

原子力安全を参考にした核融合安全の考え方に関する検討

原子核エネルギー制御工学グループ 山本章夫研究室 山下芳輝

1. 緒言 核融合炉は放射性物質を取り扱うため、人と環境に対して放射線の悪影響を生じる可能性がある。そのため、核融合炉施設を実用化するには、核融合炉の工学的な成立性だけでなく、施設全体の安全性を確保することが重要であり、核融合安全の考え方を体系化することが望まれる。本研究では、核融合安全の考え方を整理することを目的として、核分裂・放射線安全を参考にして核融合安全の基本的な考え方から基本的な要件までの範囲について体系的に検討する。

2. 核分裂・放射線安全における既存の安全基準 核分裂・放射線安全における国際的な枠組みの1つにIAEA安全基準[1]がある。本研究ではこの安全基準を参考にして検討を行った。IAEA安全基準は、統一的な安全原則、安全要件、安全指針から成る3層構造となっている(図1)。安全原則は、安全目的とそれを達成するための10の安全原則が含まれ、安全要件には安全原則を満たすために必要となる技術要件などが含まれる。

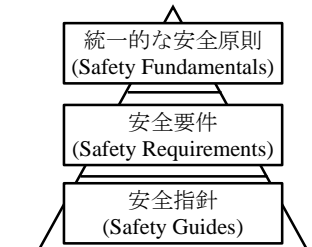


図1 IAEA安全基準の体系

3. 統一的な安全原則の検討 核融合炉施設の運転や活動には放射線リスクが存在していることから、核融合安全における安全目的は「核融合炉施設に起因する電離放射線の有害な影響から人及び環境を防護すること」とした。安全原則について、原則4や原則10に含まれる医療や自然放射線に関する内容は、核融合安全基準の対象ではないと考えたため削除した。一方、核融合炉施設も公衆に対する放射線リスクを生じる可能性があるため、事故の防止や緊急時の対応に関する原則は必要と判断し用語のみ変更した。

4. 核融合炉施設の特徴の整理 核融合炉施設の安全上の特徴として、事故の影響度と頻度を文献調査に基づきリスクマップにまとめた(図2)。複数の事故シナリオの解析結果(Acc-2~SOMB)を参考にして、各シナリオの影響度と頻度を半定量的に整理した。

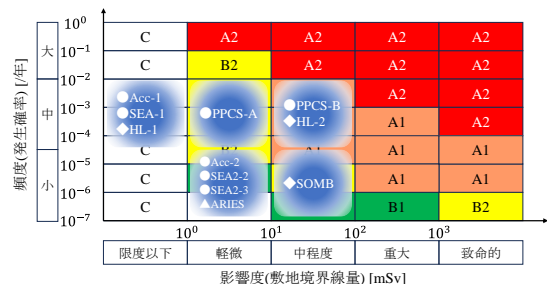


図2 本研究で作成したリスクマップ

表1 設定した防護レベル

対応段階	防護レベル	目的
プラントの当初設計	1	● 通常運転からの逸脱の防止 ● 安全上重要な施設の故障の防止
	2	● 通常運転からの逸脱の検知・制御
	3	● 炉の損傷防止又はオフサイトでの防護措置が必要な放射性物質放出の防止 ● 施設を安全な状態に復帰させること
設計基準外	4	● 第3レベルの失敗に起因する事故影響の緩和
緊急時対応	5	● 事故による放射性物質の放出と放射線の影響の緩和

5. 核融合安全における深層防護の実装 整理した核融合炉施設の特徴とリスクマップを参考にして、核融合安全における深層防護の考え方について検討した。その結果、暫定的に原子炉施設と同様に5層の防護レベルを設定し、各レベルの目的には原子力安全と同様の内容を設定した(表1)。

6. 安全要件の検討 IAEA安全基準の安全要件や原子力安全の基本的な技術要件の考え方を参考に、核融合発電所の設計

に関する要件について検討した。まず、核融合発電所は核融合炉と燃料システムが併設されているため、原子力発電所の安全要件と核燃料サイクル施設の安全要件を統合した。そして、放射性物質の閉じ込めや安全上重要な機器に関する要件は用語等の変更を行い、臨界安全に関する要件などは削除した。さらに、核融合炉と燃料システムの安全上の独立性や核融合炉施設に特有の燃料システム、雰囲気水素除去系に関する要件を追加した。例えば、核融合炉と燃料システムは互いに独立し、どちらかの安全機能が喪失しても、もう一方の安全には影響しないように設計されなければならない等の要件を設定した。

口頭発表 [1] 山下芳輝, 他. AESJ 2024 年春の年会, 3G08, 3月26-28日 (2024). [2] 山下芳輝, 他. AESJ 2024 秋の大会, 3B12, 9月11-13日 (2024). [3] Y. Yamashita, et al., FED Wed 3-1, Nov. 17th-21st, 2024 ANS Winter Conference and Expo. [4] Y. Yamashita, et al., FED Wed 3-3 Nov. 17th-21st, 2024 ANS Winter Conference and Expo.