

## 高速増殖炉サイクルの研究開発方針について

－「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」の評価報告書－  
骨 子（案）

### 第一部 高速増殖炉サイクルの実用化に向けて

#### 1. 高速増殖炉サイクルのビジョン

##### (1) 現状と課題

- ① エネルギーセキュリティの確保
- ② 地球環境問題（CO<sub>2</sub>、リサイクル社会）
- ③ 電気エネルギー供給のベストミックスの必要性
- ④ 原子力の役割
  - ・ 必要性（二酸化炭素の発生が少ない、基幹電源）
  - ・ 安全性が前提、放射性廃棄物の管理、核拡散抵抗性の強化

##### (2) 高速増殖炉サイクルが担う役割

- ・ 高速増殖炉サイクルが実用化された際に担う役割とは、安全性と経済性を有し、
  - －基幹電源として、2050年頃以降、順次軽水炉をリプレースし、総発電量の30～40%（5,800万kWe）以上を担う。
  - －高速増殖炉サイクルが確立すると、運転に必要な核燃料を海外から輸入不要（自己完結型のエネルギー）
  - －放射性廃棄物中に長期に残留する放射エネルギーや放射性廃棄物発生量が軽水炉サイクルに比べ大幅に低減
  - －核不拡散性が軽水炉サイクルより高いシステムを確立し、平和利用の堅持

#### 2. 国内外の動向

##### (1) 諸外国における研究開発計画の急進

- ・ 原子力エネルギー利用へ回帰する傾向。
- ・ 特に高速増殖炉に関しては、① 米国（GNEP）、フランス（シラク大統領の発表）、② ロシア、③インド、中国による急激な拡大計画

## (2) 日本は高速増殖炉サイクルを推進

- ・ 高速実験炉「常陽」、高速増殖原型炉「もんじゅ」。
- ・ 小規模ながらサイクルを閉じた経験あり。

## (3) 日本の技術的競争力

- ・ 我が国は、原型炉「もんじゅ」を擁し、実用化戦略調査研究により高速増殖炉サイクルの研究開発を継続してきており、国際競争力はトップグループ。
- ・ 東海再処理工場やMOX燃料製造施設の建設・運転実績。六ヶ所再処理工場の建設・試運転実績、今後の運転・維持経験の蓄積も期待。
- ・ メーカーに維持されている高速増殖炉の設計・製造技術は、現在世界でトップクラス。

# 3. 進むべき道筋

## (1) 高速増殖炉サイクルに関する研究開発の必要性

- ・ 我が国のエネルギーセキュリティ確保、地球環境保全、平和利用の堅持を目的とした研究開発が必要。
- ・ 我が国は、世界的に競争力のあるリーディングカントリーであり、また、国内外で市場の拡大が展望され、イノベーション力の発揮が期待できる分野。

## (2) 技術的な開発目標

- ・ 「安全性」、「経済性」、「環境負荷低減性」、「資源有効利用性」、「核拡散抵抗性」。
- ・ これらは、日本が1999年に提唱し、現在はGIFにおいても採用され、高速増殖炉サイクルの研究開発において世界の趨勢。

## (3) 現在の知見で見通される高速増殖炉サイクル

- ・ 現時点において想定されている最も可能性のある実用プラントは、

次のようなもの。

① 発電施設（原子炉）

- ・ 炉型：ナトリウム冷却高速増殖炉（現在は軽水炉）
- ・ 燃料：MA\*含有MOX燃料（現在はウラン酸化物燃料）

\*：マイナーアクチニド

- ・ 電気出力：150万kWe（ツインプラント）
- ・ 将来の軽水炉に比肩する建設コスト
- ・ 2050年頃から実用炉を導入して軽水炉をリプレース。2110年頃までの約60年間（軽水炉の寿命）でリプレースを完了。
- ・ 原子炉の導入基数とそれに伴う燃料（プルトニウム）量のバランスや将来の不確実性を考慮した柔軟性の確保から、当初は増殖比1.2程度（資源重視）。全ての原子炉が高速増殖炉になった状況では増殖比は1をわずかに上回る程度（経済性重視）。

② 燃料サイクル施設（再処理施設、燃料製造施設）

- ・ 先進湿式法再処理（MAと混合することにより核拡散抵抗性を強化）
- ・ 簡素化ペレット法燃料製造（工程を現在より簡素化）
- ・ MAをリサイクルすることで放射性廃棄物の長期的毒性が大幅に低減

(4) 研究開発の進め方（一部未検討）

- ・ 研究開発に際し、国（文科省、経産省）、原子力機構、ユーザー（電気事業者）、メーカー間において協議会を設置し、研究開発段階から実証段階への円滑な移行に向けた課題を検討する。具体的には、ユーザーからのリクワイメントを反映させることなどが考えられる。その際、研究開発機関、ユーザー、メーカーによる適切な技術知見の分担が重要。
- ・ チェックアンドレビューを行いつつ、段階的な研究開発を実施。国際的な動向を踏まえると、今後5年、10年の研究開発の着実な実施が重要。国際標準を目指すためにも国際的なチェックアンドレビューを検討する。
- ・ 2010年、2015年頃に行われる政策判断に必要な技術的な知見を提供。具体的には、将来の高速増殖炉サイクルの概念をより明確にすること、革新技术の成立性を評価し採用すべき革新技术あるいは代替技術を提案すること、研究開発段階から実証段階へ移行するにあたり

実証施設等の概念検討・設計すること、その後の研究開発計画を提示すること。

など

## 第二部 高速増殖炉サイクルの技術的な検討

### 4. 高速増殖炉サイクル概念の選択

#### (1) 選択に当たっての基本的な考え方

##### ① 「選択と集中」による研究開発の効率化が肝要

##### ② 「柔軟性」の確保が重要

- ・ 社会環境の変化への対応が必要
- ・ 研究開発の進展に伴い、克服困難な課題が明らかになった場合への配慮が必要
- ・ 基礎基盤的な研究から新たな知見が生み出されてきた場合への配慮が必要

##### ③ 選択の考え方

###### (政策的な判断の視点)

- ・ 我が国の基幹電源として実用化するものであること
- ・ 原子炉、再処理、燃料製造の整合性がはかられていること
- ・ ユーザーである電気事業者による選択が視野に入りうること
- ・ 我が国メーカーの産業競争力に資すること

###### (技術的な判断の視点)

- ・ 原子炉、再処理、燃料製造それぞれの候補概念が、開発目標及び設計要求に適合すること
- ・ 革新的な技術の成立性が見通せること
- ・ 革新的な技術に対しては、開発リスクを考慮して既存技術による代替技術が用意されていること

###### (選択目標)

- ・ 現在の知見で実用施設として実現する可能性が最も高いと考えられる、炉型、再処理法、燃料製造法の組み合わせから成る実用システム概念（「主概念」）を1つ選択する。
- ・ 現在の知見で実用施設として実現する可能性が認められるが、政策的な視点や技術的な視点から比較的不確実性のある、炉型、再処理法、

燃料製造法の組み合わせから成る実用システム概念（「補完概念」）を選択する。

- ・「主概念」及び「補完概念」以外については、多様な知と革新が期待され、原子力の裾野を広げる基礎研究とする。

## (2) 様々な候補概念の概要

### ① 高速増殖炉

- ア．ナトリウム冷却高速増殖炉（MOX燃料、金属燃料）
- イ．ヘリウムガス冷却高速増殖炉（窒化物燃料）
- ウ．鉛ビスマス冷却高速増殖炉（窒化物燃料）
- エ．水冷却高速増殖炉（MOX燃料）

### ② 再処理

- ア．先進湿式法（MOX燃料、窒化物燃料）
- イ．酸化物電解法（MOX燃料）
- ウ．金属電解法（金属燃料）

### ③ 燃料製造

- ア．簡素化ペレット法（MOX燃料）
- イ．振動充填法／スフェアパック燃料（MOX燃料）
- ウ．振動充填法／バイパック燃料（MOX燃料）
- エ．射出鑄造法（金属燃料）
- オ．被覆粒子燃料製造（窒化物燃料）

## (3) 候補概念の比較検討

### ① 高速増殖炉候補概念の比較検討

（開発目標適合性）

- ・ ナトリウム冷却炉がすべての設計要求に対して高いレベルで適合する可能性がある。金属燃料を採用した場合には更なる炉心性能向上が期待できる。

（技術的実現性）

- ・ ナトリウム冷却炉の開発課題が明確であり、また代替技術を準備することができることから、高い確度で実現性を見通すことが可能。

(参考トピックス)

- ・ ループ型炉とタンク型炉の比較
- ・ MOX燃料と金属燃料の比較

## ② サイクル技術候補概念の比較検討

(開発目標適合性)

- ・ 先進湿式法再処理と簡素化ペレット法燃料製造の組み合わせがすべての設計要求に対して高いレベルで適合する可能性があり、スケールアップ効果のため大規模施設の経済性が高い。

(技術的実現性)

- ・ 先進湿式法再処理と簡素化ペレット法燃料製造の組み合わせは実現性を見通すことが可能。

## (4) 候補概念の選定

### ① 主概念 :

- ・ ナトリウム冷却高速増殖炉 (MOX燃料)、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造

### ② 補完概念 :

- ・ ナトリウム冷却高速増殖炉 (金属燃料)、金属電解法再処理、射出鑄造法燃料製造

## 5. 主概念の今後の研究開発の進むべき方向

### (1) 開発目標、設計要求

#### ① 軽水炉体系から高速増殖炉サイクル体系への移行期の設計要求

- ・ 研究開発段階から実証段階への移行期や軽水炉体系と並存する移行期の施設のための研究開発を積極的に実施。

#### ② 開発目標、設計要求の間のバランス

- ・ 開発目標はそれぞれが独自の目的を持っている。どれかひとつの開発目標 (例えば「経済性」) との兼ね合いで他の目標を設定するものではない。

- ・ 開発目標を具体化するための設計要求については、全体のバランスをはかり適切に設定すべき。

③ 開発目標「安全性」に関する設計要求

- ・ 安全性の目安は、次世代軽水炉に比肩するものとすべき。
- ・ 最新の知見を踏まえ、安全性の向上に配慮すべき。  
(シビアアクシデント、耐震性、・・・)

④ 開発目標「経済性」に関する設計要求

- ・ 経済性の目安は、次世代軽水炉に比肩するものとすべき。  
(建設費、運転費、建設期間、稼働率、・・・)

⑤ 増殖性能

- ・ 柔軟性の観点から増殖比を1.2程度とすべき。

⑥ MA含有率5%の意味

- ・ 中間貯蔵された軽水炉燃料やプルサーマル燃料から回収されるMAを添加するため、燃料中の含有率は最大5%
- ・ 高速増殖炉の平衡サイクルにおける燃料中のMAの含有率は約1%

⑦ 長寿命核分裂生成物（LLFP）への考慮

- ・ LLFPの分離は基礎的な課題
- ・ 基盤的な課題として、高発熱性核種（セシウム、ストロンチウム）の分離技術の研究開発を実施すべき

⑧ 保守、補修性への考慮

- ・ 配置・機器設計の具体化・詳細化に際し保守、補修性への配慮が必要。
- ・ メンテナンスフリーの設計、取替機器の長寿命化および設計段階からの状態監視保全（CBM）技術、運転中保守（OLM）の適用を考慮すべき。

(2) 技術開発課題

(主概念においてキーとなる革新技術と代替技術)

- ・ ナトリウム冷却炉：13課題



- ・ 先進湿式法再処理＋簡素化ペレット法燃料製造：14課題
- ・ 代替技術
- ・ 革新技術の新たな芽

(高速増殖炉の研究開発における留意点)

#### ① 蒸気発生器

##### ア. 二重伝熱管の採用

- ・ 安全性及び信頼性の向上の観点から、二重伝熱管蒸気発生器を革新技術として開発。
- ・ 製作にあたってバラツキに留意すべき。

##### イ. 蒸気発生器の大型化と代替技術

- ・ 「もんじゅ」と同タイプの単管ヘリカル型蒸気発生器を代替技術とするが、大型化には懸念。そのため、他の方法も検討すべき。

##### ウ. 伝熱管と安全設計思想

- ・ 二重伝熱管の研究開発にあたり、安全設計上及び管理上の取り扱いが整理されることが必要。
- ・ 「もんじゅ」と同タイプの単管ヘリカル型蒸気発生器を代替技術とするが、大型化には懸念。そのため、他の方法も検討すべき。

#### ② 2ループ化

##### ア. 大口径配管の問題

- ・ 大口径化に伴い、振動特性のみならず、流動特性や製作性への配慮が必要。

#### ③ 主循環ポンプ組み込み型中間熱交換器

##### ア. 設計の際の判断基準

- ・ 二種類の機器の合体に伴い、新たに設計基準を検討すべき。

##### イ. 検査性への配慮

- ・ 検査性に関し、十分な配慮が必要。

(再処理の研究開発に関する留意点)

#### ① 晶析法

ア．基礎データの充実

- ・ 小規模ホット試験を行い、プルトニウムの挙動、核分裂生成物（FP）の挙動の確認が行われている。しかし、革新的な技術であり、基礎的なデータの充実が必要である。

イ．機器の大型化に伴う困難性

- ・ 固相と液相共存するプロセスでは、機器の規模が大きくなると不均一性の問題が顕在化する可能性が高いので、配慮が必要。

ウ．軽水炉燃料から回収される回収ウランの取り扱い

- ・ 晶析法で回収されたウランは低除染であり、軽水炉燃料から回収される回収ウランをそのまま貯蔵・再濃縮することは困難。従って、回収ウランの除染係数の設定の考え方が重要。
- ・ 軽水炉燃料から回収される回収ウランの活用方法に関する政策的位置付けを踏まえ、設計要求を見直す必要あり。

② ウラン、プルトニウム、ネプツニウムを一括回収する高効率抽出システムの課題

ア．機器の大型化に伴い、遠心抽出器に中性子吸収体を配置した場合の吸い込み性能

- ・ ロータ部の内側に中性子吸収体を挿入した場合の吸い込み性能への影響を慎重に検討することが必要。

イ．不溶解性スラッジの影響

- ・ 不溶解性スラッジへの対応に関し検討することが必要である。

③ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発

- ・ 残存するウラン、プルトニウム、ネプツニウムの挙動の把握と制御の検討が必要。

(燃料製造の研究開発に関する留意点)

① MAの取り扱い

- ・ 平衡サイクルでは燃料中のMA組成はネプツニウム/アメリシウム/キュリウム = 0.1%/ 0.7%/ 0.2%となる。しかし、軽水炉から高速増殖炉への移行期においては、この比率が変化すると考えられる。特に

キュリウムは発熱源となり取り扱いが困難であることから、MAの組成割合に対応して燃料製造が可能となるよう優先的に取り組むべき。

② ダイ潤滑成型

- ・ 潤滑剤を噴霧する方式としているが、量産技術として成立するか検討が必要。

(共通事項)

① 保障措置技術分野

- ・ 今後の研究開発に当たっては保障措置技術の検討を十分に行うべきである。

② 知識管理を意識した研究開発手法（シミュレーション）

## 第三部 今後の進め方

### 6. 2015年までの研究開発計画

#### (1) 基本的な考え方

##### ① 将来ビジョンを明確化するための概念設計活動の継続

##### ② 実用化過程のビジョンの明確化

- ・ 現在は、研究開発段階から実証段階への移行期における実証施設及び必要となる試験施設・設備等の概要等が明確にされていないことから、これを明らかにする研究開発を行う。
- ・ 研究開発に際し、国（文科省、経産省）、原子力機構、ユーザー（電気事業者）、メーカー間において協議会を設置し、研究開発段階から実証段階への円滑な移行に向けた課題を検討する。具体的には、ユーザーからのリクワイメントを反映させることなどが考えられる。

##### ③ 研究開発課題の重点化

- ・ 主概念のキーとなる革新技术の研究開発に資源を集中。
- ・ 代替技術の研究開発は革新技术が採用できないと判断した後に必要に応じて研究開発を始める。
- ・ 主概念の更なる性能向上を目指した革新技术の新たな芽や補完概念の研究開発は基盤的な研究として実施。
- ・ その他の概念については、多様な知と革新が期待され、原子力分野の裾野を広げる基礎研究とし、これまでの実用化を目指した研究開発を中止あるいは大幅に縮小する。

##### ④ 段階的なチェックアンドレビュー

- ・ 「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」は、戦略調査のための研究から、実用化に向けた研究開発にその性格をシフトし、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発（仮称）」として、研究開発を加速。
- ・ 2010年及び2015年にチェックアンドレビューを実施。

#### (2) 実用化までのロードマップ

##### ① 将来ビジョン

- ・ 第一部に示したように、実用高速増殖炉導入以降を将来ビジョンとして明らかにすることは、将来ビジョンを国民に明らかにする観点から重要。

② ロードマップの想定

- ・ 将来ビジョンの実現に向けたロードマップが必要。
- ・ チェックアンドレビューによりロードマップは随時見直されるもの。特に、2010年及び2015年において見直しが重要。
- ・ 研究開発の進め方の想定等により、複数のロードマップが考えられるが、そのうちの一つを紹介。(2025年実証炉運転案)

③ ロードマップの内容

- ・ 実証施設の建設、燃料供給バランス、経産省原子力部会のシナリオとの関係などを解説

(3) 2010年と2015年の達成目標

(資料) 2015年までの研究開発線表

7. 2015年までの研究開発の進め方 (未検討)