

高速増殖炉に関する中間の論点整理

平成 19 年 3 月 20 日

高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会

1. 基本的考え方

- 「高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会」においては、昨年 8 月以来、実証段階への移行にあたっての課題の 1 つである、ナトリウム冷却高速増殖炉の実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのあり方について、計 7 回にわたり検討を行ってきた。ここで、中間的な論点整理を行い、現時点で想定されるステップのイメージを示すこととする。
- ただし、高速増殖炉は未だ研究開発段階にあり、現時点でこうしたステップ及びその内容を全て確定することは困難である。このため、現時点で決定できない事項については「論点」、これを決定していく過程で大きな判断を要する時期を「判断ポイント」として整理し、関係者間の認識の共有を図ることとする。具体的には、以下のタイミングが「判断ポイント」に該当する。
 - ・ 大きな予算を要する活動を決定する時期
 - ・ 商業炉やそれに向けた実証炉に係る新たな活動を開始する時期
 - ・ 我が国の国際協力の方策を検討する観点から、他国がプロトタイプの炉に関する仕様や協力体制等について決定する時期こうした「判断ポイント」においては、国、日本原子力研究開発機構、電気事業者及びメーカー等の関係者を含め、我が国全体での議論を行い、判断していくことが必要である。
- 国、日本原子力研究開発機構、電気事業者及びメーカー等の関係者は、本論点整理の内容を研究開発計画に反映するとともに、「論点」や「判断ポイント」を十分に意識しつつ、遅滞なく、必要な取組を推進していくべきである。また、国は、本論点整理に示したステップを実現するため、必要な予算確保に向けて今後特段の取組を行っていくことが求められる。
- こうした取組を進めるにあたっては、国、日本原子力研究開発機構、電気事業者及びメーカー等の関係者が、個々の利害のみにとらわれることなく、全体の最適化に向けてそれぞれ 1 歩ずつ踏み出し、皆が応分の役割を負担していくことが最も重要である。

2. 実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのあり方

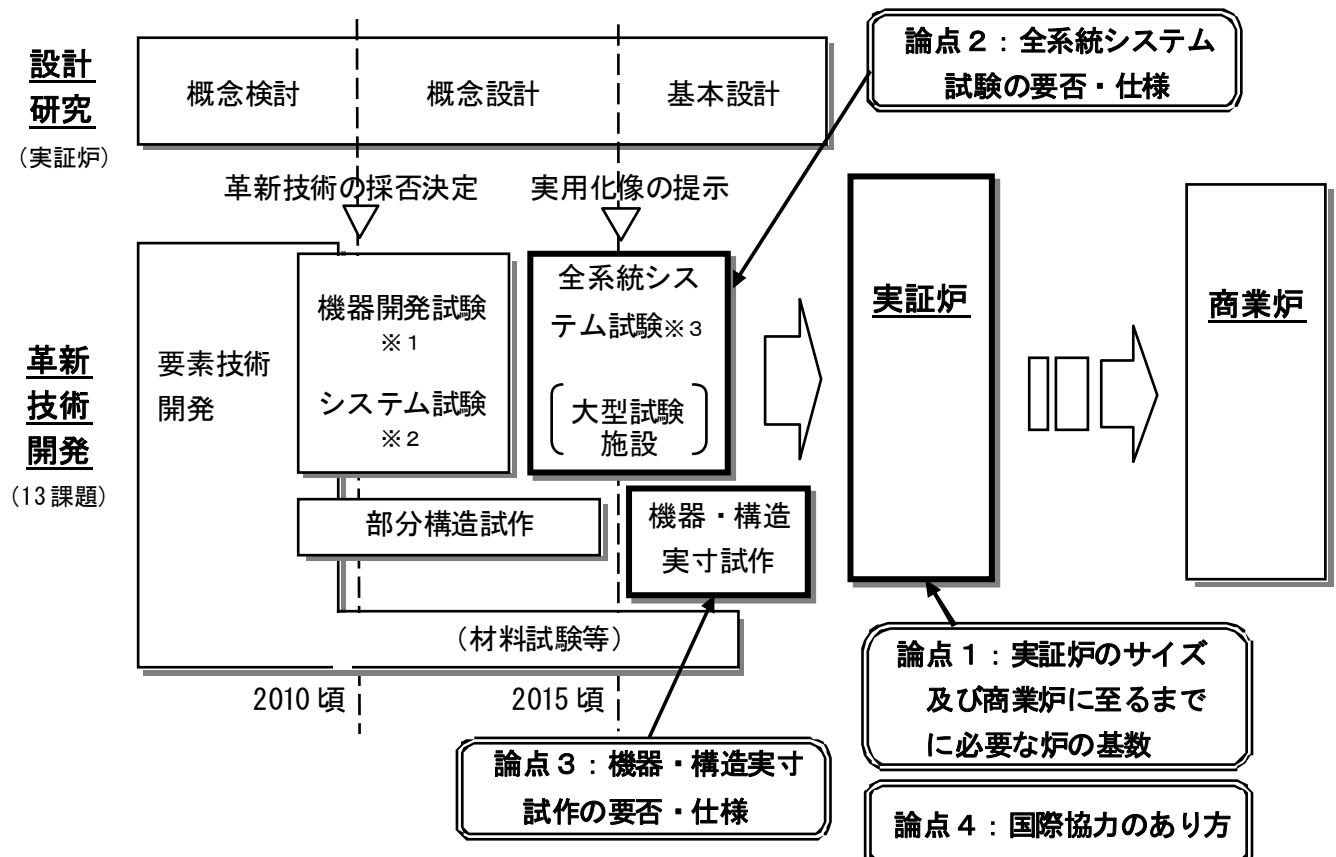
- 「原子力立国計画」においては、商業炉に至るまでの実証ステップについて、①炉を 2 基建設し段階的に大型化する案、②「もんじゅ」の改造炉に加え炉を 1 基建設する案、③コンポーネント試験のための大型試験施設に加え炉を 1 基建設する案、の 3 案が示されている。本研究会では、これらをベースとして、実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのあり方について、議論を行った。

- 研究会での議論においては、まず 3 案のうち②については、「もんじゅ」の改造のために多額の費用（大型試験施設の建設費の 3～4 倍程度）と長期間（改造された「もんじゅ」の運転再開は 2030 年頃と見込まれる）を要することから、選択肢としては適さない、との意見が出された。
- また、①案及び③案のいずれの場合においても、要素技術開発から 1 基目の炉の建設に至るまでには、機器開発試験等の各種試験や、機器・構造の各種試作などを経て、段階的に革新技術の性能や信頼性、製作性等の確認を進めていくことが必要、との意見が出された。
- こうした意見を踏まえれば、実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのあり方のイメージについて、下図のとおり設定することが適当であり、この実現を目指して、研究開発等の必要な取組を進めていくべきである。その際には、判断ポイントを設けて段階的に判断を行い、必要に応じて計画の見直しを行うことが必要である。
- なお、本ステップのうち、以下の項目については、比較的早い時期に実施すべきものであり、国、日本原子力研究開発機構及び事業者等の関係者は、この実現に向けて必要な取組を進めることとする。

比較的早い時期に実施すべき項目

- 機器開発試験・システム試験、部分構造試作
- 当面の概念検討の対象とするサイズを 50～75 万 kW の範囲とした上で、実証炉の概念検討を実施

<実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのイメージ>



※ 1 機器開発試験

主要機器・構造単体で、機能や設計成立性を評価するための試験。ナトリウム試験に加え、一部水による流動試験がある。

※ 2 システム試験

冷却系（ポンプ組込型熱交換器、中間熱交換器～配管～SG～水・蒸気系）を対象とし、ポンプ軸、伝熱管は実機同寸法、流量及び交換熱量はスケールダウンした試験体を試作・接続し、主要系統の特性評価を行うナトリウム試験。熱出力は 5 万 kW 程度を想定。

※ 3 全系統システム試験

原子炉の全系統（原子炉容器～配管～ポンプ組込型熱交換器～配管～SG～水・蒸気系）の縮尺モデルを試作・接続し、熱流動、特に機器間相互の影響を見る大型ナトリウム試験。熱出力については 5～30 万 kW 程度を想定。

3. 論点と判断ポイント

- 上記ステップのうち、以下の項目については、その実施の要否や内容を現時点では決定できないことから、将来的に決定していくべき「論点」とする。

論点 1 商業炉に向けた実証炉のサイズ及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数

論点 2 全系統システム試験の要否・仕様

論点 3 機器・構造実寸試作の要否・仕様

加えて、全体ステップのあり方に大きな影響を及ぼす項目として、

論点 4 国際協力のあり方

についても、「論点」と位置づける。以下、それぞれの「論点」について、研究会において出された意見を整理した上で、「判断ポイント」及び判断に必要な技術的知見・データを示すこととする。

- なお、「論点」について将来判断を行う際には、その時点での予算に係る状況、国内外エネルギー諸情勢と投資環境（ウラン需給状況、ウラン価格の長期見通し、等）、燃料サイクルの研究開発の進捗状況、海外の技術動向、国際協力の進展状況、実証炉の建設に必要な諸条件の整備状況（立地点、等）等も考慮し、実証主体のあり方や実証炉のリスク分担（国、メーカー、電気事業者等）のあり方に係る議論も踏まえつつ、総合的に検討を行うことが必要である。また、研究開発の具体的な目標を示す商業炉の設計要求についても、研究開発の進捗や状況の変化等に応じ、ユーザーとの協議により、柔軟に見直しを行っていくことが必要である。

論点 1 商業炉に向けた実証炉のサイズ及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数

- ・ 本論点については、商業炉に向けた実証ステップについて、
 - ①75 万 kW クラス炉→商業炉（150 万 kW クラス）
（炉を 1 基建設する案）
 - ②50～60 万 kW クラス炉→100 万 kW クラス炉→商業炉（150 万 kW クラス）
（炉を 2 基建設し段階的に大型化する案）の 2 つの選択肢が提示された。
- ・ 研究会での議論においては、ナトリウム試験やシミュレーションで 75 万 kW 程度の実証炉の信頼性は確保できるため、開発期間や費用の観点から①案とすべき、という意見と、軽水炉導入期の大型化ステップを参考にすれば、信頼性確保のためにはループ熱容量で 3 倍程度、電気出力で 1.5～2 倍程度の範囲とすることが望ましい、として②案を支持する意見が出された。また、150 万 kW 程度の商業炉に向けて経済性・信頼性を実証するためには、実証炉は 70 万 kW 程度以上の規模が必要、との意見も出された。
- ・ 本論点の判断においては、革新技術開発の成果に基づくナトリウム冷却炉の技術的成立性を確認した上で、「もんじゅ」やナトリウム試験からどの程度の大型化ならば、実証炉の信頼性が確保できると考えるかがポイント。しかしながら、実証炉の概念検討は未着手（来年度より開始）であること、要素技術開発の成果が十分揃っていないことなどから、現時点では判断のための技術的知見が十分でない状況にある。一方、2011 年頃から本格的な設計研究である実証炉の概念設計が開始されるが、この時点で概念設計の対象とする実証炉のサイズは暫定されていることが必要である。
- ・ 以上を踏まえ、来年度からの概念検討では、実証炉のサイズを 1 つに決定せず、まず 75 万 kW クラスの実現を目指して検討を行い、併せて 50 万 kW クラスの評価も実施することとする。この結果を踏まえ、2011 年頃からの概念設計への着手に間に合うタイミングで、商業炉を見越して、採用する革新技術を決定するとともに、概念設計の対象とする実証炉のサイズ及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数を暫定（判断ポイント 1－1）する。また、これを踏まえ、必要に応じ、その後の研究開発計画の見直しを行う。なお、こうした概念検討・概念設計は、並行して実施する要素技術開発と一体で実施する必要がある。
- ・ その後、2015 年頃の基本設計への着手に間に合うタイミングで、商業炉を見越して、実証炉のサイズを含むプラント仕様及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数を確定（判断ポイント 1－2）する。また、これを踏まえ、必要に応じ、その後の研究開発計画の見直しを行う。
- ・ 実証炉のプラント仕様や商業炉に至るまでに必要な炉の基数の判断は、どの要素技術を、どの段階で実証するのか、ということを明確にした上で行うことが必要である。
- ・ なお、こうした判断ポイントにおいては、要素技術開発の進捗状況や「もんじゅ」から得られる運転・保守に係る知見、燃料サイクルの研究開発の進捗状況、海外の技術動向や国際協力の進展状況等も考慮し、実証主体のあり方や実証炉のリスク分担（国、メーカー、電気事業者等）のあり方に係る議論

も踏まえつつ、総合的に判断を行うことが必要である。また、実証炉を含む商業炉に至るまでの炉における、関係者間（国、メーカー、電気事業者等）の責任・リスクの分担のあり方（②のケースの場合の炉の位置付けを含む）については、「原子力立国計画」（2006年8月総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会）における整理も踏まえつつ、実証プロセスの進捗に支障を来さない時期までに決定されるべきである。

（判断ポイント１－１） 概念設計の対象とする実証炉のサイズ及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数を暫定、採用する革新技術を決定

（2011年頃の概念設計への着手に間に合うタイミング）

＜判断時期＞

～2010年頃 革新技術の開発状況、概念検討を踏まえ、研究会、五者協議会で具体的な進め方を継続議論

2010年頃 2011年度頃の予算要求で、実証炉のサイズ及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数を暫定、採用する革新技術を決定した上で、概念設計予算を要求

2011年頃 概念設計開始

＜判断に必要となる技術的知見・データ＞

- ・ 商業炉の概念設計研究結果によって得られる、システム全般の技術課題の評価結果。
- ・ 実証炉の概念検討によって得られる、ナトリウム試験や「もんじゅ」から実証炉への大型化に伴う機器・構造の製作性に関する評価結果。大型化に伴うリスク分析情報。
- ・ 要素技術開発における実験及び解析によって得られる、革新技術の構成要素に関する機能データ。
- ・ 要素技術開発及び過去の製造経験が乏しい主要な箇所（高クロム鋼製薄肉大口徑配管、厳しい熱過渡を受ける構造部位、等）の部分構造試作によって得られる、機器・構造の製作性に関する情報。
- ・ 商業炉の概念設計研究や実証炉の概念検討によって得られる、代替技術に関する課題の評価結果。

（判断ポイント１－２） 実証炉のサイズを含む仕様及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数を確定

（2015年頃の基本設計への着手に間に合うタイミング）

＜判断時期＞

2015年頃 実証炉のサイズを含む仕様及び商業炉に至るまでに必要な炉の基数を決定し、基本設計の開始を判断

＜判断に必要となる技術的知見・データ＞

- ・ 要素技術開発や部分構造試作によって得られる、安全、構造、耐震等に係る指針、規格・基準策定の案及び根拠データ。加えて、実証炉に係る添８、添１０相当の設計検討結果。
- ・ 機器開発試験やシステム試験（実施する場合は全系統システム試験を含む）、部分構造試作等によって得られる、革新技術に係る実用性（実用

技術としての信頼性等)の評価結果。

- ・ 商業炉の概念設計研究や要素技術開発、各種試験や試作によって得られる、商業炉の成立性の評価結果。

論点2 全システム試験の要否・仕様

- ・ 研究会での議論においては、実証炉の信頼性確保の観点から、全システム試験の実施が必要であり、可能な限り大きな熱出力で実施すべき、との意見と、実証炉の信頼性が機器開発試験、システム試験及びシミュレーションの組合せで確保でき、開発期間や費用の観点から全システム試験実施が不要となる可能性がある、との意見が出された。
- ・ 本論点の判断には、要素技術開発や機器開発試験（ナトリウム試験、水試験）において得られるコード（シミュレーション）検証データならびに機器単体や部分的に組み上げた構造要素試験から得られる機器や構造相互の干渉可能性を判断するデータが必要であり、これらは2010年頃までに取得される予定である。一方で、全システム試験を実施する場合、本データを基本設計に反映することとなるが、設計および施設建設に3年程度、有効な試験データの取得には最低1～2年を要することから、予算要求等のタイミングを考慮して、2010年頃までに判断することが必要。
- ・ 以上より、2010年頃に全システムナトリウム試験の実施の要否、及び実施する場合には仕様の判断を行う（判断ポイント2）こととする。なお、本判断にあたっては、その時点での予算に係る状況等を含め、総合的に検討を行うことが必要である。

（判断ポイント2） 全システム試験の要否・仕様を決定（2010年頃）

＜判断時期＞

～2010年頃 機器開発試験、水試験の結果、システム試験、全システム試験の計画検討結果を踏まえ、研究会、五者協議会で継続議論

2010年頃 全システム試験の要否、必要な場合はその仕様を決定し、2011年度頃の予算要求で設計予算を要求（建設の予算は翌年度頃）

2011年頃 全システム試験の設計開始

＜判断に必要な技術的知見・データ＞

- ・ 要素技術開発、機器開発試験、並びにそれらによって検証された解析手法によって得られる、「機器相互の熱流動に係る干渉」の可能性に関する評価結果。
- ・ 自然循環特性や運転制御性を把握するために必要な試験内容（試験のシステム構成や出力規模）の検討結果。

論点3 機器・構造実寸試作の要否・仕様

- ・ 研究会での議論においては、特に大型機器・構造の製作性確認の観点から、建設の前段階で炉容器、SG、ポンプ組込型熱交換器等について、機器・構造実寸（フルモックアップ）試作を実施すべきとの意見が出された。これに対

し、研究開発段階で主要な部分構造試作を実施することから、ある程度の製作性確認は可能であり、フルモックアップ試作は不要となる可能性があるため、その要否は、部分構造試作や機器開発試験・システム試験での部分モデル製作の得られた知見を踏まえ、実際の機器製作に間に合うタイミングで判断することで十分に対応可能、との意見が出された。

- ・ 以上を踏まえ、部分構造試作が終了し、実際の機器製作に間に合うタイミングである 2015 年頃に、機器・構造実寸試作の要否、及び実施する場合には仕様の判断を行う（判断ポイント 3）こととする。なお、本判断にあたっては、その時点での予算に係る状況等を含め、総合的に検討を行うことが必要である。

（判断ポイント 3） 機器・構造実寸試作の要否・仕様の決定（2015 年頃）

＜判断時期＞

2015 年頃 機器・構造実寸試作の要否・仕様を判断

＜判断に必要なとなる技術的知見・データ＞

- ・ 部分構造試作やシステム試験等に供する部分モデル製作によって得られる、実証炉機器に関する製作の実工程における残余の課題の評価結果。

論点 4 国際協力のあり方

- ・ 研究会での議論において、米仏は我が国の実証炉と同様に 2020 年頃にプロトタイプ炉の運転開始を予定していること、両国とも国際協力の重要性を認識していることから、米仏との協力を重視すべきとの意見が出された。また、我が国の技術を世界標準にする観点からは、タイミングを逸することなく協力のあり方を検討し、アクションすべきであること、我が国がまず自身で炉の開発を着実に推進し、その上で技術を提案していくことが必要との意見が出された。
- ・ 以上を踏まえ、国際協力は、以下のような基本的な考え方に沿って推進することとする。
 - － 我が国が進めている高速増殖炉サイクル研究開発について、諸外国と目標を共有することを目指すこと
 - － 我が国の技術が世界標準となることを目指すこと
 - － 研究開発のリスクや資源負担の低減、研究開発に要する期間の短縮など、我が国にとって利益が明確であること
 - － 必要に応じ、二国間協力と多国間協力を適切に選択すること
 - － 情報、技術等を提示するにあたり、知的所有権の確保に留意すること
 - － 国際協力によって我が国の研究開発計画に悪影響が生じないよう留意すること（例えば、国際協力への過度の依存は、相手国の方針変更等によって我が国の計画に重大な影響を及ぼすリスクがある）
 - － 平和利用、核不拡散の担保、安全確保、核セキュリティの担保を求めること
- ・ 実証炉に向けた我が国の開発を着実に推進しつつ、米・仏のプロトタイプ炉開発のタイミングに留意して、例えば以下のような方法で、国際協力のあり方を

調整していく（判断ポイント4）。

- ① 技術の比較評価、設計検討
- ② 規格・基準類の国際標準化の推進
- ③ 革新技術の共同開発
- ④ 機器開発試験、システム試験の共同実施
- ⑤ 我が国概念を海外プロトタイプ炉へ組込むことによる全系統システム試験の代替実施
- ⑥ 海外プロトタイプ炉で採用した我が国の革新技術・システムの受注

（判断ポイント4） 国際協力のあり方

（米、仏の高速炉開発のプロトタイプ炉開発のタイミング、等）

＜判断時期＞

2008 年頃 米・仏との協力の範囲、我が国側の体制、役割分担等の判断
その後、必要に応じて適宜見直し

＜参考：現時点での海外の開発スケジュール＞

〔2008 年 6 月〕 G N E P における先進リサイクル炉等の仕様決定
〔2009 年〕 仏プロトタイプ炉の仕様決定
〔2012 年〕 仏プロトタイプ炉の建設判断

FBR開発に関して判断すべき事項と時期の整理

FBR開発は、判断ポイントを設けて、適切な判断（実施項目の要否判断、実施内容の決定、計画見直し、等）を下しながら進める必要がある。

- ・この資料は、革新技術及び材料の開発、設計研究、許認可手続き等が順調に進んだ場合の工程を想定し、開発の節目となるマイルストーンを抽出したものである。
- ・実証炉の概念検討の結果と2010年頃までの研究開発成果を踏まえ、2011年頃以降の計画を見直し、提示することとなる。
- ・実証炉の概念設計結果と2015年頃までの研究開発成果を踏まえ、2016年頃以降の計画を提示することとなる。

なお、2010年、2015年時点での判断事項、判断に必要な技術的知見・データ、留意事項は、「高速増殖炉に関する中間の論点整理」本文に記した通りである。

