

標準委員会セッション1(標準委員会 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考え方」



# 再処理施設の安全原則、安全機能

---

平成29年3月27日

池田 泰久(東京工業大学)

日本原子力学会 2017年春の年会 東海大学 湘南キャンパス



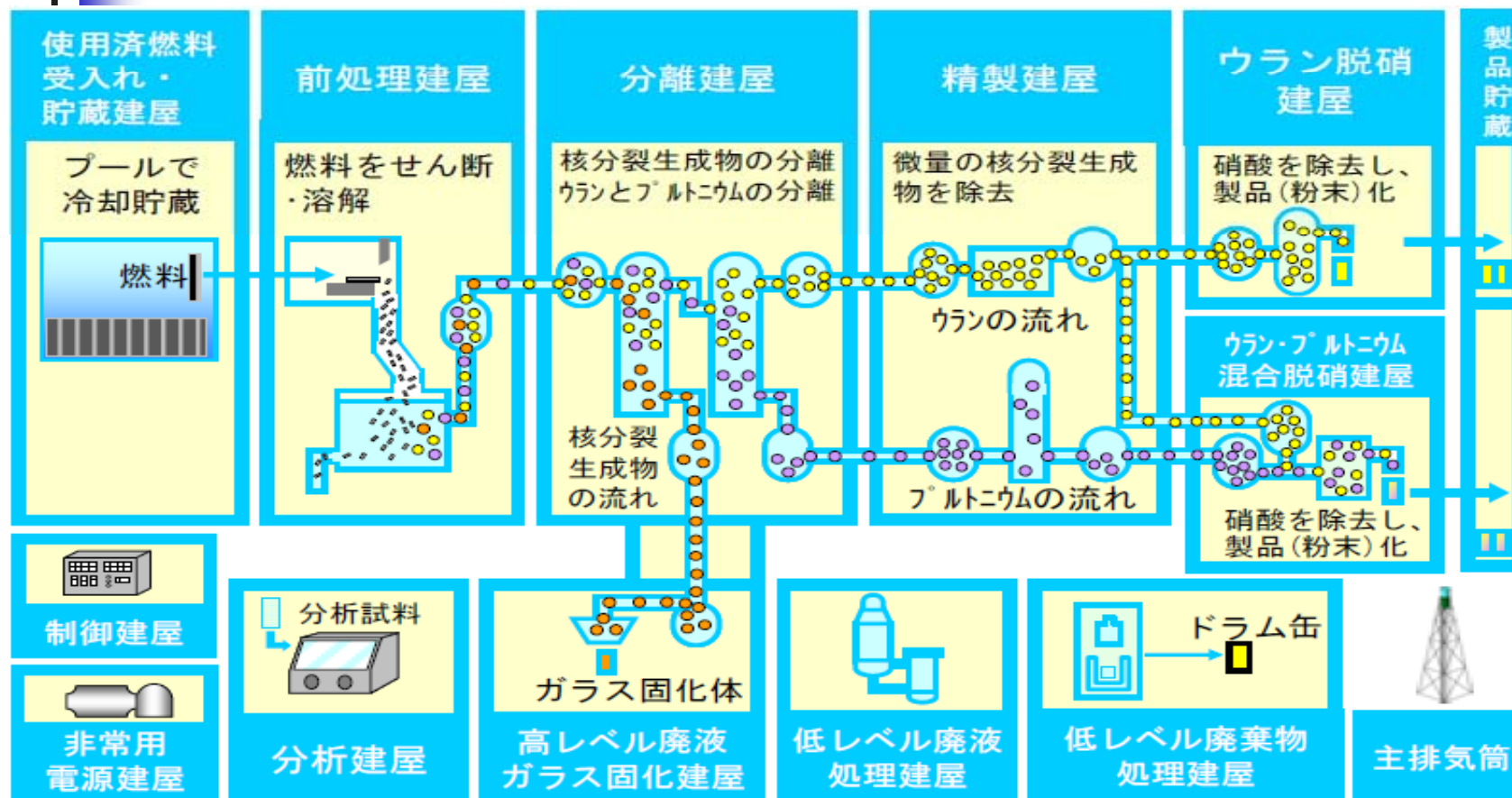
# 報告内容

---

1. 再処理施設の安全上の特徴
2. 再処理施設の防御レベルと安全原則
3. 再処理施設の安全機能

# 再処理施設の概要と特徴

## 再処理施設の工程概要



## 再処理施設の特徴

- ・各工程で、放射性物質が非密封で取扱われる。
- ・大量の放射性物質及びその他の危険物質が、多様な化学反応及び物理事象により処理及び生成される。

# 再処理施設の安全上の特徴

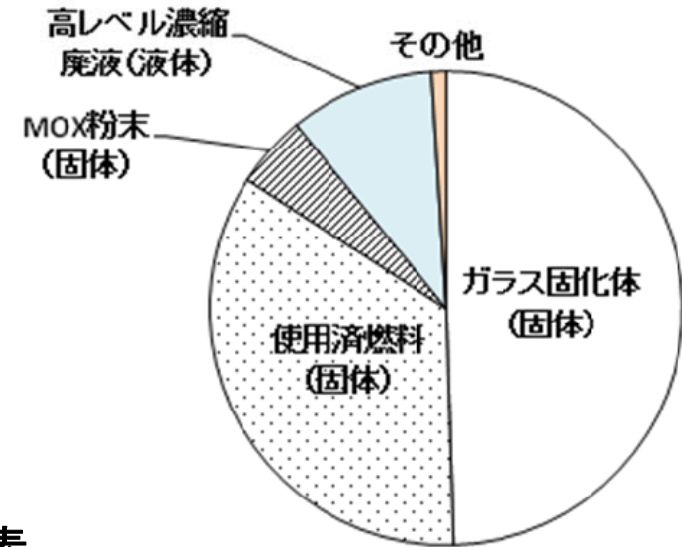
- ・放射エネルギーの90%近くが固体状として存在
- ・多種多様な放射性核種が、非密封の状態では施設内に広範囲に分散して存在



工程に沿って、様々な形態・性質・量の放射性物質が、多くの機器に分散して存在



多種多様な事故が想定される  
 臨界事故、崩壊熱による沸騰事故、放射線分解水素爆発事故、火災・爆発事故、漏えい事故等



放射エネルギーの相対割合

## 安全上の特徴の比較

項目	原子炉施設	再処理施設
放射性物質の形態	<b>単一</b> ほぼ全量が燃料集合体	<b>多様</b> 集合体／溶液／固化体／粉末／気体
放射性物質の存在箇所	<b>集中</b> 炉心／燃料貯蔵ピット	<b>分散</b> 各建屋(各工程)



# 再処理施設の原子力安全の考え方

IAEAの基本安全原則SF-1や日本原子力学会技術レポート



## 原子力安全の目的(Safety Objectives)

”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”

そのためには、次の対策が不可欠である。

- 人の放射線被ばくと放射性物質の環境への放出を抑制する。
- 施設とその活動の安全の管理の喪失に結びつくかもしれない事象の可能性を防止する。
- そのような事象が万一発生しても、その影響を緩和する。

原子力安全の目的を達成する上で基本となるのが深層防護である。

なお、原子力安全を扱う本書では、再処理施設は基本的には化学処理プロセスであるが、放射線の関係しない純粹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ない。



# 再処理施設の防護レベルと安全原則

- IAEA INSAG-12の安全原則(Safety Principles:SPs)  
次の3つの安全目的(Safety Objectives)の達成目標を示した  
一般的に共有される安全概念

- ・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

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

- INSAG-12の安全原則
  - ・6つの基本原則:安全マネジメント原則と深層防護原則
  - ・9つの技術原則:全体的な枠組み(立地、設計、運転など)を提供
  - ・54の技術的な個別原則:プラントのライフサイクルの特定の段階の  
安全技術

再処理施設として再検討



# 再処理施設の個別安全原則と防護レベル

## ● INSAG-12の54の個別安全原則

- **43原則**：そのまま適用可
- **11原則**：再処理施設に合わせて再検討
  - ➡ **9原則**に再整理
- 再処理施設特有の個別安全原則として**4原則**を追加
  - 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

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
- 個別安全原則に対応した防護レベルを設定

再処理施設の**56の個別安全原則**と防護レベルの設定

# 再処理施設の個別安全原則と深層防護レベル(簡略版)

供用段階	R-SPs No.	個別安全原則 (R-SPs)	深層防護レベル				
			1	2	3	4	5
立地	136	プラントに影響を与える外部要因	○				
	138	公衆及び地域環境への放射線学的影響	○			○	○
	140	緊急時計画の実現性					○
	142	最終ヒートシンクの準備	○	○	○	○	
設計	150	設計管理	○	○	○	○	
	154	実証された技術	○	○	○	○	
	158	設計に関する一般基準	○	○	○	○	
	164	プラントプロセス制御系	○	○			
	168	自動安全系				○	
	174	信頼性目標					
	177	従属故障			○		
	182	機器認定(機器の適合性)			○		
	186	安全設備の試験・検査可能性	○	○		○	
	188	設計における放射線防護	○				
	195	一次静的閉じ込め障壁の健全性	○	○	○		
	203	通常の熱除去	○	○			
	205	起動、停止運転及び安全停止	○	○	○	○	
	207	緊急時の熱除去			○	○	
	209	二次閉じ込め障壁の健全性	○	○			
	217	放射性物質の閉じ込め			○	○	
	221	閉じ込め構造の防護			○	○	
	227	プラント安全状況の監視	○	○	○	○	
	230	制御能力の保持	○	○	○	○	
	233	発電所内全交流電源喪失			○	○	
	237	設計基準で規定する事象の制御			○		
	240	核燃料物質及び放射性物質の取扱貯蔵	○	○			
	242	プラントの物理的防護	○	○			
	製造	246	設計の安全評価	○	○	○	○
249		品質の達成	○	○	○	○	

供用段階	R-SPs No.	個別安全原則 (R-SPs)	深層防護レベル				
			1	2	3	4	5
試運転	255	設計及び建設の検証	○	○	○	○	
	258	運転及び機能試験手順の妥当性確認	○	○	○	○	
	260	基本データの収集	○	○	○	○	
	262	運転前のプラント調整	○	○	○	○	
運転	265	組織、役割責任、要員配置	○	○	○	○	○
	269	安全レビュー手順	○	○	○	○	
	272	運転行為	○				
	278	教育訓練	○	○			
	284	運転限界及び条件	○	○	○		
	288	通常時運転手順	○				
	290	緊急時運転手順		○	○	○	
	292	放射線防護手順	○	○	○	○	
	296	運転へのエンジニアリング・技術支援	○	○	○	○	○
	299	運転経験のフィードバック	○	○	○	○	
	305	保安、試験、検査	○	○	○	○	
	312	運転時の品質保証	○	○	○	○	
マネージメント	318	アクシデント・マネジメントの戦略				○	
	323	アクシデント・マネジメントの訓練と手順				○	
	326	アクシデント・マネジメントの工学的設備				○	
廃止	329	廃止措置	-	-	-	-	-
緊急時への備え	333	緊急時計画				○	○
	336	緊急時対応施設				○	○
	339	事故の影響評価及び放射線モニタリング			○	○	○
再処理施設特有(設計)	R192	臨界事故に対する防護と臨界安全	○	○	○		
	R200	臨界制御手段			○	○	
	R001	放射線分解ガス及び爆発性・可燃性物質の生成の防止	○	○	○		
	R002	有毒化学物質に対する防護	○	○	○		



# 再処理施設の個別安全原則と深層防護レベル(検討例)

供用段階	R-SPs No.	個別安全原則 (R-SPs)	再処理施設の個別安全原則(R-SPs)の内容	深層防護レベル				
				1	2	3	4	5
立地	136	プラントに影響を与える外部要因	サイトの選定では、再処理施設の安全性に悪影響を与える可能性がある地域要因の調査結果を考慮する。	○				
	138	公衆及び地域環境への放射線学的影響	サイトは、通常運転及び事故条件下の再処理施設の放射線の影響の観点から調査する。	○	○	○	○	○
	140	緊急時計画の実現性	再処理施設に選定されるサイトは、放射性物質の事故的な放出による影響を制限するのに必要なオフサイト対策に適合し、かつそのような手段に適合し続けることが期待されるものである。					○
	142	最終ヒートシンクの準備	再処理施設に選定されるサイトは、施設の放射性物質等により発生する崩壊熱を除去できる信頼性の高い長期的なヒートシンクを有する。	○	○	○	○	
設計	150	設計管理	安全についての責務の割り当てと分担は、施設プロジェクトの設計段階を通して、並びにそれに続くいかなる改造においても、明確に定義され、維持される。	○	○	○	○	
	154	実証された技術	設計に組み込まれる技術は、実績や試験によって実証されたものである。重要な新しい設計特性や新しい設計手法は、機器、系統、あるいはプラントのレベルでの研究や原型試験等の研究や試験等を適切に経て初めて、導入される。	○	○	○	○	
	158	設計に関する一般基準	再処理施設は、通常運転状態、運転時の異常な過渡変化、極端な外部事象及び事故状態を含む一連の事象の組み合わせに対処できるように設計される。この目的のために、保守的なルールや安全余裕を組み込んだ判断基準が設計要求事項を規定するために用いられる。また、包括的な解析がプラントの様々な機器と系統の安全性能又は能力を評価するために実施される。	○	○	○	○	

# 再処理施設の安全機能の設定(1/3)

## (1) 基本的な安全機能の設定

### 再処理施設の特徴:

容易に分散する形状(非密封の溶液状、粉末状及び気体状)で大量の放射性物質及びその他の危険物質が、多様な化学反応及び物理事象により処理及び生成される。

→ 重大な核的・放射線的な緊急事態を生じる可能性有

→ 適切な技術的、管理的手段によって防護される必要有

施設内の内蔵放射エネルギーが定常的(原子炉施設: 核分裂で絶えず大量に生成)

事故が発生してもその進展速度が遅い(原子炉施設の事故: 数秒、数分での対応要)

現場で作業員が常に放射性物質を取扱(原子炉施設: 現場は無人)

安全目的(目標): 人及び環境を電離放射線の有害な影響から防護

### 再処理施設の基本的な安全機能

### <参考> 原子炉施設

機能No.	再処理施設	機能No.	原子炉施設
R-FSF (1)	臨界の防止 ⇒ 未臨界性の維持	FSF (1)	反応度の制御 ⇒ 止める
R-FSF (2)	放射性物質の閉じ込め ⇒ 閉じ込める	FSF (2)	燃料からの熱除去 ⇒ 冷やす
R-FSF (3)	放射線による外部被ばくに対する 防護 ⇒ 遮へい	FSF (3)	放射性物質の閉じ込め ⇒ 閉じ込める

IAEAの再処理施設の安全指針(DS360)にも合致



# 再処理施設の安全機能の設定(2/3)

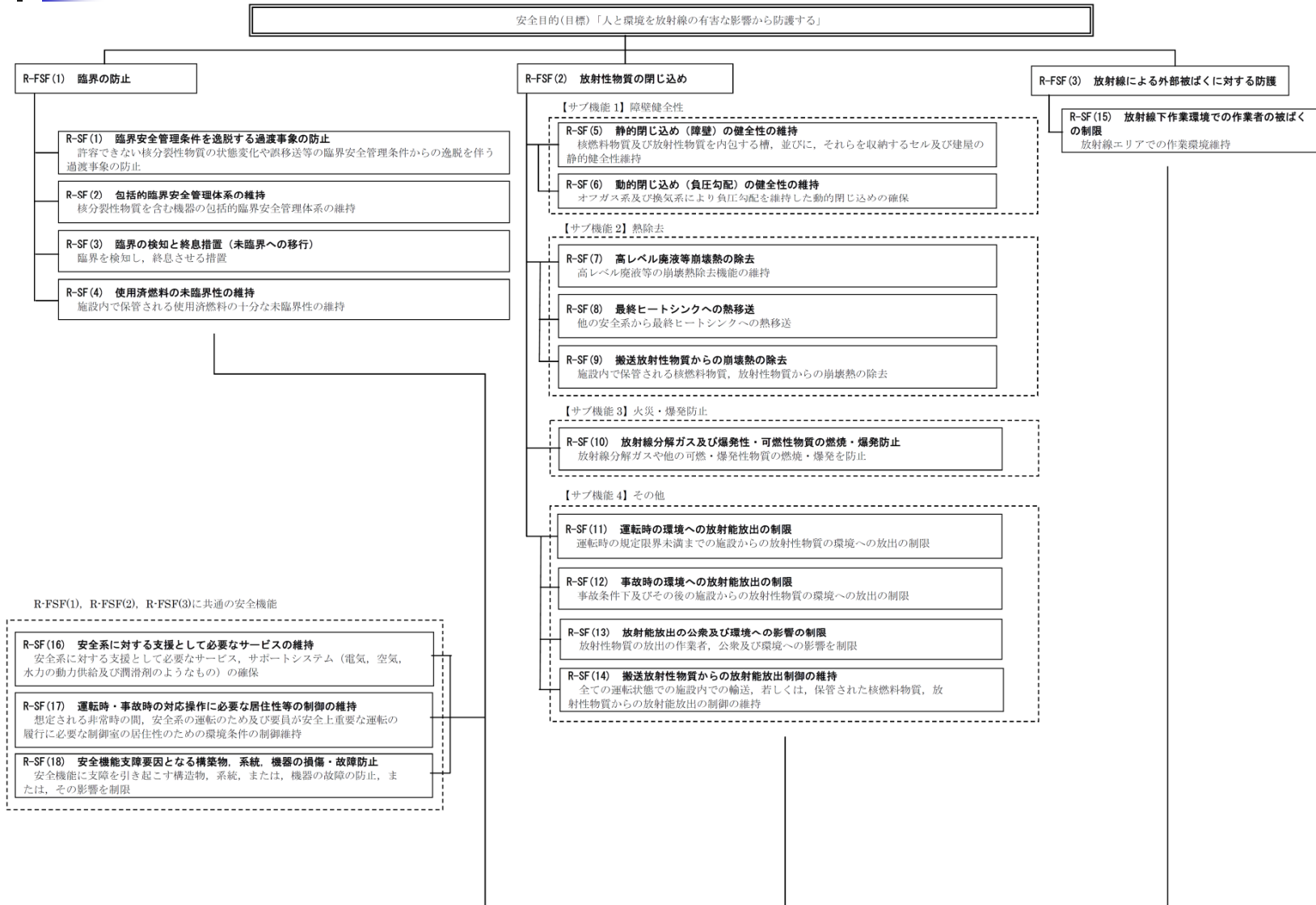
## (2) 安全機能の設定

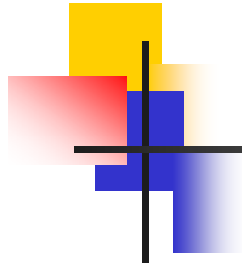
基本的な安全機能を細分化し、再処理施設においては18の安全機能を設定

機能No.	安全機能	機能No.	安全機能
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 (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 (2)	包括的臨界安全管理体系の維持	R-SF (11)	運転時の環境への放射能放出の制限
R-SF (3)	臨界の検知と終息措置 (未臨界への移行)	R-SF (12)	事故時の環境への放射能放出の制限
R-SF (4)	使用済燃料の未臨界性の維持	R-SF (13)	放射能放出の公衆および環境への影響の制限
R-SF (5)	静的閉じ込め(障壁)の健全性の維持	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 (6)	動的閉じ込め(負圧勾配)の健全性の維持	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 (7)	高レベル廃液等崩壊熱の除去	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 (8)	最終ヒートシンクへの熱移送	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 (9)	搬送放射性物質からの崩壊熱の除去	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

# 再処理施設の安全機能の設定(3/3)

## (3) R-FSFsとR-SFsとの関係





## まとめ

### 再処理施設の防御レベルと安全原則

#### IAEA INSAG-12の安全原則

- ・6つの基本原則:安全マネジメント原則と深層防護原則
- ・9つの技術原則:全体的な枠組み(立地、設計、運転など)を提供
- ・54の技術的な個別原則:プラントのライフサイクルの特定の段階の安全技術

→再処理施設の**56の個別安全原則**と防護レベルの設定

### 再処理施設の安全機能

#### 再処理施設の基本的な安全機能

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

→基本的な安全機能を細分化し、**18の安全機能**を設定



# 再処理施設の安全機能の設定

## －R-FSFsとR-SFsとの関係－

＜基本的な安全機能＞ R-FSF(1) :【臨界の防止】

＜安全機能＞

R-SF(1) :【臨界安全管理条件を逸脱する過渡事象の防止】

許容できない核分裂性物質の状態変化や誤移送等の臨界安全管理条件からの逸脱を伴う過渡事象の防止

R-SF(2) :【包括的臨界安全管理体系の維持】

核分裂性物質を含む機器の包括的臨界安全管理体系の維持

R-SF(3) :【臨界の検知と終息措置(未臨界への移行)】

臨界を検知し、終息させる措置

(例)中性子吸収材の注入のように、臨界事故発生時において未臨界に移行させるための機能

R-SF(4) :【使用済燃料の未臨界性の維持】

施設内で保管される使用済燃料の十分な未臨界性の維持





# 再処理施設の安全機能の設定

## —R-FSFsとR-SFsとの関係—

＜基本的な安全機能＞ R-FSF(2) :【放射性物質の閉じ込め】

### ＜安全機能＞

R-SF(5) :【静的閉じ込め(障壁)の健全性の維持】

核燃料物質及び放射性物質を内包する槽、並びにそれらを収納するセル及び建屋の静的健全性維持

R-SF(6) :【動的閉じ込め(負圧勾配)の健全性の維持】

オフガス系及び換気系により負圧勾配を維持した動的閉じ込めの確保

R-SF(7) :【高レベル廃液等崩壊熱の除去】 高レベル廃液等の崩壊熱除去機能の維持

R-SF(8) :【最終ヒートシンクへの熱移送】 他の安全系から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】

施設内で保管される核燃料物質、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】

放射線分解ガスや他の可燃・爆発性物質の燃焼・爆発を防止

R-SF(11) :【運転時の環境への放射能放出の制限】

運転時の規定限界未満までの施設からの放射性物質の環境への放出の制限

R-SF(12) :【事故時の環境への放射能放出の制限】

事故条件下及びその後の施設からの放射性物質の環境への放出の制限

R-SF(13) :【放射能放出の公衆及び環境への影響の制限】

放射性物質の放出の作業者、公衆及び環境への影響を制限

R-SF(14) :【搬送放射性物質からの放射能放出制御の維持】

全ての運転状態での施設内での輸送、若しくは、保管された核燃料物質、放射性物質からの放射能放出の制御の維持



# 再処理施設の安全機能の設定

## －R-FSFsとR-SFsとの関係－

＜基本的な安全機能＞ R-FSF(3) :【放射線による外部被ばくに対する防護】

### ＜安全機能＞

R-SF(15) :【放射線下作業環境での作業者の被ばくの制限】  
放射線エリアでの作業環境維持

＜基本的な安全機能＞ R-FSF(1)、R-FSF(2)、R-FSF(3) に共通な安全機能

### ＜安全機能＞

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】

安全系に対する支援として必要なサービス、サポートシステム(電気、空気、水力の動力供給及び潤滑剤のようなもの)の確保

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】

想定される非常時の間、安全系の運転のため及び要員が安全上重要な運転の履行に必要な制御室の居住性のための環境条件の制御維持

R-SF(18) :【安全機能支障要因となる構造物、系統、機器の損傷・故障防止】

安全機能に支障を引き起こす構造物、系統、または機器の故障の防止、またはその影響を制限