

「第4世代ナトリウム冷却高速炉の安全設計ガイドライン」研究専門委員会報告
Research Committee Report on Safety Design Guidelines for Generation-IV Sodium-cooled Fast
Reactor

(4) 安全設計ガイドラインに適合した設計概念

(4) Design Concept conformed to Safety Design Guideline

*島川 佳郎¹

¹三菱 FBR システムズ

1. はじめに

第4世代 SFR の安全設計が各国で検討され、それぞれ進展を見せている。主要な SFR 開発国における開発状況、それらの国で開発が進められている次期 SFR の安全設計概念を公開文献ベースで調査し、それらの SDC 及び SDG への適合性を検討した。

2. 各国における次世代 SFR 概念

フランス、アメリカは、これまでの開発経験から、増殖技術は習得済みとしており、放射性廃棄物対策が中心となっている。フランスは、実証炉 ASTRID の開発を進めており、その後、商用炉を導入する計画である。一方、ロシア、インド、中国では、エネルギーセキュリティの観点から高増殖を指向しており、早期の本格導入を目指して開発が進められている。ロシアは、原型炉 BN-600 の運転が順調に進められ、実証炉 BN-800 の運転も開始された。2025 年頃には、商用炉 BN-1200 を導入予定である。インドは、原型炉 PFBR が今年運転開始予定であり、それに続く CFBR も 2025 年頃から導入する計画である。中国は、ロシアの技術を導入することで原型炉をスキップし、実証炉 CFR600 を 2025 年頃に建設し、2030 年頃には商用炉を導入する計画である^[1]。いずれも将来の基幹電源として高速炉サイクルを活用する計画であることは共通しており、GIF と同様の高い開発目標がそれぞれ設定されている。

次期 SFR として検討されている炉（フランス：ASTRID、ロシア：BN-1200、インド：CFBR 等）の安全設計概念を調査した^{[2][3]}。これらはいずれも、第4世代炉、或いはそれに向けた実証炉として設計されるものと推測され、SDC/SDG への適合性を意識していると考えられる。これらの炉の①炉心設計、②受動的原子炉停止方策、③CDA 対策、④液位確保方策、⑤除熱源確保方策を中心に調査した。

3. 安全設計ガイドラインに適合した設計概念

SDG の主要な要件である ATWS 系 DEC と LOHRS 系 DEC に係る要件への適合性に着目してまとめる。

ATWS 系 DEC は能動的な手段による原子炉停止に失敗する事象では、短時間で炉心損傷に至り、炉心の再臨界ポテンシャルが顕在化する恐れがある。そのため SDC/SDG では、ATWS 系 DEC に対して、炉心損傷防止と格納機能確保の2つの対策を講じることを要求している。炉心損傷防止については、受動的な原子炉停止機能又は固有の反応度フィードバック特性を活用した出力低減機能を備え、炉心損傷を回避して原子炉停止できることを要求している。格納機能確保については、炉心損傷を想定しても原子炉冷却材バウンダリの機械的破損を防止すること、すなわち図1に示すような IVR（炉容器内終息）を達成することを要求している。各国の次期 SFR では、幾つかの設計選択があるものの、受動的方策の導入或いは強化が検討されている。例えば ASTRID では、LOF 型 ATWS に対処するための RBH（流体圧浮遊式制御棒）及び LOHS 型 ATWS に対処するための CPEM（キュリー一点式電磁石を適用）が検討されており、BN-1200 や CFBR でも類似の概念が検討されている。また各国の次期 SFR では、炉内コアキャッチャの設置等が検討

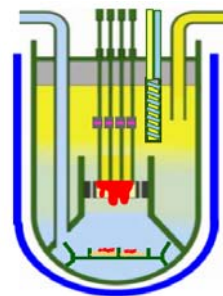


図1 ATWS 系 DEC の事故影響の IVR

されており、炉心損傷時の事故影響の IVR 達成を目指しているものと考えられる。

LOHRS 系 DEC は、原子炉停止後の崩壊熱除去に失敗する事象であるが、高沸点のナトリウムを冷却材として用いていることから、冷却材沸騰までの温度上昇余裕が大きく炉心損傷に至るまでの時間余裕が大きい、自然循環能力が高い、静的機器による液位維持が可能、といった特長を SFR は有している。これを踏まえて、SDC/SDG では、LOHRS 系 DEC に対して次のような対策を講じることで炉心損傷を防止することを要求している。1つは、原子炉容器とガードベッセルの信頼性を確保して原子炉

容器内ナトリウム液位を維持し、LORL を防止することであり、もう 1つは、崩壊熱除去系の機能強化や独立性の高い代替手段により冷却性を維持し、PLOHS を防止することである。これらの対策により炉心損傷状態が実質的に回避されるようにすることで、図 2 に示すような IVR を達成すること要求している。各国の次期 SFR では、設計選択に差はあるものの、1 次系全域をカバーするガードベッセルの設置、多様性に配慮した崩壊熱除去系構成、自然循環能力の取り込み等を検討し、防止対策の信頼性向上を図って、LORL、PLOHS に起因する炉心損傷の防止を目指しているものと考えられる。

4. 終わりに

各国の次期 SFR の安全設計の概要を調査した結果、安全対策の強化を図る方向で各国とも検討を進めており、総じて、SDC/SDG の要件を満足させる方向で安全設計が進んでいることが分かった。

本報告は、経済産業省からの受託事業である「平成 27 年度高速炉等技術開発」「平成 28 年度高速炉国際協力等技術開発」「平成 29 年度高速炉の国際協力等に関する技術開発」の成果を含む。

参考文献

- [1] Joint IAEA-GIF Technical Meetings/Workshops on Safety of Sodium-Cooled Fast Reactors (June/2014, June/2015, Nov./2016), [2] FR17, IAEA-CN-245-399 (OKBM,IPPE) (2017), [3] FR17, IAEA-CN-245-300 (IGCAR) (2017).

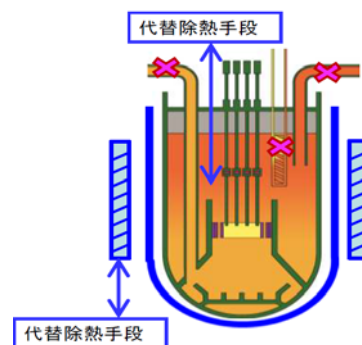


図 2 LOHRS 系 DEC 時の炉心損傷防止

*Yoshio Shimakawa¹

¹ Mitsubishi FBR Systems