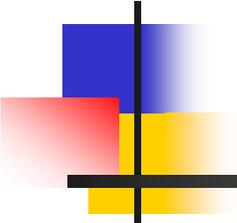


標準委員会セッション1(標準委員会 原子力安全検討会・分科会)  
「再処理施設における原子力安全の基本的考え方」



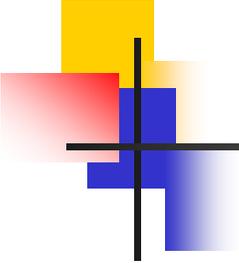
# 再処理施設の オブジェクトブ・ツリー

---

平成29年3月27日

眞部 文聡(三菱重工業)

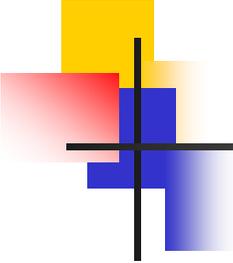
日本原子力学会 2017年春の年会 東海大学 湘南キャンパス



# 報告内容

---

- オブジェクト・ツリーの構成要素
- オブジェクト・ツリーの作成方法
- オブジェクト・ツリーの使用方法



# はじめに

- オブジェクティブ・ツリーとは？

深層防護の考え方に沿って、原子力施設における安全原則から安全対策への展開を包括的、かつ、体系的に実施するための決定論的な安全評価手法のひとつ

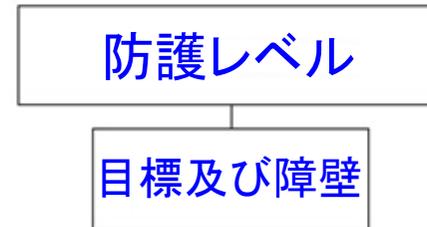
- 原子炉施設のオブジェクティブ・ツリー

日本原子力学会「原子力安全の基本的考え方について 第Ⅱ編 原子力安全確保のための基本的な技術要件と規格基準の体系化の課題について」

⇒ 原子炉施設と共通の構成要素で、  
再処理施設も同様の考え方で作成可能

# オブジェクトツリーの構成要素(1/6)

達成されるべきもの  
及び  
防護されるべきもの

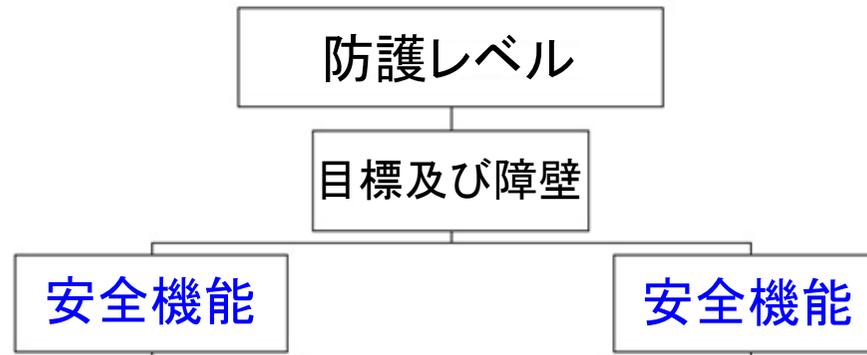


- ① 防護レベル (level of defence)  
個別安全原則に対応する深層防護レベル
- ② 個別安全原則 (Safety Principles)  
各防護レベルに対して達成されるべき目標と防護されるべき障壁

# オブジェクト・ツリーの構成要素(2/6)

達成されるべきもの  
及び  
防護されるべきもの

維持されるべきもの



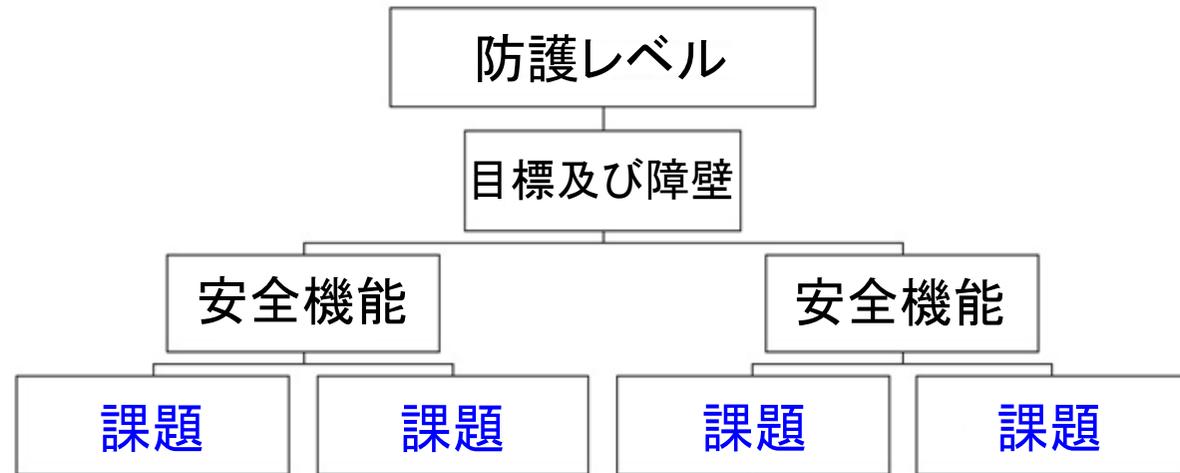
- ③ 安全機能 (Fundamental Safety Functions (FSFs),  
derived/subsidiary Safety Functions (SFs))  
個別安全原則を達成するための基本的な安全機能 (FSFs) 及び  
それから派生する安全機能 (SFs)

# オブジェクト・ツリーの構成要素(3/6)

達成されるべきもの  
及び  
防護されるべきもの

維持されるべきもの

対処されるべきこと



## ④ 課題(challenges)

安全機能の阻害要因であり, 安全機能を維持するために対処されるべきこと

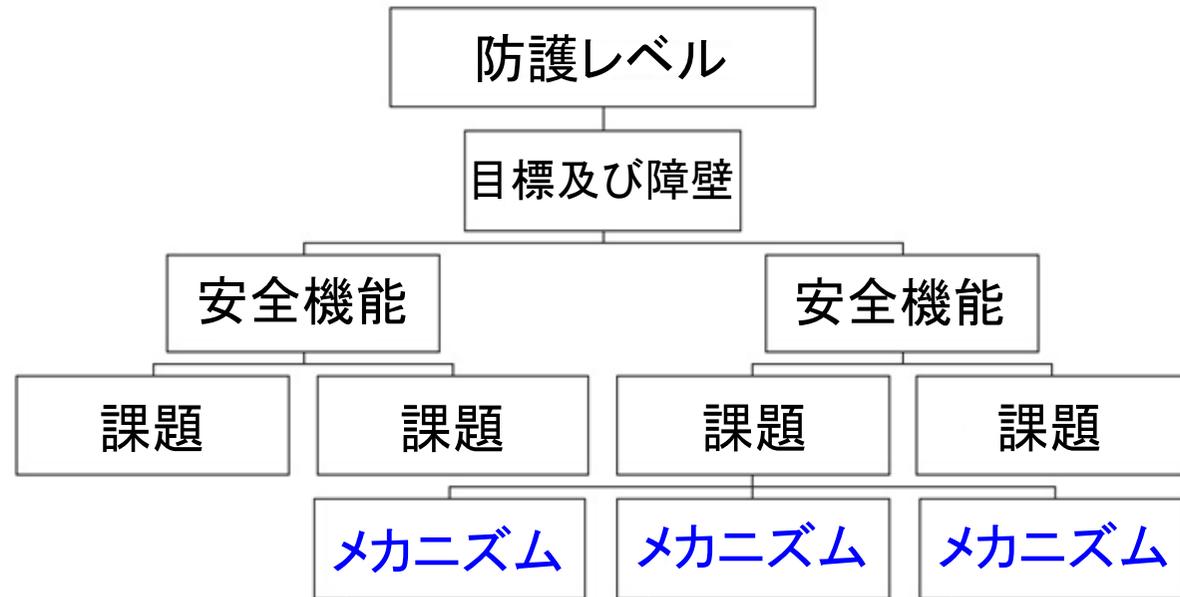
# オブジェクトブ・ツリーの構成要素(4/6)

達成されるべきもの  
及び  
防護されるべきもの

維持されるべきもの

対処されるべきこと

課題をもたらす  
可能性のある要因



- ⑤ メカニズム (mechanisms)  
課題の発生要因

# オブジェクトブ・ツリーの構成要素(5/6)

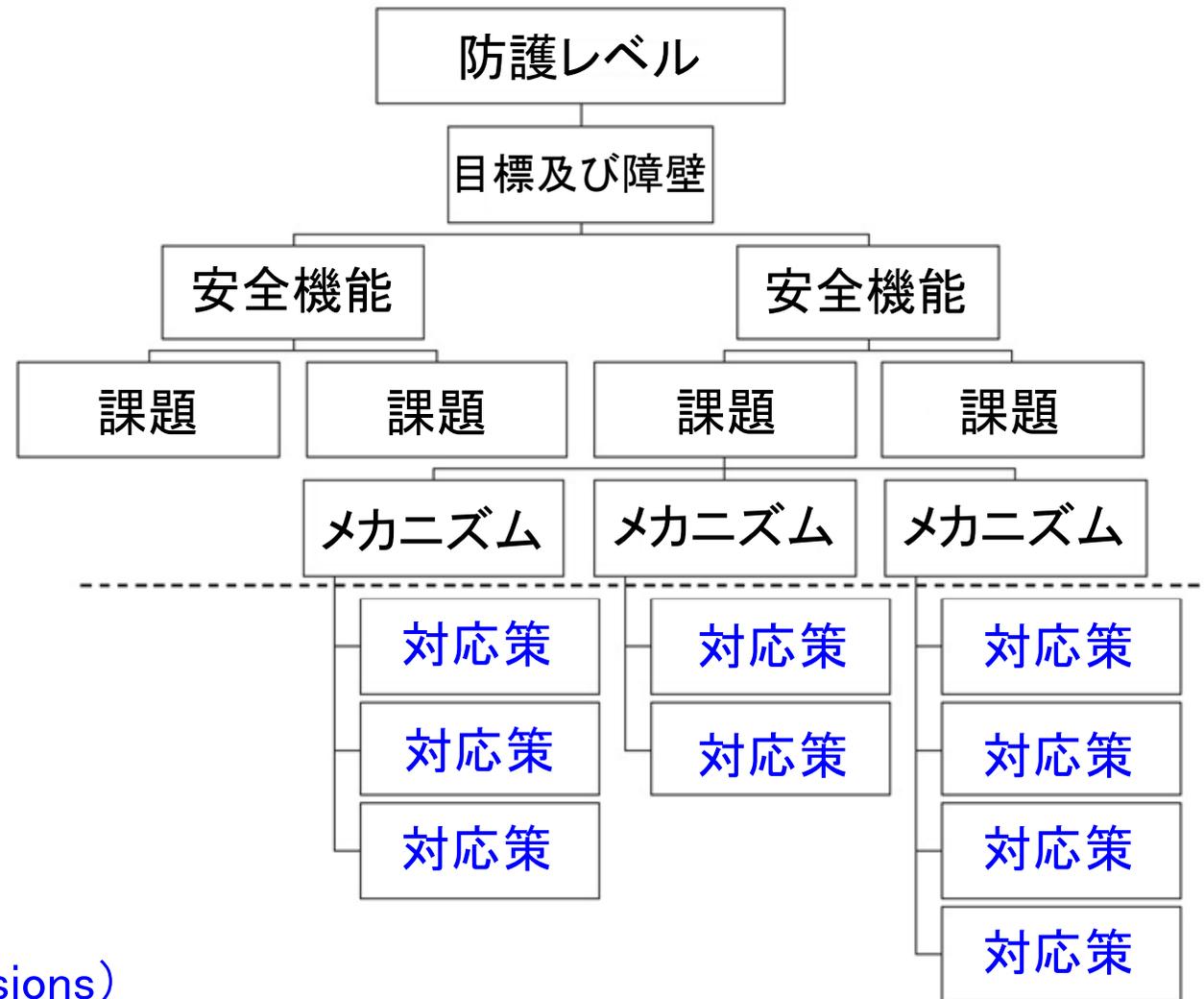
達成されるべきもの  
及び  
防護されるべきもの

維持されるべきもの

対処されるべきこと

課題をもたらす  
可能性のある要因

安全機能に影響を  
与えるメカニズムの  
発生を防ぐための  
対応策



- ⑥ 対応策 (provisions)  
メカニズムの発生防止のための手段

# オブジェクトブ・ツリーの構成要素(6/6)

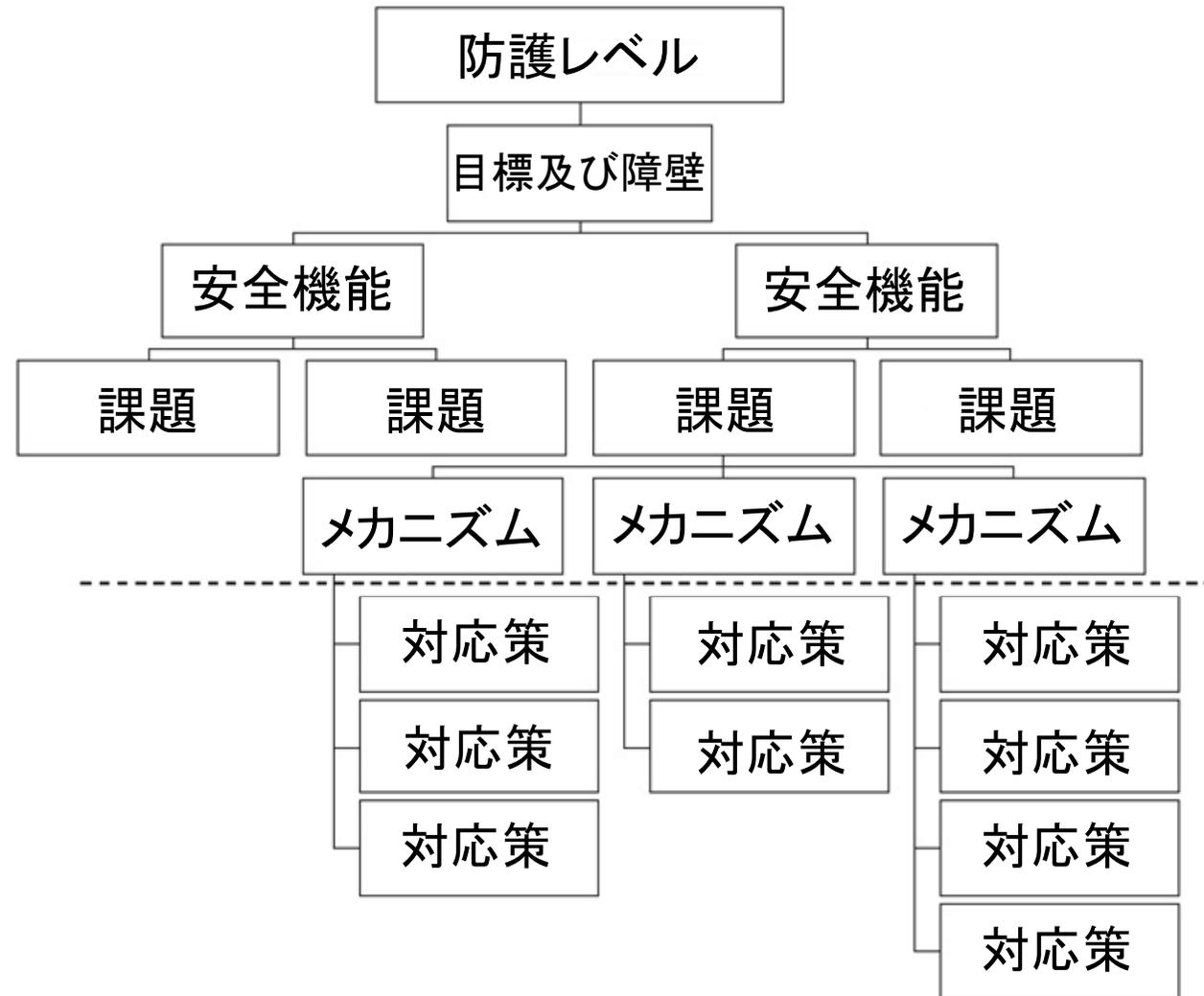
達成されるべきもの  
及び  
防護されるべきもの

維持されるべきもの

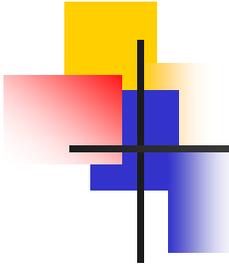
対処されるべきこと

課題をもたらす  
可能性のある要因

安全機能に影響を  
与えるメカニズムの  
発生を防ぐための  
対応策



⇒ 個別安全原則～対応策への設定の流れが一望できる



# オブジェクト・ツリーの作成方法(1/9)

## 再処理施設の防護レベルと個別安全原則の特定

要求される個別安全原則を特定し、個別安全原則毎にそのための防護レベルを明確化

⇒ IAEA INSAG-12の54の個別安全原則に対して、**再処理施設特有事項を加味して再整理し、56の個別安全原則(R-SPs)を設定**

### 【再処理施設特有として追加した個別安全原則】

- 臨界事故に対する防護と臨界安全
- 臨界制御手段
- 原子力安全に影響を与えうる可燃性・爆発性物質への防護
- 原子力安全に影響を与えうる有毒化学物質への防護

# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(2/9)

## 再処理施設の防護レベルの目的及び達成手段

レベル	目的	目的を達成するための手段 <sup>(1)</sup>	関連する施設状態
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通常運転からの逸脱及び安全上重要な設備の故障の防止</li> <li>・マネジメントシステムや多重性, 独立性, 多様性</li> <li>・健全かつ保守的に立地, 設計, 建設, 保守, 運転及び改造</li> </ul>	通常運転
2	通常運転からの逸脱の検知及び制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通常運転からの逸脱を検知し制御</li> <li>・異常な過渡変化(AOO)が事故状態へ進展するのを防止</li> <li>・起因事象の防止, 影響最小化, 安全状態に復帰させる措置</li> </ul>	通常運転時の異常な過渡変化(AOO)
3	設計基準で想定する事象の制御 <sup>(1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全ての事象を設計基準(design basis)の中で評価</li> <li>・固有の安全機能(features), フェイルセーフ設計, 追加の機器及び手順</li> <li>・工学的安全機能(features)</li> </ul>	設計基準で想定する事象 <sup>(1)</sup>
4	レベル3の失敗に起因する事故影響の緩和	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故の進展の防止及びシビアアクシデントの影響緩和</li> <li>・サイト外の汚染, 高い放射線レベルを回避, 最小化</li> <li>・早期の, または, 大規模な放射能の放出実質的排除</li> </ul>	シビアアクシデント
5	事故による放射能の放出, 高放射線の影響の緩和	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故による放射能の放出又は放射線影響の緩和               <ul style="list-style-type: none"> <li>－緊急時対応設備</li> <li>－緊急時対応の計画及び手順</li> </ul> </li> </ul>	

(1)DS478や最新のSSR2/1ではレベル3に一部のDECが含まれるとの解釈もある。

# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(3/9)

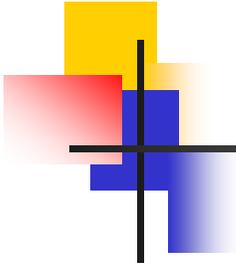
## 再処理施設の56の個別安全原則と防護レベルの設定

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(機器の適格性)			○		
	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	設計基準で想定する事象の制御			○			
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	○	○				
製造設	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	保全、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				○	
措置	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	R192	臨界事故に対する防護と臨界安全	○	○	○		
	R200	臨界制御手段			○	○	
	RXX1	放射線分解ガス及び爆発性・可燃性物質の生成の防止	○	○	○		
	RXX2	有毒化学物質に対する防護	○	○	○		

:INSAG-12に同じ
  :INSAG-12を再処理施設向けに見直し
  :再処理施設特有として追加



# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(4/9)

## 再処理施設の安全機能の設定

安全を確保するために必要な安全機能を特定し、防護レベル、個別安全原則毎にそれに必要な安全機能を明確化

⇒再処理施設の個別安全原則(R-SPs)を考慮し、IAEA DS360, IAEA SRS No.46を参考に、3つの基本的な安全機能(R-FSFs)とそれから派生した/副次的な18の安全機能(R-SFs)を設定。

### 【再処理施設の基本的な安全機能】

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

# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(5/9)

## 再処理施設の安全機能の設定(原子炉施設との対比)

		再処理施設の安全機能		原子炉施設の安全機能	
基本的な安全機能	R-FSF(1)	臨界の防止	FSF(1)	反応度の制御	
	R-FSF(2)	放射性物資の閉じ込め	FSF(2)	燃料の冷却	
	R-FSF(3)	放射線による外部被ばくに対する防御	FSF(3)	放射性物質の閉じ込め	
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	SF(1)	許容できない反応度変化を伴う過渡事象の防止	
	R-SF(2)	包括的臨界安全体系の維持	—	—	
	R-SF(3)	臨界の検知と終息措置(未臨界への移行)	SF(3)	必要に応じて原子炉停止	
	R-SF(4)	使用済燃料の未臨界性の維持	SF(18)	原子炉冷却材系(RCS)外で貯蔵される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	SF(10)	炉心内の燃料被覆管の健全性を許容可能な状態に維持	
	R-SF(6)	動的閉じ込め(負圧勾配)の健全性の維持	SF(11)	原子炉冷却材圧力バウンダリ(RCPB)の健全性の維持	
	R-SF(7)	高レベル廃液等崩壊熱の除去	SF(20)	事故条件下での格納容器の健全性の維持	
	R-SF(8)	最終ヒートシンクへの熱移送	SF(6)	原子炉冷却材圧力バウンダリ(RCPB)破損(LOCA条件)下での炉心からの熱除去	
	R-SF(9)	搬送放射性物質からの崩壊熱の除去	SF(7)	原子炉冷却材圧力バウンダリ(RCPB)破損が無い(非LOCA)条件下での運転状態及び事故条件下での炉心からの熱除去	
	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	SF(8)	安全系から最終ヒートシンクへの熱移送	
	R-SF(11)	運転時の環境への放射能放出の制限	SF(17)	原子炉冷却系(RCS)外で貯蔵される照射済燃料からの崩壊熱除去	
	R-SF(12)	事故時の環境への放射能放出の制限	—	—	
	R-SF(13)	放射能放出の公衆および環境への影響の制限	SF(14)	運転時の放射性物質放出の制限	
	R-SF(14)	搬送放射性物質からの放射能放出制御の維持	SF(12)	事故条件下での格納容器からの放射能放出の制限	
	R-SF(15)	放射線下作業環境での作業者の被ばくの制限	SF(13)	格納容器外の発生源からの放射性物質放出による放射線被ばくの制限	
	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	SF(21)	放射性物質放出による公衆及び環境への影響の制限	
	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	SF(16)	原子炉冷却系(RCS)外で輸送又は貯蔵される照射済燃料からの放射性物質放出の制御維持	
	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	SF(9)	安全系の支援としての必要なサービスの確保	
—	—	SF(15)	プラント内の環境条件の制御の維持		
—	—	SF(19)	安全機能に支障を与える可能性があるシステムの故障防止		
—	—	SF(2)	原子炉の安全停止状態の維持		
—	—	SF(4)	原子炉冷却材圧力バウンダリ(RCPB)破損が無い(非LOCA)条件下での十分な原子炉冷却材インベントリの維持		
—	—	SF(5)	全設計基準事象での十分な原子炉冷却材インベントリの維持		

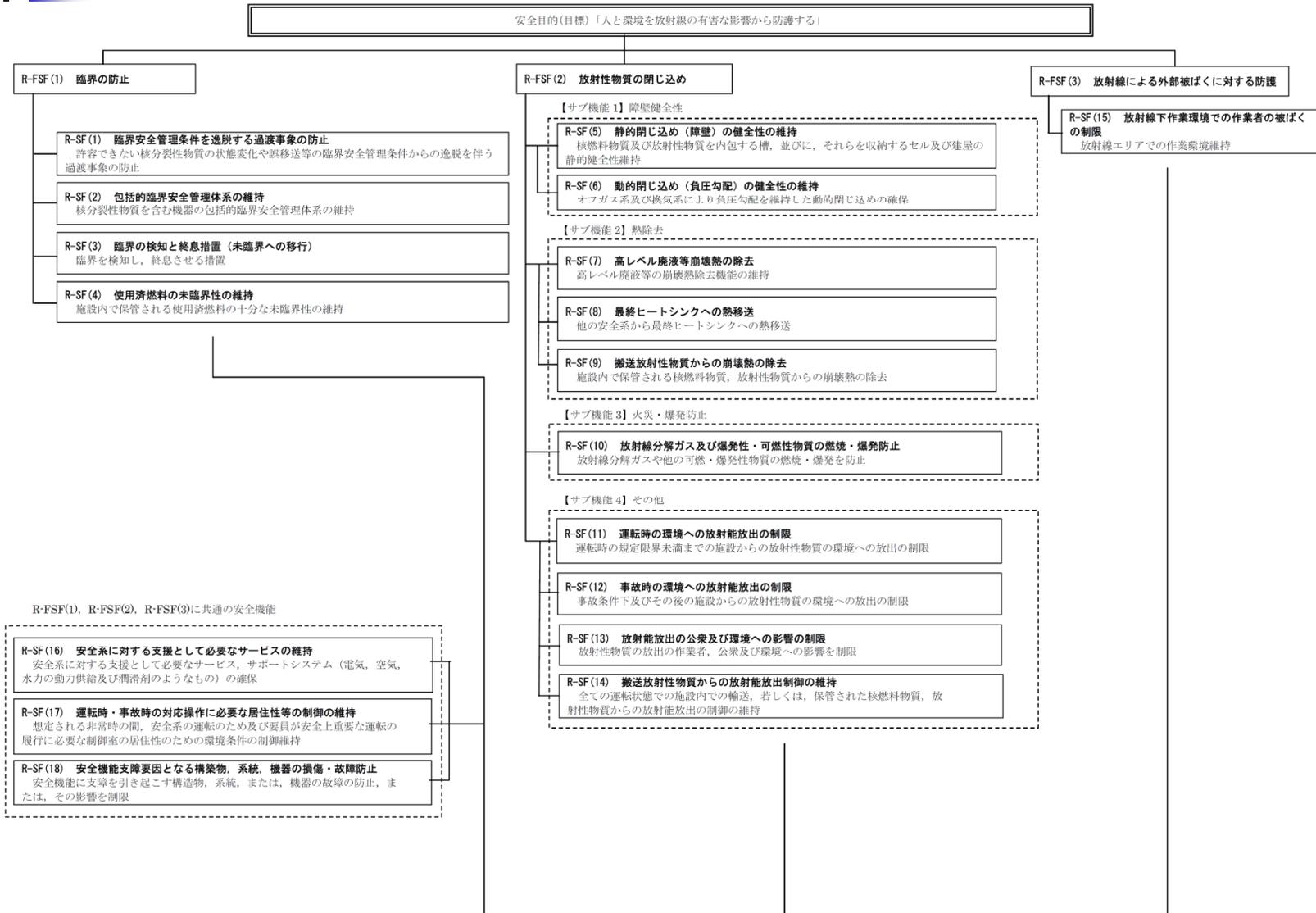
□ : 原子炉施設と同等

□ : 原子炉施設に特有

□ : 再処理施設に特有

# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(6/9)

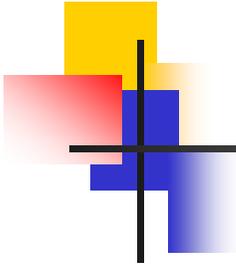
## 再処理施設の安全機能(R-FSFs, R-SFs)の関係



# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(7/9)

## 再処理施設の個別安全原則(R-SPs)と安全機能(R-SFs)の関係

供用段階	R-SPs No.	個別安全原則 (R-SPs)	防護レベル	安全機能 (R-SFs)	供用段階	R-SPs No.	個別安全原則 (R-SPs)	防護レベル	安全機能 (R-SFs)		
立地	136	プラントに影響を与える外部要因	1	全てのR-FSF	製造設	246	設計の安全評価	1~4	全てのR-FSF		
	138	公衆及び地域環境への放射線学的影響	1	R-SF(11), (14)		249	品質の達成	1~4	全てのR-FSF		
			2	R-SF(11), (14)		255	設計及び建設の検証	1~3	全てのR-FSF		
			3~4	R-SF(11), (14)				4	全てのR-FSF		
			5	R-SF(13)		258	運転及び機能試験手順の妥当性確認	1~4	全てのR-FSF		
	140	緊急時計画の実現性	5	R-SF(13)		260	基本データの収集	1~4	全てのR-FSF		
	142	最終ヒートシンクの準備	1~4	R-SF(7), (8)		262	運転前のプラント調整	1~4	全てのR-FSF		
	設計	150	設計管理	1~4		全てのR-FSF	運転	265	組織, 役割責任, 要員配置	1~4	全てのR-FSF
		154	実証された技術	1~4		全てのR-FSF				5	R-SF(13)
		158	設計に関する一般基準	1~4		全てのR-FSF			269	安全レビュー手順	1~4
164		プラントプロセス制御系	1	R-SF(1), (3)	272	運転行為			1	全てのR-FSF	
			2	R-SF(1), (3)	278	教育訓練			1~3	全てのR-FSF	
168		自動安全系	3	全てのR-FSF	284	運転限界及び条件			1~3	全てのR-FSF	
174		信頼性目標	3	全てのR-FSF	288	通常時運転手順			1	全てのR-FSF	
177		従属故障	3	全てのR-FSF	290	緊急時運転手順			2~4	全てのR-FSF	
182		機器認定(機器の適格性)	3	全てのR-FSF	292	放射線防護手順			1~4	R-SF(12), (17)	
186		安全設備の試験・検査可能性	1~4	全てのR-FSF	296	運転へのエンジニアリング・技術支援			1~5	全てのR-FSF	
188		設計における放射線防護	1	R-SF(11), (17)	299	運転経験のフィードバック			1~4	全てのR-FSF	
			1	R-SF(5), (7)	305	保全, 試験, 検査			1~4	全てのR-FSF	
195		一次静的閉じ込め障壁の健全性	2	R-SF(5), (7)	312	運転時の品質保証	1~4	全てのR-FSF			
			3	R-SF(5), (7)	318	アクシデント・マネジメントの戦略	4	全てのR-FSF			
1		R-SF(5), (7)	323	アクシデント・マネジメントの訓練と手順			4	全てのR-FSF			
2		R-SF(5), (7)					326	アクシデント・マネジメントの工学的設備	4	全てのR-FSF	
203		通常の熱除去	1~4	全てのR-FSF	329	廃止措置			—	R-SF(9), (13), (14)	
205		起動, 停止運転及び安全停止	3	R-SF(5), (7)			緊急時への	333	緊急時計画	4	R-SF(12), (13), (14)
207		緊急時の熱除去	4	全てのR-FSF	5	R-SF(13)					
			1	R-SF(5)	336	緊急時対応施設	4	R-SF(12), (13), (14)			
2		R-SF(5)	5	R-SF(13)							
217		放射性物質の閉じ込め	3	R-SF(12)	再処理施設特有	339	事故の影響評価及び放射線モニタリング	3~5	R-SF(13)		
221		閉じ込め構造の防護	4	R-SF(12)				R192	臨界事故に対する防護と臨界安全	1	R-SF(1)
			3	R-SF(5)	2	R-SF(1)					
227		プラント安全状況の監視	1~2	全てのR-FSF	3	R-SF(1)					
			3~4	全てのR-FSF	R200	臨界制御手段	3~4	R-SF(3)			
230		制御能力の保持	1~4	全てのR-FSF (特にR-SF(17))			RXX1	放射線分解ガス及び爆発性・可燃性物質の生成の防止	1~3	R-SF(10)	
233		発電所内全交流電源喪失	3~4	全てのR-FSF	RXX2	有毒化学物質に対する防護			1~3	R-SF(14), (17)	
237	設計基準で想定する事象の制御	3	全てのR-FSF								
240	核燃料物質及び放射性物質の取扱貯蔵	1~2	R-SF(4), (9), (14)								
242	プラントの物理的防護	1	全てのR-FSF								
		2	全てのR-FSF								



# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(8/9)

## 課題, メカニズム, 対応策の検討

防護レベル, 個別安全原則毎にそれに必要な安全機能を維持するための課題, メカニズムを検討し, 対応策へ展開

### 【課題の特定】

安全機能を維持するために対処すべき課題又は安全機能を阻害する脅威に対して対処すべきことの明確化

### 【メカニズムの特定】

安全機能を確保するためのメカニズムの明確化

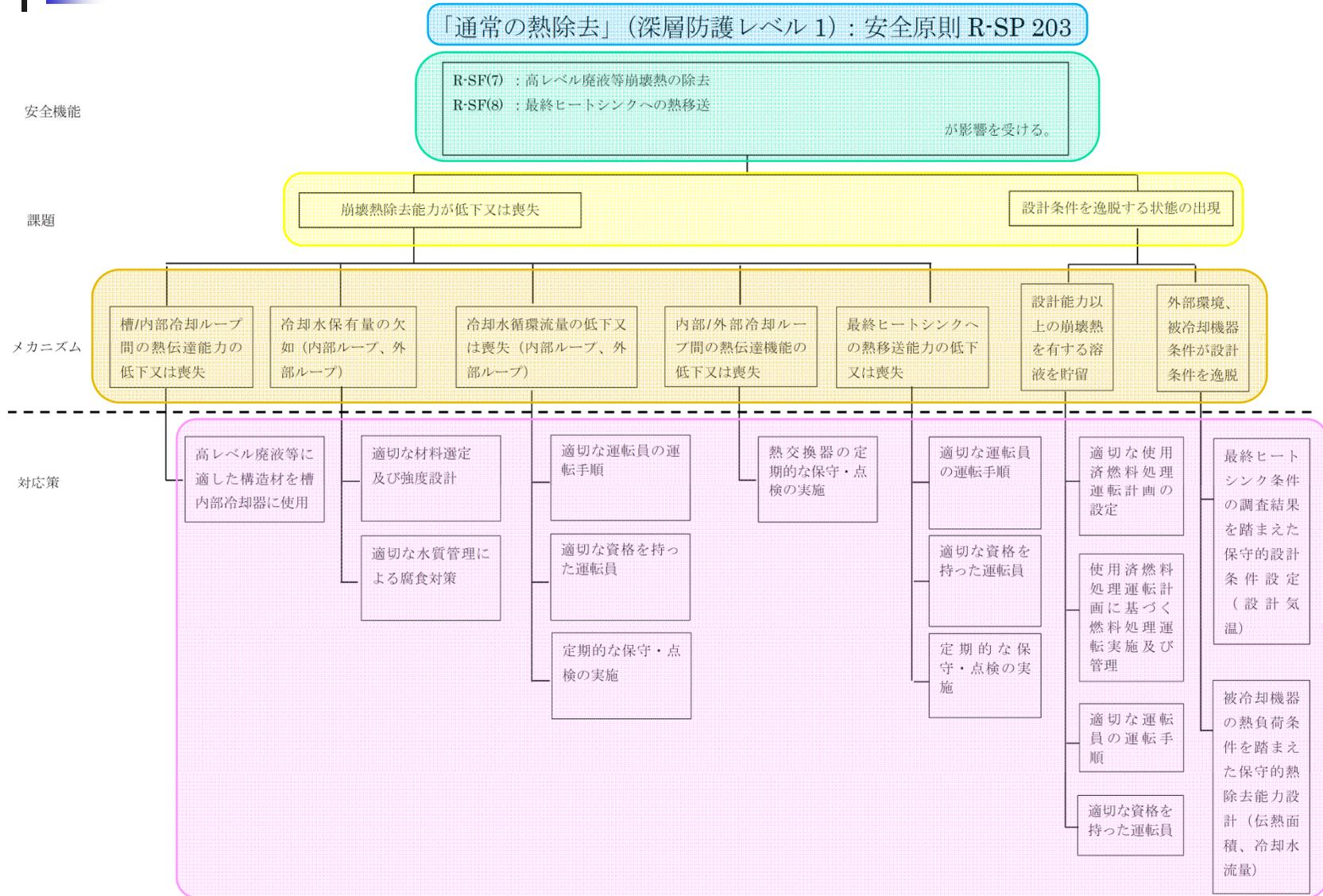
### 【対応策の設定】

施設特有の安全特性, 系統, 手順, 従事者の可用性及び訓練, 安全マネジメント, 安全文化などの明確化

⇒ 各種の安全基準, 専門家の工学的判断に基づき可能な限り包括的に実施

# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(9/11)

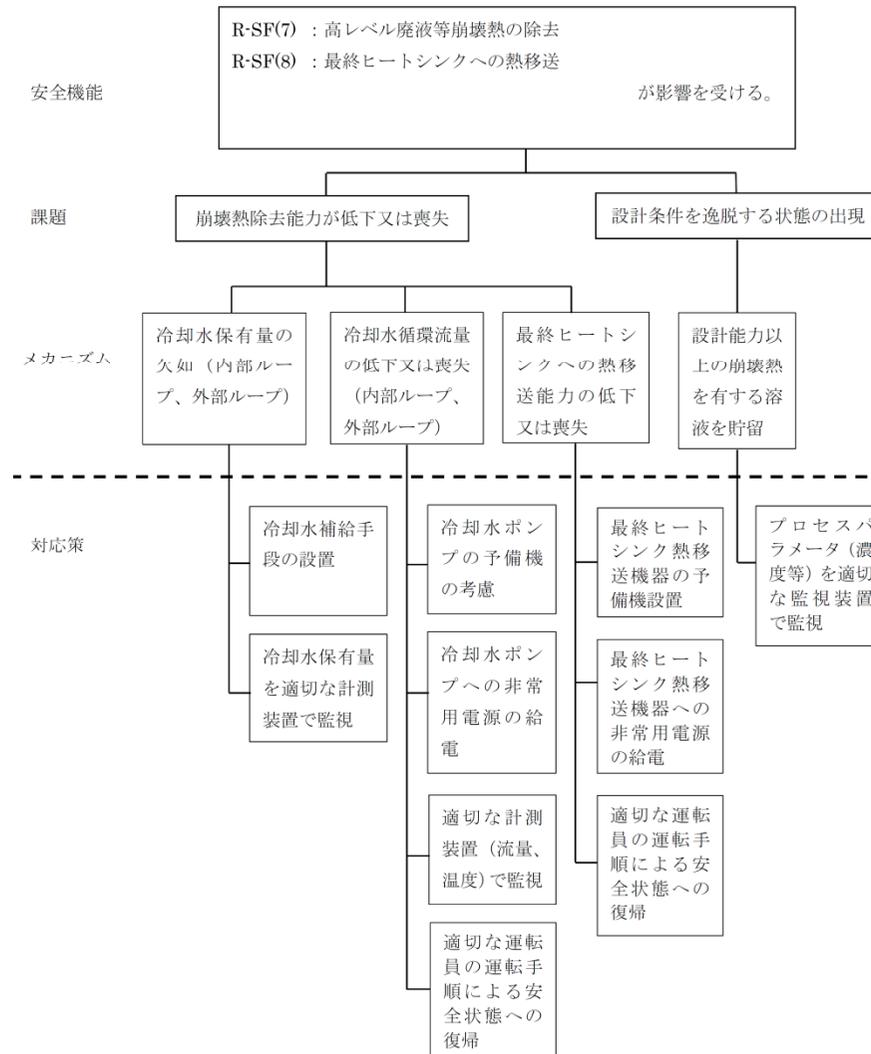
## 再処理施設のオブジェクトブ・ツリーのサンプル(1/3)



# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(10/11)

## 再処理施設のオブジェクトブ・ツリーのサンプル(2/3)

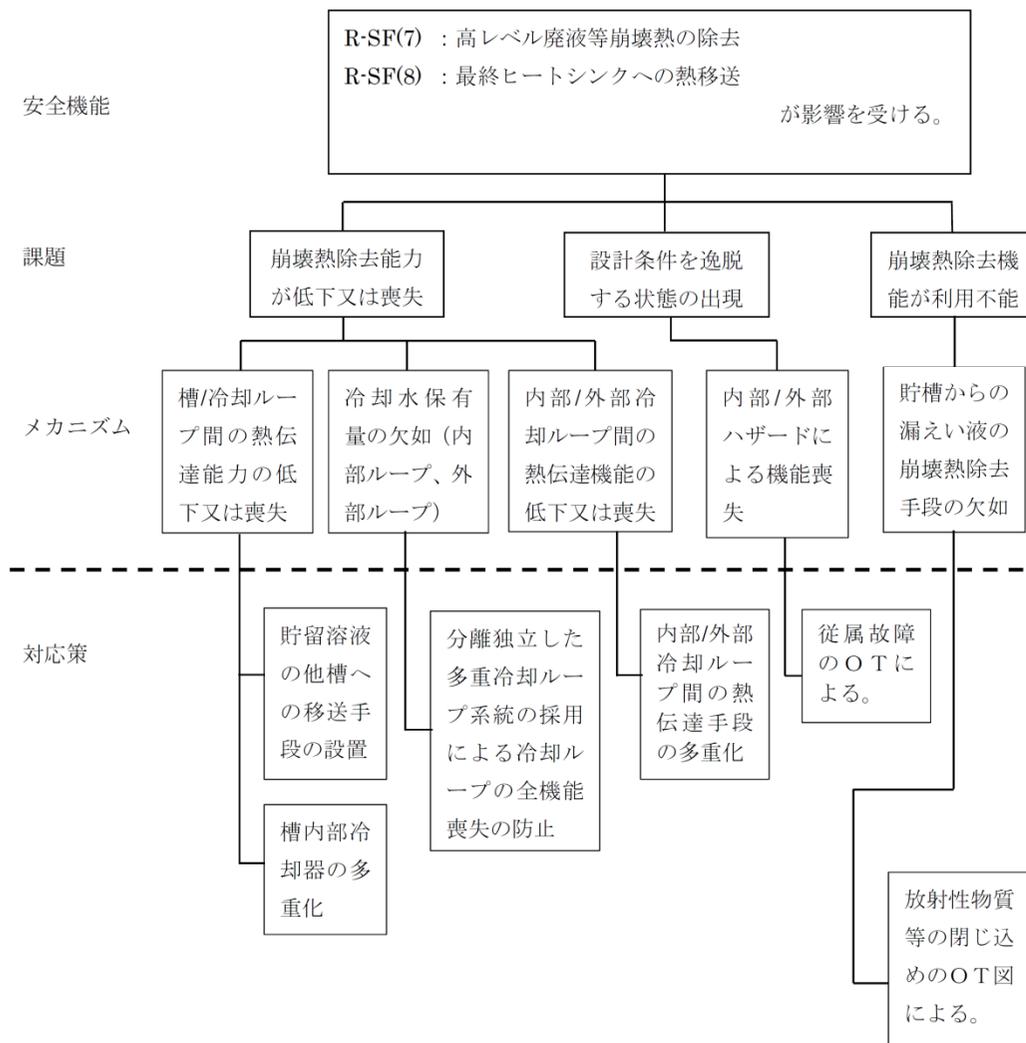
「通常の熱除去」(深層防護レベル2) : 安全原則 R-SP 203

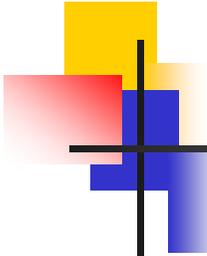


# オブジェクトブ・ツリーの作成方法(11/11)

## 再処理施設のオブジェクトブ・ツリーのサンプル(3/3)

「通常の熱除去」(深層防護レベル 3) : 安全原則 R-SP 203





## オブジェクトィブ・ツリーの使用方法

- オブジェクトィブ・ツリーは、深層防護の概念を反映した、施設の安全を体系的に評価するための手法
  - 個別安全原則から対応策までの展開を包括的かつ体系的に図示
  - 施設に要求される安全対策の考え方を構築
- 事業者は施設の安全を確保
  - 深層防護のための対応策の自己評価が可能
  - 実際の施設に対する安全対策の適性を確認
- オブジェクトィブ・ツリーで検討された対応策は選択肢
  - 再処理施設の特徴を踏まえ、そのリスクレベルに応じて、安全対策の内容や規模を決定
    - ⇒ グレーデッド・アプローチの適用