

原子力委員会長期計画策定会議第三分科会報告書

高速増殖炉関連技術の将来展開
(案)

平成12年 月

長期計画策定会議第三分科会

目次

はじめに

1. 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルの研究開発とそれを取り巻く現状
 1. 1 我が国における研究開発の現状
 - (1) 高速増殖炉の研究開発
 - (2) 関連する核燃料サイクルの研究開発
 - (3) 長寿命核種の分離変換技術
 - (4) 基礎基盤技術
 1. 2 最近の高速増殖炉とそれを取り巻く状況の変化
 1. 3 海外における研究開発の現状
2. 原子力開発の方向性と高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルの位置付け
 2. 1 原子力開発の方向性
 - (1) 安全性
 - (2) バックエンド対策
 - (3) 経済性の一層の追求
 - (4) 将来への備え
 - (5) 核不拡散
 - (6) 戦略的な研究開発に向けて
 2. 2 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルの位置付け
 - (1) 非化石エネルギーとしての原子力の将来技術
 - (2) 将来の循環型社会に適合したシステム
 - (3) 研究開発がもたらす効果
3. 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクル研究開発の方向性
 3. 1 基本的考え方
 3. 2 研究開発の方向性
 3. 3 研究開発体制
 - (1) 基本的な研究開発体制の考え方
 - (2) 各機関の役割
 3. 4 研究開発施設の有効利用
 - (1) 「もんじゅ」
 - (2) その他の研究開発施設
 3. 5 実証炉以降の開発
 3. 6 考慮すべき点
 - (1) 国民合意と理解推進
 - (2) 核不拡散の努力

- 3. 7 原子力政策円卓会議の提言について
- 4. 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクル研究開発の進め方
 - 4. 1 実用化戦略調査研究
 - (1) 目的
 - (2) 実用化戦略調査研究の進め方
 - 4. 2 基盤技術の研究開発
 - 4. 3 長寿命核種の分離変換技術の研究開発
 - 4. 4 技術評価データベースの整備
 - 4. 5 国際協力の具体的展開
 - (1) フランス
 - (2) ロシア
 - (3) その他
 - 4. 6 「もんじゅ」を活用した研究開発
 - (1) 「もんじゅ」の役割
 - (2) 「もんじゅ」における国際協力
 - 4. 7 その他の研究開発施設を活用した研究開発
 - (1) 「常陽」
 - (2) リサイクル機器試験施設（R E T F）及び高レベル放射性物質研究施設（C P F）
 - (3) その他の基盤技術の研究開発施設

はじめに

原子力委員会は、平成6年に「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（長期計画）を策定して以来約5年の間に、原子力を巡る国内外の情勢が変化していることを認識し、21世紀社会に向けた新たな長期計画を策定するため、平成11年5月に長期計画策定会議を設置しました。

本分科会は、この長期計画策定会議の審議事項のうち、高速増殖炉とこれに関連する核燃料サイクル技術の在り方、方向性及び今後の課題について審議することを目的として、平成11年7月に長期計画策定会議の下に設置されました。

本分科会は、平成11年9月から平成12年月までの間合計回開催され、審議の過程において、高速増殖炉研究開発において重要な施設である核燃料サイクル開発機構の高速増殖原型炉「もんじゅ」の視察を行う等現場の状況等も十分に把握した上で議論を行ってきました。また、本分科会の開催に当たっては、審議の経過を明らかにするため、議事概要や配付資料をインターネット等で公開にするだけでなく、分科会自体を公開し、国民の理解と協力が得られるよう努めてきました。

1. 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルの研究開発とそれを取り巻く現状

1. 1 我が国における研究開発の現状

(1) 高速増殖炉の研究開発

我が国における高速増殖炉の研究開発は、昭和42年の動力炉・核燃料開発事業団（動燃、現核燃料サイクル開発機構（サイクル機構））設立以来本格的に進められており、これまで、サイクル機構による実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」の建設及び運転並びにナトリウム取扱いに係る研究開発等が行われ、また、電気事業者、電力中央研究所（電中研）及び日本原子力研究所（原研）による基盤的な研究開発等が着実に進められてきました。

我が国初の高速増殖炉である「常陽」は、設計原理を試験的規模で確認し、燃料・材料照射データを蓄積するための実験炉として、茨城県大洗町に建設され、昭和52年に初臨界を達成し、その後の運転を通じて、増殖性能等を確認しました（MK-I計画）。昭和57年には炉心（熱出力100MW）の改造（MK-II計画）を行い、主に炉内での燃料・材料の照射を目的とした運転を行っており、照射データを蓄積しています。今後、さらに改造を行い、熱出力を140MWに増加、燃料取替設備の改造等を行い、照射能力を向上させる計画です（MK-III計画）。

実験炉に続く段階として、発電プラントとしての性能確認及び技術的可能性を評価するための原型炉「もんじゅ」が福井県敦賀市に建設されました。平成6年に初臨界を、また平成7年に初送電を達成しましたが、同年12月に約40%の出力試験中2次冷却系からナトリウム漏えいを生じ、現在まで運転を停止しています。

さらに、原型炉に続く段階として、電気事業者が中心となって経済性の見通しを明らかにするための実証炉の設計研究及び関連技術開発が進められてきました。

（２）関連する核燃料サイクルの研究開発

関連する核燃料サイクルに関する研究開発は、サイクル機構・東海事業所を中心に行われてきました。

湿式ピューレックス法による再処理工程に関して、高レベル放射性物質研究施設（ＣＰＦ）では、実験室規模試験として、「常陽」の使用済燃料を再処理しプルトニウムを回収し、その一部を混合酸化物燃料（ＭＯＸ燃料）体に加工作して再び「常陽」にリサイクルする等小規模ながら核燃料サイクルの環を閉じ、一連の技術を実証しました。

ＣＰＦからの知見を反映して構築された再処理工程を適用し、工学規模でのホット試験を行うことを目的としたリサイクル機器試験施設（ＲＥＴＦ）の建設を平成７年より開始しています。現在、ＲＥＴＦについては、湿式ピューレックス法以外の技術開発を行うことも含め、施設の新たな利用計画の検討が行われています。

一方、先進的核燃料リサイクル技術として、サイクル機構では湿式ピューレックス法の開発成果を基に、工程の簡素化を図った先進的な湿式法の開発が行われています。また、電気事業者を中心に、ＭＯＸ燃料を対象とした乾式再処理及び振動充填法による燃料製造技術の研究開発がロシアの原子炉科学研究所との共同研究により実施されてきました。また、金属燃料については、電中研が中心となり、米国アルゴンヌ国立研究所との共同研究にて乾式再処理法及び射出成型法による燃料製造技術の研究開発が行われてきました。さらに、窒化物燃料の製造法について、原研が炭素熱還元法やゾルゲル法による顆粒燃料の製造について成果を上げています。

（３）長寿命核種の分離変換技術

高レベル放射性廃棄物等に含まれる放射性核種の特徴に着目し、有用な元素あるいは核種を分離して有効利用する技術及び長寿命核種に放射線を照射して短寿命あるいは安定核種に変換する技術について検討が進められています。昭和６３年の原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会がまとめた「群分離・消滅処理技術研究開発長期計画」により、いわゆるオメガ計画として基礎基盤的な研究が原研、サイクル機構及び電中研の三機関が中心となって実施されています。

マイナーアクチニドと長寿命核分裂生成物の分離には、これまで、湿式法と乾式法の両方が検討されています。

一方、変換技術には、発電用高速炉を用いる発電用高速炉利用型と加速器駆動未臨界炉（ＡＤＳ）や専焼高速炉（ＡＢＲ）を用いて発電用サイクルと核変換サイクルの最適化を図る階層型が提案されており、それぞれについて技術的な検討が行われています。

（４）基礎基盤技術

各研究開発段階において、各種機器、構造材料の開発や設計基準類の整備が行われるとともに、炉心設計解析、伝熱流動解析、プラント動特性解析、構造解析等、設計に用いる解析コード類並びに炉心損傷事象、ナトリウム－水反応事象に代表される想定事故解析等、各種安全評価に用いる解析手法等が開発され、「常陽」や「もんじゅ」の設計や安全評価に利用

されるとともに各種模擬試験、性能試験、施設の運転等を通じて検証されてきました。

1. 2 最近の高速増殖炉とそれを取り巻く状況の変化

平成7年12月の「もんじゅ」におけるナトリウム漏えい事故、並びに平成9年3月に発生した動燃アスファルト固化処理施設における火災爆発事故を受けて設立した動燃改革検討委員会の報告書を踏まえ、平成10年10月に動燃を改組しサイクル機構が設立されました。

また、「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故後に、原子力委員会が開催した「原子力政策円卓会議」での提言を受けて、平成9年に高速増殖炉懇談会が設置され、「もんじゅ」の扱いを含めた将来の高速増殖炉研究開発の在り方についての審議が行われました。同年12月にまとめられた同懇談会報告書「高速増殖炉研究開発の在り方」においては、高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクル技術について、「将来の原子力ひいては非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢として、高速増殖炉の実用化の可能性を技術的、社会的に追求するために、その研究開発を進めることが妥当」とされ、また、「原型炉「もんじゅ」は、この研究開発の場の一つとして位置付けられる」とされました。原子力委員会は同報告書を踏まえ、高速増殖炉研究開発の推進を決定しました。

平成11年7月には、サイクル機構を中心に電気事業者や国内研究開発機関等が結集し、既存技術の改良・応用だけでなく、革新的な要素技術も取り込む形で、高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルに関する各種概念を対象とした幅広い検討（実用化戦略調査研究）を開始しています。

平成11年9月に(株)ジェー・シー・オー東海事業所において我が国初めての臨界事故（JC O臨界事故）が発生しました。この事故は、作業員の重大な被ばくや周辺住民の避難や屋内退避を招き、原子力利用に対する国民の信頼が大きく損なわれた点で重大なものでありました。

平成12年3月、福井地方裁判所は、内閣総理大臣が行った「もんじゅ」の原子炉設置許可処分は無効を確認する件及びサイクル機構が行う「もんじゅ」の建設・運転の差し止めを求めた件の両方について、原告の請求を退ける旨の判決を行った。本裁判においては「もんじゅ」の安全性に関する国とサイクル機構の主張が全面的に認められている。

1. 3 海外における研究開発の現状

海外における高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルに関する研究開発の状況は次のとおりです。

アメリカにおいては、原子力開発当初から高速増殖炉研究開発に着手しています。これまで、多数の実験炉の建設・運転による豊富な技術を蓄積し、また、金属燃料、乾式再処理等を含む幅広い研究開発を進めてきましたが、現在は、主に核不拡散の観点から高速増殖炉を含む核燃料サイクルに関する研究開発を中止しています。最近の新たな原子力研究計画にお

いては、核拡散抵抗性、経済性、安全性、環境負荷低減性の向上を目指した次世代の原子炉を研究する動きも始まっています。

フランスにおいては、最近、実証炉スーパーフェニックスの廃止を経済性の観点から決定しました。しかしながら、原型炉フェニックスなどを用いた研究開発は継続しており、長寿命核種の分離変換技術の研究開発等に取り組んでいます。また、ナトリウムの他にも、ガス、鉛-ビスマス等を冷却材とする多様な高速炉に関する研究開発を始めています。

イギリスにおいては、実験炉D F R、原型炉P F Rの設計、建設、運転等に関する成果を蓄積してきました。特に、原型炉P F Rは約20年間運転され、高速増殖炉技術に関する知見を蓄積しましたが、新たな石油資源の発掘を背景とした短期的なエネルギー事情の緩和から、現在独自の計画は有していません。

ドイツにおいては、実験炉K N K - 1 及びK N K - 2 を約20年間にわたり運転した他、原型炉S N R - 3 0 0 を建設しましたが、立地している州政府が安全性を理由として運転に反対し、燃料装荷の許可が下りず、維持費等の財政負担の増加を理由に計画を中止しています。

ロシアにおいては、ナトリウム冷却型の高速増殖炉の研究開発を積極的に進めており、実験炉B R - 1 0、B O R - 6 0、及び原型炉B N - 3 5 0（カザフスタン）、B N - 6 0 0 等豊富な運転実績を有しています。これに続くB N - 8 0 0 も設計を終え、建設段階を迎えています。一方、原子力潜水艦で鉛-ビスマス冷却炉の運転経験があり、将来技術の選択肢として、窒化物燃料・鉛冷却型の高速炉の研究開発も行われています。また、乾式再処理技術と振動充填方式による高速炉用M O X 燃料の製造技術の研究開発を行っています。

アジアにおいても高速増殖炉に対する関心が伺えます。インドは高速実験炉を運転しており、最終的にはウラン233を用いるトリウムの燃料サイクルを目指した研究開発を行っています。中国においても高速実験炉を建設する段階に至っています。また、韓国では基礎基盤研究が行われています。

2. 原子力開発の方向性と高速増殖炉及びこれに関連する燃料サイクルの位置付け

2. 1 原子力開発の方向性

(1) 安全性

第一に安全最優先の徹底が求められます。長い目でみて安全第一がむしろ経済的との認識が重要です。JCO 事故の教訓は、自己責任の徹底、21 世紀型安全社会、リスク評価社会、国民の不安に応える安全行政でした。とくに、携わる人の問題が重要であり、安全意識、安全教育、社会的安全性を重視する必要があります。

(2) バックエンド対策

得に、高レベル放射性廃棄物対策が重要です。着実な進展を図る上から実施主体の設立と地下研究施設の建設が当面の課題と考えられます。長期的観点からは、長寿命放射能の分離変換技術の開発も重要です。

（３）経済性の一層の追求

電力市場の自由化、コストダウン、国際競争力の強化は時代の趨勢です。長期的かつグローバルな視点からは、途上国でもコスト的に利用可能な原子力の開発が重要と考えられます。

（４）将来への備え

原子力の技術開発の意義はエネルギーセキュリティであり、それが動燃改革検討委員会の勧告でした。エネルギーセキュリティ型原子力の要件は、安全性・バックエンド・経済性に加えて、資源リサイクルすなわち省資源と核不拡散にあります。

省資源又は資源リサイクルのためには、プルトニウムによるウラン資源の有効利用が欠かせません。したがって将来的に重要な選択肢として高速炉の開発が重要となります。それが高速増殖炉懇談会の結論でした。問題は、セキュリティ、すなわち、日本独自の構想や判断の下にいかに関係を進めていくかが重要です。そのためには、国が主体となって長期的に関係に取り組むことが必要です。第三分科会での長計の議論では、F B Rサイクルに関する国の計画に重点が置かれました。

（５）核不拡散

プルトニウム燃料の利用には核不拡散への留意が特に重要です。情報公開による透明性の向上とともに核不拡散型サイクルの開発が求められることです。核不拡散型サイクルにはマイナーアクチニドの利用が有効と考えられ、資源リサイクルとともにバックエンド対策（廃棄物問題）にも貢献するものと考えられます。

（６）戦略的な研究開発に向けて

エネルギーセキュリティ型原子力も経済合理性がなければ不採用とならざるを得ません。エネルギーセキュリティと経済性の問題は、海外からのエネルギー資源確保に際し国としての一種の交渉力に関連し、長期的視点から戦略的に開発に取り組むことが重要です。

2.2 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルの位置付け

（１）非化石エネルギーとしての原子力の将来技術

我が国は、化石燃料だけでなくウラン燃料も海外からの輸入に頼っている資源の少ない国の一つです。現在のところ、ウラン需給は基調緩和にあり逼迫した状況にはありませんが、世界的なエネルギー需要の伸びに鑑みれば、ウラン資源を限りある貴重な資源として有効に使われなければなりません。

我が国が、21世紀においても経済活動や国民生活を維持・発展させていくためには、将来のエネルギー源の確保が必要不可欠です。また、近年、地球温暖化問題等の環境への制約から、徹底した省エネルギー対策を進めると共に、原子力及び新エネルギー等の非化石エネルギー源を十分に確保しておくことがますます重要になってきております。

高速増殖炉は、高速中性子によって核分裂を起こすため、核分裂で発生する中性子の発生数が核分裂を維持するために必要な発生数よりも多くなります。このため、余分の中性子によ

って、高速増殖炉は核分裂で消費したウランやプルトニウムの数以上に、天然ウランの99.3%を占めるいわゆる燃えないウラン238をプルトニウムに変換し、新たな燃料を生み出すことができます。即ち、高速増殖炉は燃料のリサイクルによりウラン利用効率を軽水炉に比べて飛躍的に高くすることができる原子炉です。高速増殖炉は、非化石エネルギー源として地球温暖化の原因となるガスを発生させないだけでなく、一度確保したウラン資源をリサイクルして活用することにより、長期にわたり自立的なエネルギー源を確保することが可能となります。

また、高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルの研究開発によって、プルトニウム燃料を用いた核燃料サイクルを確立し、天然ウランの大半を占めるウラン238を燃料として有効利用することはエネルギーセキュリティをその意義とする原子力利用における目指すべき方向性であると考えられます。

(2) 将来の循環型社会に適合したシステム

高速増殖炉は、炉心の中性子エネルギーが高いため、軽水炉サイクルでは廃棄物となる高次化プルトニウムやマイナーアクチニドも核分裂させやすいという特性を有しており、これらをエネルギー源として使うことができ、燃料を効率的に利用できるだけでなく環境負荷低減の効果もあります。

また、高速増殖炉は、廃棄物に含まれ得る長寿命放射性核種を短寿命核種または安定核種に核変換することによりさらに環境負荷低減に寄与する可能性を持っています。高速増殖炉に関する再処理の過程において、プルトニウムだけでなく、長寿命放射性核種などを一緒に抽出し燃料として利用する核燃料サイクルは、プルトニウムの核兵器転用を困難にするという核不拡散上の利点もあります。

このように、高速増殖炉を用いた核燃料サイクルは、将来の循環型社会に適合したシステムとして資源リサイクル、環境負荷低減に貢献できると同時に、核拡散抵抗性の強いシステムの構築を可能とするものです。

(3) 研究開発がもたらす効果

高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルの研究開発は、人類の将来の発展にとって非常に重要なものであり、科学技術創造立国を目指すべき我が国にとって大きな国際的貢献ともなり、戦略的に進めるべき研究開発です。また、この研究開発の実施による様々な分野への波及効果が期待され、科学技術の振興に大きな貢献となると考えられます。

3. 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクル研究開発の方向性

3. 1 基本的考え方

- (1) 第1に柔軟性が挙げられます。選択の幅をもつことが重要です。フランスでは、フェニックス、スーパーフェニックスの経験を踏まえ、ガス冷却炉も視野に入れて研究開発を進めており、2006年までに、サイクル全体の技術開発評価を予定です。ロシアでも、BN-600、BN-800に加え、鉛冷却型炉の開発も行っていま

す。米国の新原子力研究計画は核不拡散型を指向するとともに中小型炉で途上国向けも視野に入れた計画です。

- (2) さらに、将来の選択肢を広げる観点から、炉型選択についても広く考えることが重要です。すなわち、鉛冷却・ガス冷却、大型・中小型炉、高転換炉、高温ガス炉、加速器などのオプションに関する比較検討が重要です。
- (3) 多様な選択肢の検討を進める観点から、サイクル機構の実用化戦略調査研究の活用が有効です。同調査研究のタイムスケジュールの下、第1期において期待されている成果に関し原子力委員会の場で評価する必要があります。
- (4) FBRサイクル関連技術のうち、もっとも開発が進んでいるものは、MOX燃料・ナトリウム冷却です。同技術の重点開発項目は、たとえば、ナトリウム技術、3次元免震、MOX燃料再処理・加工です。とくにナトリウム技術については、「もんじゅ」の運転経験にもとづく実証が不可欠です。
- (5) 資源リサイクル・核不拡散型サイクルの観点からは、先進リサイクル・マイナーアクチニド燃焼を視野に入れることが重要です。そのためには、湿式対乾式、合金対化合物、集中型サイクル対一体型などの比較検討が必要です。
- (6) いずれにしても、FBRサイクル関連技術の開発は次世紀にわたる研究開発です。そのために必要な人材の糾合・育成、技術開発ポテンシャルの向上・確立を図るとの観点が肝要です。
- (7) しかし、同時に経済効率性・競争力の維持・追及が不可欠です。そのためには、企業間の自由な競争と参入や産官学の連携と競争に加えて発注者と受注者の役割分担の明確化が重要です。さらには国際競争を活用することも重要です。なお、国の研究開発の成果については、電力市場の自由化に関連して電気事業者以外のユーザーの可能性も視野に入れる必要があります。
- (8) また、国際協力を進め技術開発の効率化を図る必要があります。現行の日仏・日ロを推進し、核不拡散・核兵器解体への技術協力も重要です。解体核プルトニウムの原子炉オプションについては第三国協力が核軍縮プロセスの透明性向上の観点から有効との認識が重要です。
- (9) 研究開発の到達度や進め方についてのチェック・アンド・レビューを随時行う必要があります。そのためには出来るだけ融通性に富む技術開発プログラムを樹て社会情勢の変化に柔軟に対応し、併せて外部評価による透明性の向上を図る必要があります。さらに、評価に当たっては、単なる技術評価にとどまらず、社会的状況変化等を踏まえ研究開発政策に関する政策評価も行うことが肝要です。
- (10) 国として研究開発成果を的確に評価し判断していくための技術評価基盤の開発が不可欠です。そのためには技術評価データベースを確立し、研究開発機関の間の連携を強化することが重要です。

3. 2 研究開発の方向性

○研究開発の方向

高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクル（F B Rサイクル）を取り巻く内外の状況は常に変化していますが、高速増殖炉が非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢であるという意義には変わりはなく、F B Rサイクルの実用化に向け、その研究開発を進めることが妥当です。

研究開発を進めるに当たっては、我が国がF B Rサイクルの研究開発におけるフロンティアの一員であるとの認識の下、国際的な研究開発をリードし、高い目標を達成するため創造性を発揮して、一層の飛躍に努めていかなければなりません。

○社会的な情勢や内外の研究開発動向等を踏まえた研究開発の推進

内外の研究動向に照らして真に努力を傾注する価値のある課題であることを確認しつつ研究開発を進めること、大学などにおける関連分野の基礎・基盤研究の充実により新しいアイデアの提案や展開にも注目し計画を随時見直していくことが必要です。

また、柔軟な計画の下に研究開発を進めていくためには、将来におけるエネルギー情勢、新たなユーザーを含めたユーザーのニーズ及び社会的ニーズの不確実性を踏まえ、F B Rサイクル技術が多様性を持ち得ることを考慮し、選択の幅をもたせることが重要です。

したがって、高速増殖炉の研究開発計画は、原子力委員会が社会的な情勢や内外の研究動向等を踏まえて策定し、柔軟な見直しが可能な計画とするとともに、技術面と政策面からによる定期的な評価を受け、適切に軌道修正を行える仕組みを整える必要があります。

○経済性の確保

今後の研究開発において最大限の投資効果を引き出すため、F B Rサイクル関連技術の多様な選択肢について経済性等の実用化の可能性を十分に検討し、早期にF B Rサイクルの実用化像の絞り込みと実用化への道筋をつけるための研究開発を進める必要があります。また、F B Rサイクルの実用化段階には、電気事業の自由化等の厳しい経済的な環境を踏まえ、導入リスクをできる限り低減するため、安全確保を前提に、軽水炉や他電源と比肩する経済性を達成するという目標を設定することが必要です。

さらに、企業間の自由な競争と参入や産官学の連携と競争、さらに国際競争を研究開発における経済効率性の向上に活用することが重要です。

○環境負荷低減及び核不拡散

21世紀の我が国が目指すべき循環型社会への基本路線に適合し、かつ、環境負荷低減の観点から、発生する廃棄物量をできる限り低減する必要がある。したがって放射性廃棄物から長寿命核種を分離し、それらを核変換する技術を基礎基盤技術として研究開発を引続き進めることが適切です。

また、核不拡散の観点から、我が国にとどまらず国際的な課題の解決に向けた研究開発を実施する必要があります。マイナーアクチニド燃焼を含む核燃料リサイクルを視野に入れる必要があります。

○技術の継承と人材確保

これまでの研究開発過程で得られた研究成果は、今後の実用化に向けたF B Rサイクルの研究開発を着実かつ効率的に進める上で非常に重要であり、研究開発だけでなく設計や建設を行った各機関に分散している技術的な成果を散逸させることなく、高いポテンシャルを維持し技術継承を図り十分に活用していかなければなりません。また、高い水準の研究開発を継続的に実施していくためには、優秀な人材の確保が必須です。

技術の継承と人材確保のため、各機関と連携しつつ、適切な研究開発目標を設定し、研究開発施設を設計、建設し、これを運転、維持していく等、技術的継承を行いながら新しい技術の開発・改良を行っていく環境を整備していくことが重要です。

さらに、将来の研究開発を担う人材を確保するという観点から、大学等における関連分野の基礎・基盤研究の充実により、新しいアイデアの提案や展開を積極的に進める必要があります。

○研究開発成果の評価

研究開発を行っていくにあたっては、社会情勢も含めた研究開発を取り巻く状況を的確に踏まえつつ、その進め方及び到達度について定期的にチェックアンドレビューを行うことが必須であり、透明性の確保を図る観点からも定期的に研究開発の進め方及び成果について、第三者を含めた評価がなされる必要があります。

また、評価を行うに当たって、研究開発成果を的確に評価するための技術評価基盤の整備が不可欠であり、研究開発機関の間の連携を強化し、技術基盤情報を含む技術評価データベースを整備する必要があります。

○安全性

原子力の研究開発において安全性の確保はその大前提となるものであり、最優先に取り組むべきものです。

(安全確保のためのシステムの構築)

一般に原子力施設は多様なシステムが統合されたものですから、機器の故障等をゼロにすることは不可能です。このため、早期に故障を発見したり、故障が起こっても他への波及がないようにするなどトラブルを未然に防ぐシステムを構築する必要があります。また、原子力施設だけの問題ではありませんが、人の介入する部分でのトラブルが多く発生することに鑑み、人は誤りを犯すことを前提にハード・ソフト両面からの対策を採る等人的過誤を防ぐためのシステムを構築することが不可欠です。さらに、万一、施設外へ影響を及ぼすような事態に至ったとしても影響の拡大を防ぐシステムの構築が不可欠です。また、F B Rサイクルの進展によってプルトニウムの利用が拡大することから、万が一の事態に備えるためプルトニウムの生体への影響の研究開発を行う必要がある。

このようなソフト・ハード両面での対策がなされた上に、施設を運用する個人と組織が、自己責任の徹底によって、安全を確保することが必要です。さらに、各組織に求められる要件として、自己責任の徹底がなされていることを常に確認する体制を整備することも重要

です。

（安全確保のための教育）

安全は、安全についての十分な知識の上に強い責任感を持つことによって確保されると考えられます。したがって、まず、職務に関し責任感を持つことがきちんと教育される必要があります。

その上で、十全なシステムを構築しつつ、研究開発に携わる人全てが、その業務に関する安全性について十分な教育を受け、高い安全確保についての意識を持つことによって安全が確保されると認識すべきです。

F B Rサイクルの研究開発においても、実用化の段階で安全が確保されることはもちろんのこと、その途上においても同様に安全の確保に努めていかなければなりません。

○国際協力

国際協力については、研究開発成果を国際的に共有し、技術開発を効率的に進めるとの観点から、現在実施されている日仏協力、日露協力を中心に積極的に推進することが重要です。

また、核不拡散や核兵器解体への技術協力という観点も重要であり、解体核プルトニウムのロシアの高速炉を利用した燃料に係る研究開発に引き続き取り組むことも重要です。

3. 3 研究開発体制

（1）基本的な研究開発体制の考え方

実用化に向けた研究開発を進めていくに当たっては、従来の研究開発成果を活用するとともに、新たな発想の創出に挑戦することが必要であり、内外の研究者の力を結集して、多様な選択肢の検討を含め、原子炉システムと核燃料サイクルシステムについて整合性をもって進めることが重要であります。従って、サイクル機構、電気事業者、電中研、原研等がそれぞれの役割を担いつつ、緊密な連携を図ることが求められます。

このような観点から、開発に必要な人、資金等の資源を有効活用し、効率的に研究開発を進めるため、サイクル機構と電気事業者が一致協力して「実用化戦略調査研究」を実施しており、また、既に電中研及び原研も参画しています。各機関は、これが大きな成果を得るよう努めていく必要があります。

（2）各機関の役割

国は、関係機関におけるF B Rサイクルの研究開発が効果的かつ効率的に推進されるよう、その全体的な進め方について定期的な評価及び必要に応じた見直しをしていかなければなりません。

サイクル機構は主要な研究開発施設を有し、F B Rサイクルを技術的に確立するための主導的役割を担うべく国民の負託を受けた研究開発機関として、これまでの知見・経験を生かし、実用化に向けたF B Rサイクル全般の研究開発を計画的に進めていく責任を持ちます。

電気事業者は、F B Rサイクル実用化の目途がついた後には、将来のユーザーとして主体

的に開発を進めていかなければなりません。従って、実用化に向けた研究開発にその計画策定段階から積極的に参画し、研究開発においてコスト意識が強く反映されるよう、サイクル機構と一致協力していく必要があります。

電中研は、F B Rサイクルの基礎基盤研究及び将来のユーザーたる電気事業者のニーズに応えるための実用化技術に関する研究開発を推進します。

原研は、F B Rサイクルの基礎基盤研究を担う主要な機関として関連の研究開発を推進します。

メーカーは、その独自のノウハウを活かし、実用化に向けた研究開発を支える設計技術及び製造技術を開発しつつ、施設の建設、運転・保守、改良等に関する受注を通じて、その成果を提供することが望まれます。

大学は、その幅広い基礎基盤研究において、革新的技術を創出することが望まれます。

3. 4 研究開発施設の有効利用

(1) 「もんじゅ」

「もんじゅ」における研究開発においては、これまでの設計・建設段階で多くの知見を蓄積してきましたが、今後の実用化に向けた高速増殖炉の研究開発を進めるに当たって、これまでの蓄積に加え、今後の「もんじゅ」の運転・保守データを加えることが重要です。「もんじゅ」の運転による研究開発により、発電プラントとしての性能を確認し、実用化に向けた技術的可能性を評価する「原型炉」としての目的を達成することが必要不可欠であり、この目的を達成しないまま、「もんじゅ」の研究開発を中断することは、これまでの成果とともに今後の可能性をも否定することに等しく、我が国の将来にとって大きな損失といえます。

長期的には、高速炉用燃料及び再処理と連携して、一連の核燃料サイクル技術の実証に向けた研究開発において有効に活用しておくことも重要です。

したがって、「もんじゅ」については、ナトリウム漏えい対策として、ナトリウム冷却系から抜き取る（ドレン）時間の短縮、総合漏えい監視システムの設置、建物の区画化・窒素ガスの注入、温度計の改善等を実施し、安全性の向上を図り、動燃改革が確実に実施され、地元の理解を得つつ研究開発段階にある原子炉であることを認識した慎重な運転管理が行われることを前提に、早期に運転再開されることが適切です。

また、「もんじゅ」は高速増殖炉研究開発にとって必要不可欠な場であり、内外の研究者に広く開放しつつ、中核的な施設として研究開発を実施することが必要です。

(2) その他の研究開発施設

F B Rサイクルの実用化への研究開発を進めるには、それを支える幅広い基盤的研究が並行してなされることが必要であります。このため、高速実験炉「常陽」や核燃料サイクル関連施設を使用してF B Rサイクルに関する各種の研究開発を、国内外の研究機関が協力して実施していく必要があります。

① 「常陽」

F B Rサイクルの研究開発において、「常陽」は、わが国初の高速増殖炉として、実データに基づいて「もんじゅ」及びその後の高速増殖炉開発に必要な技術的課題を摘出し、その解決に貢献するとともに、高速中性子の照射による新型燃料・材料の開発や革新的技術を取り入れた機器等の開発にも有効活用することを目的とした研究開発施設と位置付けることができます。

特に高速増殖炉の実用化に向け、過渡照射や限界照射並びに実績の少ない燃料の先行照射、運転時の安全性を実証する試験等、難度の高い試験に積極的に取り組むことが重要です。

②リサイクル機器試験施設（R E T F）

R E T Fは、工学規模での高速増殖炉燃料再処理技術確立に向けた研究開発を行う施設であり、C P Fを用いた基盤研究の成果、実用化戦略調査研究の結果等を踏まえ、その方向性を早期に明確にする必要があります。

③その他の施設

プルトニウム燃料開発施設、燃料及び材料の照射後試験施設、ナトリウムの試験研究施設等による基盤技術研究を行うとともに、ソフト技術の高度化に努めることが必要です。

3. 5 実証炉以降の開発

実証炉の具体的計画については、実用化に向けた研究開発の過程で得られる種々の成果等を十分に評価した上で、その決定が行われることが適切です。

また、高速増殖炉の実用化にあたっては、安全確保を大前提に、経済性を追求しつつ、実用化時期を含めた開発計画について柔軟に対応していくことが適切です。

3. 6 考慮すべき点

（１）国民合意と理解促進

F B Rサイクルの研究開発についてはもちろんのこと、原子力研究開発利用を推進するに当たっては、その意義及び進め方等についての立地地域社会の理解をはじめとした国民レベルでの合意形成が必要不可欠です。特に立地地域社会の理解を得るためには、地域の自主的努力を支援するよう地域振興等を行い地域社会との共存を図っていくことが重要です。このため研究開発の意義及び進め方、施設の安全性等について、国をはじめとする関係者が情報公開に努めることはもちろんのこと、説明会、シンポジウム等の様々な機会を通じて一般の方々の理解のための説明責任を十分に果たしていかなければなりません。

また、「もんじゅ」事故、J C O臨界事故により、地元をはじめとする国民の不安感、不信感が高まっており、国をはじめとして、関係者は、その信頼回復に努めなければなりません。

（２）核不拡散の努力

我が国の原子力の研究、開発及び利用は、平和の目的に限っています。核不拡散については、我が国は、原子力施設等について、国際原子力機関（I A E A）の保障措置上の厳しい監視を受け入れていきます。また、余剰プルトニウムを持たないことを世界的に宣言しており、

プルトニウムを単に増殖させるのではなく、生産と消費のバランスをとっていくことも重要です。さらに、プルトニウム等が盗まれないようにする核物質防護についても、核物質防護条約に加盟し、世界の国々と協力して対策をとっています。

F B R サイクル技術の研究開発においてもこれまで同様、適切な保障措置を受け、核物質防護技術を開発・利用することにより、今後とも各国からの疑念を招かないように努力することが基本です。

3. 7 原子力政策円卓会議の提言について

「もんじゅ」の早期運転再開は、原子力政策円卓会議でも提言されています。同提言にある「その後の処置」に関する選択肢 ()、()、() については、() の「一定期間研究開発を行い必要なデータを得た上で廃炉する」は最終的には実行することとなるとしても、技術的選択肢すなわち柔軟性の確保の観点から、() の「一定期間研究開発を行った上でその処置を判断する」を選択することが妥当です。

4. 高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクル研究開発の進め方

4. 1 実用化戦略調査研究

(1) 目的

高速増殖炉及びこれに関連する核燃料サイクルに関する技術的な選択肢について経済性等の評価を行い、F B R サイクルの実用化像を絞り込み、その研究開発計画を早期に提示することを目的に、開発に必要な人、資金等の資源を有効活用し、効率的に研究開発を進めるという観点から、平成 11 年よりサイクル機構と電気事業者が一致協力して「実用化戦略調査研究」を実施しており、また既に電中研と原研も参画しています。

(2) 実用化戦略調査研究の進め方

「実用化戦略調査研究」では、安全の確保を大前提として軽水炉をはじめとする他電源に対し競争力のある F B R サイクル技術を提示するため、幅広い選択肢について、F B R サイクルとして適切な実用化像とそこに至るための研究開発計画を明示します。高速増殖炉の炉型選択については冷却材(ナトリウム、鉛、ガス等)、出力規模(大型、中小型炉等)、燃料形態(化合物燃料 (MOX 燃料、窒化物燃料)、合金燃料 (金属燃料) 等)について評価するとともに、高転換炉、高温ガス炉、加速器等のオプションについても比較検討を行う。また、核燃料サイクルについては燃料製造法(ペレット法、射出成形法、振動充填法等)、再処理法(湿式法、乾式法等)、サイクル施設の配置方式(集中型、炉との一体型)について評価を行う。評価の指標については、安全性、経済性、資源の有効利用、環境負荷低減、核不拡散性の 5 つの観点に加えて、技術実現性についても重要な視点であり、各選択肢における現状の技術レベル、実用化までの開発期間及び投資資金が考慮されるべきです。

F B R サイクルとして適切な実用化像とそこに至るための研究開発計画を早期に明示し、その結果について原子力委員会が評価する必要があります。

4. 2 基盤技術の研究開発

大学を含め、サイクル機構、電気事業者、電中研、原研の各機関は、高速増殖炉及び核燃料サイクル技術に関連する裾野の広い基盤的な研究開発を継続していくことが必要です。

高速増殖炉に関しては、プラント設計のための設計基準や解析コード類及び安全評価のための解析手法等の整備、さらにマイナーアクチニドの燃焼や長寿命核分裂生成物の核変換等を対象とした炉物理試験や核データファイルの整備及び燃料の物性データの整備等の基盤的な研究開発を進めるべきです。

核燃料サイクル技術に関しては、ペレット法、射出成形法、振動充填法等の各種燃料製造法について、また湿式法、乾式法等の各種再処理法について基盤的な研究開発を進めるべきです。

4. 3 長寿命核種の分離変換技術の研究開発

分離変換技術に関しては、サイクル機構と電中研は高速増殖炉を中心とする一つの核燃料サイクルの中で発電とマイナーアクチニド等の核変換を同時に行うことを目指す発電用高速炉利用型の技術について、原研は商用発電サイクルとADSやABR等を中心に据えた核変換サイクルの二つのサイクルからなる階層型の技術について、システム設計や実現性のある核燃料サイクルへの分離変換技術システムの導入シナリオを検討しつつ、基礎基盤的な研究開発を着実に進めます。さらに、本技術は核燃料サイクルと不可分であり、研究開発の推進にあたっては、核燃料サイクル全体を視野に入れ、その研究開発と整合性を念頭に置きつつ、柔軟に進めていくことが重要です。

4. 4 技術評価データベースの整備

研究開発計画を的確に見直していくためには、研究開発成果を的確に評価していくための技術評価基盤の整備が不可欠であり、そのためには技術評価データベースを整備する必要があります。

技術評価データベースには、実プラントの設計、製作、運転、保守に関する技術情報等を含め、これまで各機関が蓄積してきた研究開発成果に関する技術情報を広く集め、共有化する必要があります。

技術評価データベースについては、まず各機関が自ら取りまとめ、その結果をサイクル機構が中心となって集約し、透明性を確保しつつ整備することが重要です。

4. 5 国際協力の具体的展開

FBRサイクルの実用化を目指し、効率的に研究開発を進めるためには、共同研究等を通じて国内のみならず海外の成果、人材及び施設を活用することが重要です。

(1) フランス

「高速増殖炉に関する日仏専門家会合」等を通じ、サイクル機構、電気事業者、電中研、

原研の各機関はフランスの研究機関と将来炉における経済性向上ならびにプラント性能向上に関する共同研究、将来炉における安全性向上に関する共同研究、「常陽」及びフェニックス炉を用いたプルトニウム、マイナーアクチニドの燃焼及び長寿命核分裂生成物の核変換(消滅)に関する共同照射試験研究等に関する協力を着実に進めていくことが重要です。

(2) ロシア

サイクル機構、電気事業者、電中研、原研の各機関はロシアの研究機関と「高速増殖炉に関する日露専門家会合」等を通じ、乾式再処理技術と振動充填法による燃料製造技術等の核燃料サイクル技術に関する研究、ロシアの高速増殖炉を用いた高燃焼度燃料の照射試験研究、核データ及び炉物理分野等について密接に協力関係を進展させることが望めます。また、サイクル機構は燃料製造に係る研究開発の一環として、ロシアの核兵器解体に伴う余剰兵器プルトニウムをロシアの高速増殖炉BN-600で燃焼させる計画へ参画しており、核軍縮及び核不拡散への貢献の観点も考慮しつつ、本計画を通じて得られる技術成果を「実用化戦略調査研究」等に反映していくことが重要です。

(3) その他

今後は、原子力エネルギー研究イニシアチブ(NERI)に代表される米国の新しい動きにも注視しつつ積極的に協力関係を深めることが重要です。また、高速増殖実験炉を建設する段階に至っている中国等のアジア各国との人的交流も含めて総合的に国際協力を進めていくことが重要です。

4. 6 「もんじゅ」を活用した研究開発

(1) 「もんじゅ」の役割

「もんじゅ」については、FBRサイクル技術を実証する中核的役割を果たすことが期待されます。発電プラントとしての性能を確認するとともに運転経験の蓄積と技術改良を行い、実用化に向けた技術的可能性を評価する「原型炉」としての目的を達成するために、ナトリウム漏えい事故の損傷部の改修ならびに再発防止のための安全対策の措置を行った後に早期に運転を再開し、増殖性能の確認や高燃焼度燃料の実証、さらに運転、保守経験を通じた蒸気発生器等の大型ナトリウム機器の性能や信頼性の実証等ナトリウム取り扱い技術の確立を目指した研究開発を進めることが重要です。また、「もんじゅ」を開発するにあたり蓄積されてきた設計基準、設計コード等の設計手法や安全評価のための解析手法の妥当性が「もんじゅ」の運転を通して検証される意義は大きいといえます。

「もんじゅ」では実用化に向けた研究開発において要求される大型の燃料集合体での照射等が可能であるため、マイナーアクチニドの燃焼や長寿命核分裂生成物の変換等環境負荷低減に関するデータを幅広く蓄積することが重要です。

(2) 「もんじゅ」における国際協力

「もんじゅ」は国際的に見ても発電施設を有する貴重な高速増殖炉プラントであり、ここで得られる運転・保守データ及び照射・燃焼データ等は海外における高速増殖炉に係る研究

開発に資する重要なデータとして期待されます。したがって、「もんじゅ」及びその周辺施設を国際協力の拠点として整備し、「もんじゅ」における研究開発は、海外技術者に開かれた体制で進め、その成果を広く国内外に発信することが重要です。

4. 7 その他の研究開発施設を活用した研究開発

(1) 「常陽」

サイクル機構の「常陽」は、現在照射性能を高めるために熱出力 1 4 0 MW の炉心への改造等を内容とする MK-III 計画を進めており、その後実用化を想定した高燃焼度燃料やマイナーアクチニド含有燃料等の新型燃料の照射試験や燃料の安全性確認試験等を進めています。

また、高速増殖炉の実用化に向け過渡照射や限界照射ならびに実績の少ない燃料の照射等、難度の高い試験に積極的に取り組むことが重要です。

さらに、「常陽」は高速中性子の照射場として有用かつ貴重な施設であり、高速増殖炉関連技術のみならず核融合等の異分野においても大学や国内外の研究者への利用に供することも期待されます。

(2) リサイクル機器試験施設 (R E T F) 及び高レベル放射性物質研究施設 (C P F)

高速増殖炉燃料の再処理技術確立に向けた工学規模の研究開発を行うため、C P F を用いた基盤研究の成果、「実用化戦略調査研究」における結果等を踏まえ、研究開発の方向性を早期に明確化した上で R E T F の建設を進めます。

C P F については、先進的再処理プロセスの研究開発や分離変換技術の研究開発を中心とする多様な高速増殖炉燃料の再処理技術に関する基礎基盤研究のための試験施設として活用され、その成果を「実用化戦略調査研究」や分離変換技術の研究開発に反映することが重要です。具体的には、先進的再処理プロセスの開発については、簡素化湿式法及び乾式法について安全性と経済性を追求するプロセス、廃棄物量を低減化するプロセス、核不拡散性を考慮するプロセス等の高度化する再処理プロセスを開発していくこと、また分離変換技術の研究開発としては、マイナーアクチニドや長寿命核分裂生成物の回収技術に関する基盤的な研究開発を実施することが期待されます。

(3) その他の基盤技術の研究開発施設

原研の高速炉臨界実験装置 (F C A) はプルトニウム燃料を利用した我が国唯一の臨界実験装置であり、炉心構成に柔軟性を持つ等の特徴があり、高速増殖炉に関する基盤的な研究開発を行っています。また、軽水臨界実験装置 (T C A) を利用し、低減速スペクトル炉ならびに分離変換技術に関する基盤的な研究開発も行っています。

サイクル機構の各種ナトリウム試験研究施設等を用いた試験を継続し、高速増殖炉の設計のための解析コード類や安全評価のための解析手法を整備していくことが重要です。