

高速炉実証炉の概念設計対象となる 炉概念仕様と中核企業の評価結果（報告）

令和5年7月12日
高速炉技術評価委員会

経済産業省は、2023年度から開始する委託事業「高速炉実証炉開発事業」において、概念設計対象となる炉概念仕様と将来的にはその製造・建設を担う事業者（中核企業）を広く一般から募集^{※1}した。経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部原子力政策課は、高速炉技術評価委員会を設置して、高速炉実証炉の概念設計対象となる炉概念仕様と将来的にはその製造・建設を担う中核企業の選定審査を行った。審査は募集時に示した「高速炉技術評価の提案書に記載すべき内容と評価クライテリア2023年度版」（以下、「評価クライテリア」という）に照らして行った。以下に評価結果を報告する。

1. 評価結果

三菱FBRシステムズ株式会社が提案する『ナトリウム冷却タンク型高速炉』を高速炉実証炉の概念設計対象として選定し、概念設計を行うとともに将来的にはその製造・建設を担う中核企業として三菱重工業株式会社を選定することが適切と評価する。

2. 提案された『ナトリウム冷却タンク型高速炉』の概要

三菱FBRシステムズが提案する『ナトリウム冷却タンク型高速炉』では、国内の基準地震動への対応、第4世代炉の国際標準の要件について、概念設計を行う過程で考慮。中型炉の出力を提案するが、小型炉・大型炉にも展開可能な設計とし、大型炉は軽水炉に競合できる建設コストを見通す。また、国際協力を活用した開発の効

※1 公募期間：令和5年3月14日（火）～令和5年4月21日（金）

率化が図られている※2。酸化物燃料を主概念とし、金属燃料を副概念とし、どちらにも対応可能な炉心設計を実施するとしている。

3. 評価内容

(1) 総合評価

①高速炉実証炉の概念設計の対象

『ナトリウム冷却タンク型高速炉』は、下記のとおり概念設計の対象として適当である。

- 設計成立性と経済性について、設計の実現と開発目標達成に向けた工程を見込むことができる。
- 提案者が重要と認識している研究開発課題として、耐震性向上やシビアアクシデント対策、コスト低減、基準整備などを挙げ、必要な技術開発に対して概念設計終了時の達成目標を具体化していることから、課題に対応できる十分な計画性を有すると評価できる。
- 中型の出力（電気出力 65 万 kWe）とすることで、大型炉と小型炉への展開を可能としており、将来の社会的ニーズに応じて大型炉のスケールメリットか小型炉の初期投資リスク抑制を選択して将来の実用化へと繋げることができる。
- 将来の実用化として、特にスケールメリットを活かした大型炉を選択する場合、他電源と競合できるレベルであることが提示されており、実用化された際の市場性を具体的に展望できる開発が可能となる。

②高速炉実証炉の中核企業

三菱重工業株式会社は、下記のとおり概念設計を行うとともに将来的にはその製造・建設を担う中核企業として適当である。

- 我が国の高速炉開発及び関連する国際協力に参画してきた豊富な実績があり、高速炉のエンジニアリング会社として三菱重工業

※2 提案事業者は、我が国のこれまでのループ型の知見に加え、2014年以降の日仏ASTRID協力及びR&D協力を活用して国際的に主流であるタンク型炉での検討を継続している。

の子会社である三菱 FBR システムズと協働して、JAEA が行う研究開発と十分に連携した概念設計が可能である。

- 高速炉に必要な材料、機器、計装等を供給する国内サプライチェーンの現状の脆弱性を具体的に整理し把握しており、その維持・拡充を図る中心となり我が国産業全体の實力涵養に貢献できる。
- 総合的エンジニアリング能力を蓄積、継承してきており、原子力事業における設計から建設・試運転までをグループ各社で分担するプロジェクト遂行力によって高速炉開発に責任を持って取り組むことができる。

中核企業においては、基本設計・許認可フェーズの移行を判断する 2028 年頃までに、概念設計実施に際して設定するアウトプット目標、アウトカム目標に基づいて炉概念の開発を進める。また、2026 年頃を目途に燃料技術の選択を行うためには、酸化物燃料と金属燃料ともに燃料製造技術と再処理技術の現状の技術成熟度と課題を踏まえて、技術開発計画とその見通しを得ることが重要であり、必要な高速炉サイクル技術の開発と知見獲得により検討を進める。

(2) 炉概念とともに設定されるアウトプット目標、アウトカム目標

『ナトリウム冷却タンク型高速炉』を概念設計対象とするにあたり、2028年度の目標を以下のとおりに設定することは適当である。

【アウトプット目標】

a. 技術成熟度 (TRL: Technology Readiness Level)

- ・高速炉の安全設計に関して許認可に資する評価案を提示する。
また、高速炉及び高速炉サイクルの要素技術の技術成熟度が技術の実証段階 (TRL6) 以上とする。

b. 経済性

- ・大型炉かつ習熟効果等を考慮したプラントを想定したコスト評価において、軽水炉と同等とする。
- ・連続運転期間13か月以上、稼働率80%以上、送電端効率35%以上、プラント寿命60年とする。
- ・増殖比1.03において全炉心平均取出燃焼度80GWd/tとする。

- c. 放射性廃棄物減容、潜在的有害度低減
 - ・炉心平均のMA含有率が3wt%程度(燃料集合体の最大MA含有率は5%以下)とする。
- d. 持続可能性
 - ・増殖比1.03を確保しつつ、Pu需給の不確かさを考慮し、増殖比1.1～1.2となる炉心構成を運用し得るポテンシャルを確保する。
- e. 柔軟性
 - ・出力規模や立地条件に柔軟に対応する。
 - ・太陽光・風力の変動性再生可能エネルギーと共存できる具体的な運用方法（蓄熱、等）を検討する。
- f. 規制対応
 - ・規制との協議に向け、重要な論点を明確にして、意見交換を開始するとともに、ステップ3^{※3}以降の研究開発計画を提示する。

【アウトカム目標】

- ・ステップ3への移行が判断できる技術成熟度とする。
- ・概念設計における高速炉及び高速炉サイクルの開発を通じたサプライチェーン再構築、ステップ3以降の産業界の実力涵養・雇用促進を見込む。
- ・ステップ3以降の事業運営体制が建設判断できるように、許認可データの取得及び取得計画を提示する。

(3) サプライチェーンの維持・発展に向けて

三菱重工業はサプライチェーンの状況を以下のように把握しており、提案は適当である。

高速炉特有の技術、ナトリウム冷却材特有の技術として、燃料集合体、電磁ポンプ、浸漬型電磁流量計、ナトリウム純化系、燃料交換機など、「もんじゅ」の経験から年月が経ち技術復興や人材育成などサプライチェーンの再構築・維持が必要になっている。これらについて、実証炉の概念設計において必要な試験データを取得するのみならず、試作や技術検討、施設設計・建設、実証炉建設に向けた

※3 戦略ロードマップに定める基本設計・許認可フェーズ

事業計画のサポートなど国の支援が重要である。

4. 他の炉概念の提案

公募に提案があった他の炉概念について、評価クライテリアの項目毎に比較評価を行った。

(1) 炉概念の概要

【小型ナトリウム冷却炉 MCR】

提案概要：炉心を偏心配置として原子炉容器内での機器配置に余裕を持たせた小型タンク型炉。中型炉・大型炉へは、同じ大きさの機器とループを増加させることでスケールアップする。炉心燃料や冷却材における革新技術の開発を並行し、進捗次第で既存技術に置き換える。金属燃料とそのサイクル技術を開発するが、MOX燃料も適用可能とする。

提案者：三菱重工業、中核企業：三菱重工業

【革新的小型ナトリウム冷却高速炉 PRISM】

提案概要：米国 GE 日立社により設計された小型モジュール方式のタンク型ナトリウム冷却高速炉。米国で提案された VTR、Natrium の原子炉として採用されている。金属燃料及びそのサイクル技術を用いる。

提案者：日立 GE、中核企業：日立 GE

(2) 比較評価の概要

①技術の成熟度と必要な研究開発

以下の観点から、三菱FBRシステムズが提案する『ナトリウム冷却タンク型高速炉』が最も高く評価された。

- ・ 基本仕様及び要素技術が明確に提示されており、7割以上の項目の技術成熟度（TRL）が6以上であり、概念設計を開始できる技術成熟度に到達している。
- ・ 実用化を見通すことができる具体的な研究開発計画が示され、こ

の計画によって技術の自立化・国産化が可能である。

- ・ 炉システムに加えて燃料サイクル技術の研究開発計画も具体化され、両サイクル技術共に概念設計以降に達成すべき目標が掲げられているため、根拠のある工程と評価できる。
- ・ 3次元免震を採用して設計や立地の自由度を確保するとともに、国内基準地震動を踏まえた耐震性評価によって、炉システムの成立性を確認している。

一方で、MCRは総合的に検討が不足していることが指摘された。

PRISMは米国の先行事例を参考に出来る優位性があるが、日本における耐震基準、安全基準の違いへの対応が不足しているなどの指摘があり、やや劣る評価となった。

②実用化された際の市場性

以下の観点から、『ナトリウム冷却タンク型高速炉』とMCRが高く評価された。

- ・ 『ナトリウム冷却タンク型高速炉』は、中型炉を提案しつつも大型炉と小型炉にも展開可能であり、MCRは小型炉を提案しつつも大型炉までの展開を考慮したものであり、いずれも市場に対応してフレキシブルな導入が可能である。
- ・ 燃料の種類（MOX燃料、金属燃料）を選択できる。すなわち、2026年頃の燃料技術の選択に際していずれも対応可能である。
- ・ 資源の有効利用及び環境負荷低減について有効な性能が示され、実用化段階で想定する市場と原子力利用規模に応じた達成目標が明確である。
- ・ 中型炉の評価を元に、大型炉のプラント建設コストは軽水炉と同等にできる見通しが得られており、実用化段階において想定する市場での他電源とコスト競争力が見込め、達成目標が明確化されている。ただし、『ナトリウム冷却タンク型高速炉』を小型炉へ展開する場合の経済性は課題との指摘がされた。

一方で、PRISMはプラント建設コストの目標値が示されているものの、具体的な評価が示されていないこと、小型炉のモジュール効

果がスケール効果のようにコストダウンに寄与しないことが指摘された。

③具体的な開発体制の構築と国際的な連携体制

以下の観点から、『ナトリウム冷却タンク型高速炉』と三菱重工業を中核企業とする開発体制が高く評価された。

- ・ これまでの高速炉開発の実績および、仏・米との高速炉開発の協力で実績と継続性がある。
- ・ 高速炉のサプライチェーンの状況を分析・把握しており、今後の維持・発展に貢献する具体的方策を有する企業と評価される。
- ・ 『ナトリウム冷却タンク型高速炉』の全体設計を担う三菱FBRシステムズと、その親会社であり将来の建設段階で統括的役割を果たす三菱重工業が連携してこれらの国際協力やサプライチェーンの中心となっている

PRISMを提案する日立GEは、総合エンジニアリング力で中核企業として実力を有するが、海外技術であるPRISMにおける技術の自立性・国産化に課題があるとの指摘がされた。

④実用化する際の規制対応

深層防護の実装の考え方、設計基準を越える重大事故及び外部ハザード全般に対する安全対策の考え方について、PRISMでは検討不足が指摘された。また、国内では免震設計を原子炉に適用した事例はないことを踏まえ、『ナトリウム冷却タンク型高速炉』の3次元免震の規制上の不確かさが指摘された。

⑤その他

全ての提案において燃料サイクル技術については、実用化に向けた課題が多く残されていることが指摘された。2026年頃の燃料技術の選択において、確かな評価と実用化までの研究開発工程を見通した比較評価が必要である。

以 上