

標準委員会セッション1（原子力安全検討会・分科会）

再処理施設における原子力安全の基本的な考え方

Fundamental Safety Principles in Reprocessing Facilities of Spent Nuclear Fuels

（1）再処理施設における原子力安全の基本的考え方

(1) Fundamental Safety Principles in Reprocessing Facilities of Spent Nuclear Fuels

（2）再処理施設の安全原則、安全機能

(2) Safety Principles and Safety Functions in Reprocessing Facilities of Spent Nuclear Fuels

（3）再処理施設のオブジェクティブツリー

(3) Objective Trees in the Assessment of Reprocessing Facilities of Spent Nuclear Fuels

（4）総合討論

(4) Open Discussion

*山本 章夫¹，池田 泰久²，眞部 文聡³，山口 彰⁴¹名古屋大学，²東京工業大学，³三菱重工業，⁴東京大学

1. はじめに

原子力安全検討会・原子力安全分科会においては、現在までに原子力発電所の原子力安全の基本的考え方を原子力基本安全原則として取りまとめるとともに、深層防護の考え方と実装方法、基本安全原則からプラントに要求される安全対策への展開方法について検討を行ってきた。本検討は、再処理施設に対し、同様な考えに基づく議論を行ったものである。すなわち、深層防護の概念に基づく安全対策を包括的・体系的に構築するために再処理施設の原子力安全の基本的考え方を整理した上で、さらに当該施設で安全対策が適切に実施されていることを確認するツールであるオブジェクティブ・ツリーの作成方法を取りまとめた。

2. 再処理施設の安全上の特徴

再処理施設は、基本的には核燃料物質の化学処理プロセスであり、使用済燃料集合体を機械的操作（せん断等）、物理的（分離）操作（溶媒抽出、蒸発濃縮等）、化学的操作（酸化・還元等）により処理し、ウラン粉末、ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末を製品として回収する機能を有する。このような機能から、その処理過程における各工程では放射性物質を非密封で取り扱うという特徴がある。

原子炉施設とは異なった安全上の特徴として、非密封の状態で施設内に多種多様の放射性核種が広範囲に分散して存在、すなわち、工程に沿って様々な形態・性質・量の放射性物質が数多くの機器に分散している点があり、このハザードに相応して多種多様なハザード・ポテンシャルが存在するという点が挙げられる。このような特徴を十分理解して安全確保の考え方を構築し、実効性のある安全対策に繋げていくことが重要である。

*Akio Yamamoto¹, Yasuhisa Ikeda², Fumitoshi Manabe³, Akira Yamaguchi⁴¹Nagoya Univ., ²Tokyo Tech., ³MHI, ⁴Tokyo Univ.

3. 再処理施設における原子力安全の基本的考え方

IAEA の基本安全原則 SF-1 や日本原子力学会技術レポートで、原子力安全の目的（Safety Objectives）は「人と環境を、原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から防護することである」とし、その目的を達成する上で基本となるのが深層防護であるとしている。原子力安全を扱う本書では、放射線に関係しない純粋な意味での化学プロセスや産業（工業）プロセスによるハザードは対象としていない。

【深層防護】

再処理施設においても、深層防護の概念は、軽水炉と共通である。一方、深層防護の概念を再処理施設へ実装するにあたって必要となる障壁の数は、取り扱う放射性核種の量及び同位体組成、化学的なハザードの特徴と個々の障壁の有効性、可能性のある内部ハザード及び外部ハザード、障壁の機能停止時の潜在的な影響に依存する。深層防護の概念の再処理施設への実装に当たっては、軽水炉の場合と同様に、グレーデッドアプローチを考慮して遂行されなければならない。また、深層防護の各レベルは、1つのレベルの失敗が他のレベルの有効性を低下させることを回避するために独立していなければならない。

【グレーデッドアプローチ】

安全確保におけるグレーデッドアプローチとは、安全対策の厳格さは、その対策の失敗に伴う潜在的なリスクに見合ったものとするべきであるという考え方であり、安全対策に関わる全ての活動分野、すなわち、設計、建設、運転、品質保証、深層防護、安全解析、レビューなどの分野に適用される基本的考え方である。グレーデッドアプローチの適用は、安全解析または工学的判断によって適用の妥当性が証明されなければならない。また、新知見が得られた場合には、知見の信頼度を確認しつつ、安全対策の全体としての最適化を図っていくことが重要である。

【防護レベルと安全原則】

安全原則（Safety Principles : SPs）は、全般的な目的（人と環境への放射線ハザード防護）、放射線防護、技術的安全の3つの安全目的（Safety Objectives）の達成方法を示した一般的に共有される安全概念であり、オブジェクティブ・ツリーにおいては各防護レベルで達成すべき目標となる。

安全原則から安全対策への展開において最初に必要となるのは、基本原則と立地から廃止措置（廃炉）の各段階における防護レベル（Level of Defence）とプラント特有の個別の原則（個別原則：以下“安全原則”と称する）を明確にすることである。これまでに、再処理施設に要求される安全原則は明確なものはないため、これを IAEA の報告書 INSAG-12 を参考に、プラントのライフサイクルの特定の段階の安全技術に関する技術的な個別原則（Specific Safety Principles）に再処理施設特有事項を加味して再処理施設の安全原則（R-SPs）として整理し、これらの安全原則毎に防護レベルを明確化した。

INSAG-12 の技術的な個別原則は、原子炉施設を対象としているものの概ね再処理施設にそのまま適用できるが、この個別原則の内、原子炉施設に特有なもの、基本のシステム構成の違いにより、再処理施設には原子炉施設と同様の設備がないため直接適用ができないものについては再処理施設に合わせて新たな原則の検討及び内容の見直しを行った。また、以下の原則については、再処理施設特有なものとして新たに原則を設定した。この中で、可燃性・爆発性物質や有毒化学物質に対する防護は、原子力安全に影響を与えうる非放射線ハザードへの防護である。

- ・ 臨界事故に対する防護と臨界安全
- ・ 臨界制御手段

- ・可燃性・爆発性物質に対する防護
- ・有毒化学物質に対する防護

【安全機能】

安全機能の分類については、原子炉施設での考え方と共通であり、基本的な安全機能（FSFs）と安全機能（SFs）を設定することを方針として、再処理施設の安全機能の検討においては、INSAG-12 を参考にした“再処理施設の安全原則（R-SPs）”を考慮し、再処理施設としての基本的な安全機能（R-FSFs）を以下の通り設定した。

- ・ R-FSF(1) 臨界の防止
- ・ R-FSF(2) 放射性物質の閉じ込め
- ・ R-FSF(3) 放射線による外部被ばくに対する防護

再処理施設の基本的な安全機能（R-FSFs）から具体的な安全機能（R-SFs）への展開の検討においては、IAEA の再処理施設の安全指針(DS360)及び原子炉施設の安全機能を参考に検討して以下の通り設定した。

- ・ R-SF(1) : 臨界安全管理条件を逸脱する過渡事象の防止
- ・ R-SF(2) : 包括的臨界安全管理体制の維持
- ・ R-SF(3) : 臨界の検知と終息措置（未臨界への移行）
- ・ R-SF(4) : 使用済燃料の未臨界性の維持
- ・ R-SF(5) : 静的閉じ込め（障壁）の健全性の維持
- ・ R-SF(6) : 動的閉じ込め（負圧勾配）の健全性の維持
- ・ R-SF(7) : 高レベル廃液等崩壊熱の除去
- ・ R-SF(8) : 最終ヒートシンクへの熱移送
- ・ R-SF(9) : 搬送放射性物質からの崩壊熱の除去
- ・ R-SF(10) : 放射線分解ガス及び爆発性・可燃性物質の燃焼・爆発防止
- ・ R-SF(11) : 運転時の環境への放射能放出の制限
- ・ R-SF(12) : 事故時の環境への放射能放出の制限
- ・ R-SF(13) : 放射能放出の公衆及び環境への影響の制限
- ・ R-SF(14) : 搬送放射性物質からの放射能放出制御の維持
- ・ R-SF(15) : 放射線下作業環境での作業者の被ばくの制限
- ・ R-SF(16) : 安全系に対する支援として必要なサービスの維持
- ・ R-SF(17) : 運転時・事故時の対応操作に必要な居住性等の制御の維持
- ・ R-SF(18) : 安全機能支障要因となる構築物、系統、機器の損傷・故障防止

化学的ハザードのうち、それが原子力安全（放射線による有害な影響）に波及するものを対象とし、化学物質自体による運転員、あるいは一般公衆への悪影響（毒性）は含めないものとする。

4. 再処理施設のオブジェクティブ・ツリー

再処理施設における安全原則から安全対策への展開には、原子炉施設におけるオブジェクティブ・ツリーの考え方を共通的に利用することができると考えられる。

再処理施設のオブジェクティブ・ツリーを作成するに当たって理解しておくべきオブジェクティブ・ツリーの構成要素、次に、再処理施設のオブジェクティブ・ツリーの具体的な作成方法を検討した。また、作成したオブジェクティブ・ツリーを活用するための方法論（使用方法）について取りまとめた。

オブジェクティブ・ツリーに示された対応策は、メカニズムの発生を防止するため手段をまとめたものであり、個々の対応策の優先順位、対応策の適用方法、対応策の効果を定量的に示しているものではない。すなわち、特定の施設において、すべての対応策が適切なものとなるとは限らず、選択肢を与えるものである。このため、対応策の妥当性は、その適用の要否、及びグレーデッドアプローチも勘案して、使用者が検証しなければならない。

5. おわりに

本検討は、再処理施設における原子力安全の基本的考え方、安全原則、安全機能及びオブジェクティブ・ツリーの作成方法をまとめた。本検討をまとめた報告書は、以下のように構成されている。

2章では、再処理施設の安全上の特徴の概要を示した。

3章では、再処理施設における原子力安全の基本的考え方として、深層防護の考え方及びグレーデッドアプローチの考え方を説明した。また、基本安全機能として①臨界の防止、②放射性物質の閉じ込め、③放射線による外部被ばくに対する防護、の3つを抽出し、安全機能への展開を行った。さらに、再処理施設の安全原則を策定し、安全機能の面から見た安全原則の完備性について確認を行った。

4章では、オブジェクティブ・ツリーを作成するにあたって理解しておくべきオブジェクティブツリーの構成要素、活用するための方法論(使用方法)について取りまとめた。

本検討が再処理施設の原子力安全の基本的な考え方の確立、及び原子力安全の目的を達成するための安全対策を検討する際に有益なオブジェクティブ・ツリーの作成を通じて、再処理施設の安全性向上に貢献できることを期待するものである⁽¹⁾。

参考文献

(1)日本原子力学会ホームページ 公衆審査・発行に関するお知らせ <http://www.aesj.net/activity/standard>