井 良介 東京電力(株)原子力技術部サイクル技術センター
将来構想グループマネージャー

(五十音順、敬称略)

以 上

高速炉・燃料サイクル課題評価委員会報告書 「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」の評価結果（中間評価）

本研究開発課題に対しては、1999 年 6 月に事前評価を行うとともに、2000 年 6 月には「フェーズⅠ」の中間成果と 2001 年度の計画および「フェーズⅡ」の基本計画についての評価、2001 年 5 月には「フェーズⅠ」の成果と「フェーズⅡ」の研究開発計画等の評価を実施している。

核燃料サイクル開発機構（以下、「サイクル機構」という。）から説明を受けた本研究開発の概要は、以下のとおりである。

本研究開発は、高速増殖炉(FBR)サイクルが軽水炉サイクルおよび他の基幹電源と比肩する経済性を達成し、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、FBR サイクルが本来有する長所を最大限に活かした実用化像を抽出し、あわせて将来の社会の多様なニーズに柔軟に対応できる開発戦略を提示するものである。

1999～2000 年度の「フェーズⅠ」では、安全性、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性を 5 つの開発目標として設定し、調査と検討評価を行い、実用化戦略を明確にするうえで必要な判断材料を整備し、有望な実用化候補概念を抽出した。

2001～2005 年度の「フェーズⅡ」では、候補概念の成立性に係る基礎的試験の成果を踏まえて FBR サイクル全体の整合性を図り、実用化候補概念の明確化を行うとともに、実用化に至るまでの研究開発計画を立案していく。

さらに、「フェーズⅡ終了以降」の研究開発では、安全性の確保を前提とした競争力のある FBR サイクル技術を 2015 年頃までに提示することを目標に、5 年程度ごとに評価を受けながら進めていく計画である。

現在は、「フェーズⅡ」の中間とりまとめの段階にあり、これまでの 3 年間の研究成果を基に、各候補概念の研究開発計画案を作成しており、本評価結果を反映し、集約した後に一般に公開する予定である。また、「フェーズⅡ」の今後 2 年間では、実用化候補概念の明確化を行うとともに、その結果を踏まえ、利用可能な研究資源や重点配分等を考慮しつつ、研究開発計画を立案する予定である。

今回の評価では、「フェーズⅡ」のこれまでの研究成果および今後 2 年間の計画、並びに「フェーズⅡ終了以降」の研究開発の展開の基本的考え方についての評価を実施した。

本課題の評価結果は、以下のとおりである。

【総合評価】

エネルギー資源に乏しい我が国にとって、エネルギーの長期的安定供給を可能にする技術的選択肢の確保が重要である。そのような選択肢の中で、FBR サイクル技術は、可能性が最も大きいものの一つであり、中長期的には、原子力発電の主流となっている軽水炉に続く将来の重要な電源の一つと位置付けられるものと考えられ、FBR サイクル技術の実用化は、国として取り組むべき重要課題である。このため、将来の FBR サイクルの実用化像を明確にし、その技術体系を整備するという本研究の目的は適切なものといえる。

本課題では、当初の目標や計画に対して柔軟に対応しており、「フェーズⅠ」で選定された実用化候補概念について、「フェーズⅡ」における各システムの設計研究の実施、要素技術開発に関連する試験研究の進展に伴い、明確化に必要な知見が整備されつつあり、全体として「フェーズⅡ」中間とりまとめまでの研究は順調に進んでいると評価する。

また、今後の「フェーズⅡ」の最終とりまとめに向けた計画や「フェーズⅡ終了以降」の展開の基本的考え方に対しても、おおむね妥当と判断する。

なお、「フェーズⅡ」の最終とりまとめに際しては、各候補概念の技術レベルに差があることから技術的不確定性などを考慮する必要がある。

さらに、将来の有望な FBR サイクル候補概念の明確化に向けて、これまでの成果で各候補概念の課題が明らかになってきたが、今後、これらの課題に対する工学的成立性の見通しを検討し、その有望性を判断することが重要である。各候補概念の技術的課題は、いずれも実用化までには更なる研究開発が必要であり、「フェーズⅡ終了以降」においては、重点化と取捨選択を行いつつ進めるのが適当である。このため、候補概念の優先度を判断する基準と資源配分の方針を整理しておく必要がある。

各評価項目に対する結果は、以下のとおりである。

1. 研究開発の目的・意義

本研究開発の目的は、21 世紀の社会ニーズに適合したエネルギー供給源として FBR サイクルの特長を最大限に活かせる競争力のある実用化像を明確にし、その技術体系を整備することとしており、エネルギー資源に乏しい我が国にとって重要な課題である。研究開発を進める上で本研究の進捗状況や FBR サイクル技術に係る情勢の変化を考慮しながら、柔軟に対応していくことが必要である。

また、多くの経験と情報を集約し FBR サイクルの全体像を示せるという点では、今や世界的に見ても最先端を行く研究開発機関の一つであるサイクル機構が主導的に取り組むべき課題である。

2. 研究開発目標

本研究開発の最終的な目標は、エネルギー市場で選択される原子炉、燃料再処理、燃料製造を組合せた原子力システムを生み出す道筋を見つけることであり、安全性を大前提として、経済性のみならず環境負荷低減、資源有効利用性、核拡散抵抗性の 5 つを開発目標として挙げているのは適切である。

「フェーズⅡ」の目標設定としては、「フェーズⅠ」で抽出した有望な実用化候補概念を基に、5 つの開発目標に加えて、技術的実現性及び社会的受容性を考慮して実用化候補概念の明確化を図り、今後の技術開発のロードマップを示すことにしており妥当である。また、各候補概念の特徴を生かし、多目的利用など 21 世紀の多様なニーズに応え得ることなどに配慮した見直しも行っており適切である。今後とも、国内外の動向を踏まえ、柔軟に対応していくことが重要である。なお、小型炉の位置づけは、他の基幹電源における FBR システムと多少異なることから、明確にしておくことが大切である。

また、各候補概念についてのブレークスルーすべき重要課題も抽出されているが、成立性に係る重要課題解決の可能性あるいは難易度について、定性的・準定量的な評価を行っておく必要がある。

3. 研究開発計画

「フェーズⅡ」の研究開発計画は、FBR システムの炉型や燃料システムの方式の特徴と技術レベルを反映したものになっており適切である。また、当初の計画項目の全てをカバーする予算が得られない状況の中で、目標達成への本筋を見失うことなく再考し、計画変更、研究項目の選択や中止などの方策が的確に行われている。

中間とりまとめでは、各候補概念を実用化させるうえで必要となる研究開発の計画案が示されたところであり、今後は、要素試験の結果やその結果を反映した設計の進捗を踏まえ、有望な候補概念の明確化を図るとともに、個別の開発計画の見直しや重点化を図るなど精査し、FBR サイクル全体の実用化に向けた研究開発計画を策定していく必要がある。

各項目の計画に対する評価は、以下のとおりである。

3.1 FBR システム

3.1.1 基幹電源における FBR システム

(1) ナトリウム冷却炉

技術開発が最も進んでいるナトリウム冷却炉では、原子炉構造と配管系の簡素化、密着 2 重伝熱管を採用した蒸気発生器、主循環ポンプ組込型の中間熱交換器、原子炉容器内でのガス巻き込み防止構造、高クロム鋼の開発、再臨界回避概念を研究する計画である。

これらを実現するためには多くの課題があるが、それらは適切に計画として挙げられている。ただし金属燃料については、適当な時期に MOX 燃料との比較において開発の取捨選択をするための検討が必要である。

(2) 鉛ビスマス冷却炉

日本、世界のいずれにおいても経験の少ない鉛ビスマス冷却炉では、ここで課題として挙げられている項目は適切であるが、開発の初期段階にあり、ナトリウム冷却炉と同様の技術レベルに到達するには相当の年月と資金を要するものと考えられる。本炉型は中性子スペクトルが硬いという利点を有しているが、資金や人員の有効利用の点で適当な時期にナトリウム冷却炉との比較において取捨選択するための検討が必要である。

(3) ヘリウムガス冷却炉

高温ガス炉技術と共通の部分が多く、水素製造などの関連でも注目される被覆粒子燃料ヘリウムガス冷却炉は、減速材として大容量の黒鉛が必要な高温ガス炉に比べ、それが必要ない高速炉では資本費上の利点と考えられる。一方、高温ガス炉より出力密度が高くなるため、炉心の除熱性について研究開発が必要であり、中空の被覆粒子燃料充填層を横方向に冷却する概念などが提案・検討されている。高出力密度の充填層の冷却性については、経験も少ないので各種概念の比較検討を行った後、さらに開発を進めるには実験的検討が必要である。また、フランスとの相互の国際協力などにより研究資源の有効利用を図るべきであり、国内外の高温ガス炉の研究開発で蓄積された技術を可能な限り利用し、高速炉特有技術に係る研究開発を主として実施することを期待する。

(4) 水冷却炉(BWR 型高速炉)

経験豊富な軽水炉技術が使用可能である水冷却炉では、冷却水のボイド率が従来型 BWR よりかなり大きく稠密な燃料構造であることから、熱流動特性および燃料被覆管材料の開発が重要であり、それらに対する評価が行われているのは適切である。研究開発にあたっては、日本原子力研究所との役割分担や連携に留意しつつ進めていく必要がある。

3.1.2 小型炉

ナトリウム冷却の小型炉は、プラント技術的には大型ナトリウム冷却炉と共通点が多いので、研究資源の有効利用の点で研究開発項目の重複を排することが重要である。また、多目的利用として、低温熱化学法は電気分解を併用することにより水素製造を 500℃程度で実現できる可能性があるため研究開発をさらに進めることを期待する。

3.2 燃料サイクルシステム

3.2.1 再処理システム

(1) 先進湿式法

先進湿式法は、実用化されている PUREX 法をベースに晶析技術、遠心抽出器を用いる U-Pu-Np 共抽出など、日本が世界をリードする技術を取入れており、低除染 TRU サ

イクルを確立するための研究開発のねらいと計画は適切である。

2次廃棄物の低減が期待できる超臨界直接抽出技術も、日本が世界をリードしている技術開発の1つであり、放射性物質を取り扱う中での固液分離や高圧技術に関する課題の克服を目標に研究開発を行うのは適切である。しかし、研究資源有効利用の点では、いずれ先進湿式法との総合的な比較評価が必要である。一方、マイナーアクチニド(MA)回収候補技術であるイオン交換技術は、まだ基礎的研究の段階にあるが、今後の各種ホット試験によりプロセスの技術的成立性の検討や MA 分離性能などの基礎データを得るとしているのは適切である。

(2) 酸化物電解法、金属電解法

酸化物電解法および金属電解法については、小規模試験による技術的成立性の確認を行うとしている。これらの方法、特に金属電解法については先進湿式法と比べて、大きなメリットがあるかどうかの検討を行うことが研究開発資源の有効利用の点でいずれ必要である。

3.2.2 燃料製造システム

燃料製造については簡素化ペレット法、振動充填法、鑄造法の研究が行われている。

金属電解法と射出成型法を組み合わせた鑄造法は、金属燃料を酸化物燃料の後続として高速炉に用いる優劣の検討を含めて、その研究開発をサイクル機構が進めるべきかどうかの検討を行うことが望ましい。

振動充填燃料製造は、MA 含有燃料製造におけるペレット法との優劣について取捨選択のための検討を行うことを念頭に研究開発を進めるのが適切である。

4. 研究開発実施体制

サイクル機構内での研究開発体制、連携体制、他組織との協力体制、国際協力などは適切であり、サイクル機構内の各組織が行うプロジェクトの成果の反映や第4世代原子力システムプロジェクト (GEN-IV) などの国際プロジェクトとの連携は十分配慮されている。今後ともこれらの協力・連携体制を維持しながら実施していくべきである。

なお、本研究開発を含めた FBR サイクルシステムの研究開発は、長期間を要することから、技術の継承、アーカイブスの作成などが重要であり、特に人材育成に対して努力を払う必要がある。

また、原子力二法人統合を視野に入れ、研究開発体制の効率化に留意する必要がある。

5. 研究開発成果

オールジャパン体制のもとで、FBR システム、燃料サイクルシステムなどのこれまでに行われてきた「フェーズⅡ」中間とりまとめでは、予算や周辺環境変化に対応した適切

な成果が得られていると判断する。

各システムの設計研究、要素技術開発に関連する試験研究の進展に伴い、ナトリウム冷却炉におけるガス巻き込み挙動、鉛ビスマス冷却炉における材料腐食挙動、湿式再処理の晶析におけるウラン・プルトニウム分離挙動、乾式再処理の MA 回収技術など、実用化候補概念の明確化に必要な知見や各候補概念の成立性の鍵となる技術に関する知見が蓄積されてきており、長期間の開発を要する課題も特定されつつある。

なお、各候補概念の技術レベルに差があることから、「多面的評価」は、技術的不確定性の違いを反映した評価や不確定要素に対する感度解析などの検討を行う必要がある。また、目指すべき姿と技術レベルの違いを分かり易く説明することが重要である。

さらに、設計製作経験のない FBR サイクルシステムの「経済性評価」は、評価手法の限界を明らかにして、評価精度を上げるための方策を示していく必要がある。

各研究開発の主な課題で「開発期間」として一律に表現しているが、現段階で考えられる技術で成果が見込めるものと見通しが不明確なものを明確にしておくことが重要である。

日本原子力学会や国際会議等における成果の発表や特許出願など成果の公開を積極的に実施してきている。一方、マスコミ等でプルトニウムリサイクル計画の是非に関連する記事が取り上げられていることと比較すると、本研究が実施されていることは社会にあまり知られていない。一般の方々に対し、FBR サイクルの意義・重要性や本研究の活動について認知されることが重要であり、マスコミ等への広報の更なる努力が望まれる。

その際に留意すべき点は、GEN-IV への取組みや FBR に係る世界の状況を一般の方々に理解してもらえるようにわかりやすく説明することである。研究成果を発表する際には、世界の状況との比較を挙げ、国際協力体制を明示することにより、日本での FBR サイクルの必要性や日本の技術レベルが見えるようにもなるので、一層の積極的な対応に期待する。

6. 今後の展開

「フェーズⅡ後半」及び「フェーズⅡ終了後」の基本的な進め方等は適切である。

但し、以下のことに留意しつつ進める必要がある。

各候補概念に対する評価においては、時間軸や不確実性などを考慮しつつ「技術的成立性」を判断していくことが重要であり、2015 年頃に有望な FBR システムと燃料サイクルシステムの具体像を明確にすることを目指し、重み付けをして本研究を効率的に進めることが望まれる。

実用化に向けては、保守・補修性、信頼性など産業設備としての工学的成立性を見通すことが重要であり、要素試験やそれを反映した設計検討の結果を踏まえ、工学的成立性を

判断するとともに、開発計画を立案する必要がある。

また、工学的規模試験の実施など次の段階へ進む際には、それまでの検討結果及び計画に対する評価を受けつつ進めるのが適当である。

実用化戦略調査研究全体として、実用化候補の技術体系と併せて導入戦略を提案することが重要である。また、仮に 2030 年頃に FBR を導入し、順次軽水炉から FBR に移行するとしても、長期に亘って軽水炉との共存が予想されるので、FBR サイクルシステムの構築には、軽水炉燃料サイクルとの整合性を考慮する必要がある。そのためには、プルトニウムバランスやウラン需給等を踏まえた総合的シナリオを検討し、軽水炉燃料再処理を含めた我が国の将来の適切な燃料サイクルの方式を提案する必要がある。

今後の展開に対しては、外部情勢などを踏まえ柔軟に対応し、より安全で競争力のある FBR サイクルのシステムが構築されることを期待する。

7. その他

電力の自由化などの情勢変化の中で、現在、原子力長期計画改訂の時期を迎え、核燃料サイクルのあり方など現在の原子力政策の根幹に対し、さまざまな意見が原子力委員会に寄せられている。一方、長期的視点で見た場合、FBR サイクル技術は、将来のエネルギーの安定供給に向けて、現在最も有望なエネルギー技術であり、着実にその開発を進めていくことが重要である。その実現に向けては安全性を前提とした経済競争力の達成が重要であるが、同時に資源有効利用性、環境負荷低減、核拡散抵抗性といった観点も重要である。国際的にも GEN-IV 等において、FBR サイクル技術を含む次世代の原子力システムについて検討している。その目標は、持続可能性、経済競争力等を有する原子力の開発という本研究開発と基本的に同じものであり、国際的にも同様な認識にあると言える。

FBR サイクル技術は、我が国の原子力政策として、エネルギーの将来を左右する重要な課題である。したがって、サイクル機構は、積極的に本研究開発の成果や FBR サイクルの必要性について外部に発信し、原子力長期計画の検討に貢献することを期待する。

特に、最近の原子力分野における論争の焦点の一つに軽水炉燃料ワンスルーが挙げられている。軽水炉燃料ワンスルーと FBR サイクルとの比較について、一般の方々に向けて、より分かりやすく示すことが重要である。

以 上