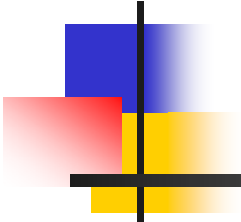


2014年3月28日@東京都市大学

2014年春の大会

標準委員会セッション3(原子力安全検討会、分科会)
「原子力安全確保のための基本的な技術要件」

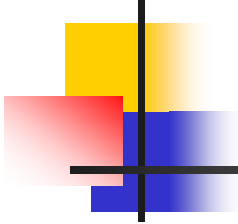


原子力安全確保のための技術 要件の考え方

平成26年3月28日(金)

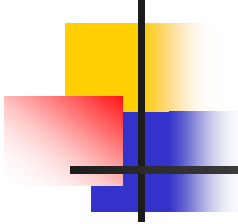
名古屋大学 山本 章夫

(原子力安全分科会 技術要件WG主査)



検討範囲

- 「原子力安全の目的と基本安全原則」と「基本的な技術要件」の関係検討
 - 基本安全原則から基本的な技術要件への論理的な展開方法を検討
- IAEAのSSR-2/1, 2/2が、ベースの技術要件として論理的妥当性・包絡性を有していることを確認
- 福島第一事故の教訓と指摘事項のうち、SSR-2/1・2/2、新規制基準およびオブジェクティブ・ツリーへ追加的に取り込むべき事項の検討
- 安全設計に関係する国内規格基準類を整備・体系化して行くにあたっての課題の検討
- 福島第一事故の教訓と指摘事項に基づくSSR-2/1, 2/2及び新規制基準への提案事項や留意事項の取りまとめ



基本安全原則と技術要件の関係： 検討の概要

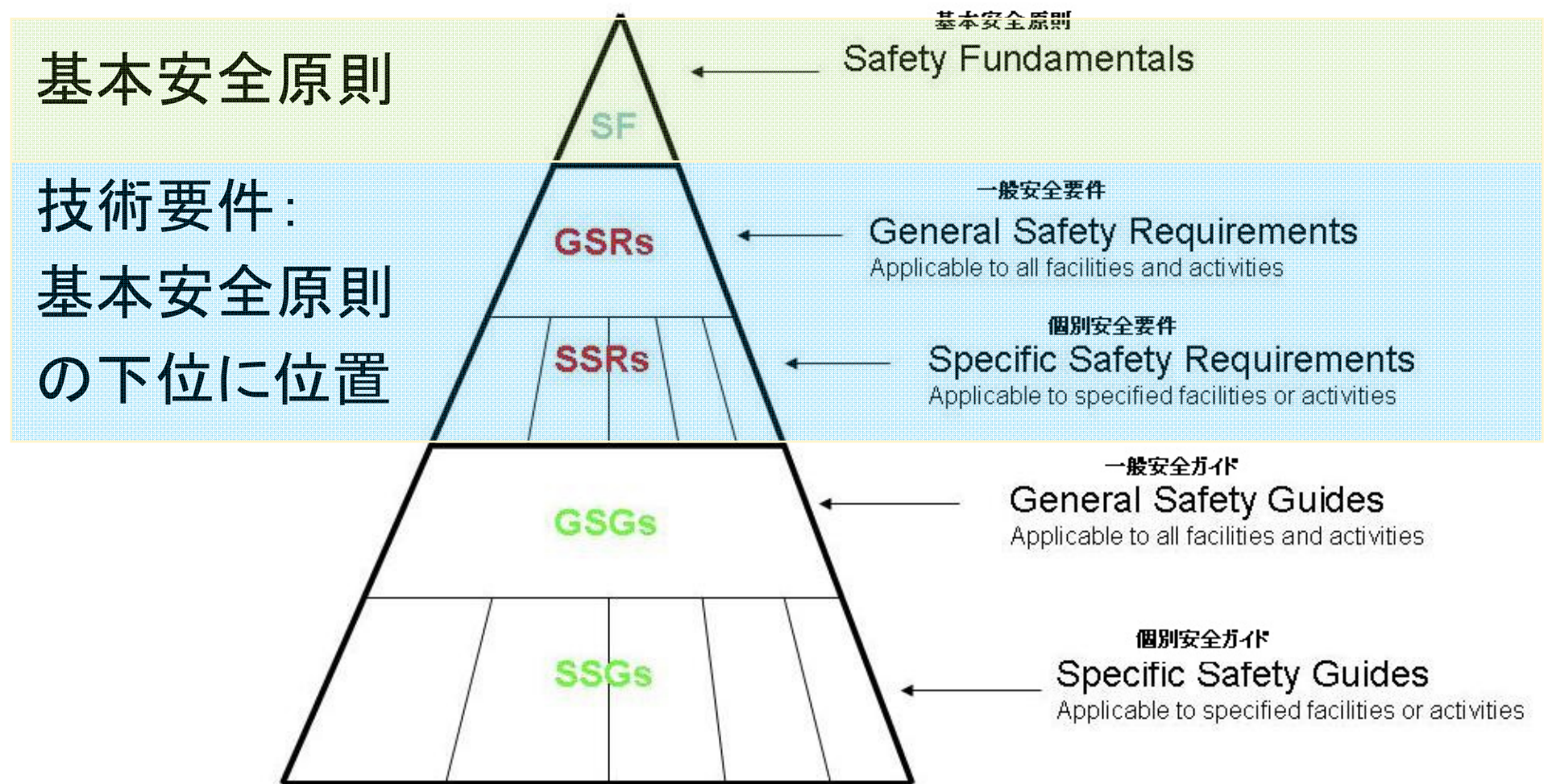
- 問題点

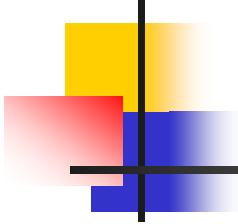
- 基本安全原則から技術要件への展開が明確でない

- IAEAの図書の実分析

- SF-1: 基本安全原則
- INSAG-12: 安全目的、全般安全原則、個別安全原則
- SRS No.46: オブジェクティブツリー
- SSR-2/1,2/2: 技術要件

基本安全原則と技術要件の関係： IAEAにおける安全基準体系





基本安全原則と技術要件の関係： 基本安全原則SF-1の概要

- 原子力安全の目的と基本的な考え方を基本安全原則の形に展開したもの
- 目的：人と環境を放射線リスクから防護すること
 - これは、放射線防護および技術的な安全により達成される
- 基本安全原則
 - 原則1:安全に対する責務、原則2:……、
 - 原則8:事故の防止、原則9……
- では、ここから具体的に技術要件をどのように展開するか？

基本安全原則と技術要件の関係： IAEA関連図書の関係

上位概念図書

INSAG-12

- 目標
- 基本原則
 - 管理者の責任
 - 深層防護の戦略
 - 一般的な技術原則
- 特定の原則
- ...

深層防護の観点による安全対策の分析

下位図書

Safety Report Series No.46

- 深層防護の概念
- プラント深層防護能力特定のためのアプローチ
 - アプローチの概要
 - 対策の仕様
 - オブジェクティブ・ツリー
 - ・ Provisions
- 適用例

基本安全原則

SF-1

- 安全目的
- 安全原則
 - 原則1
 - ...
 - 原則8 事故の防止
 - ...

安全目的・安全原則を満たすための技術要件(設計/運転)

下位図書

SSR-2/1, 2/2

- 安全目標、安全原則および安全概念の適用
 - 放射線防護
 - 設計における安全
 - 深層防護の考え方
 - プラント設計の運転寿命を通しての健全性維持
- 設計における安全の管理
- 主要な技術要件
 - 要件1、要件2
- ...

基本安全原則と技術要件の関係： SF-1とINSAG-12の関係

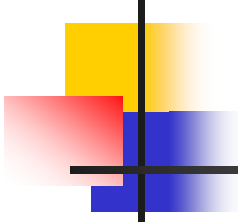
INSAG-12の安全目的と安全原則

安全目的 (目標)	全般的な原子力安全の目的	放射線防護の目的	技術的な安全の目的
基本的な安全マネジメント原則	安全文化	運転組織の責任	規制管理と検証
基本的な深層防護原則	深層防護	事故の防止	事故の軽減

SF-1の内容は、INSAG-12の安全目的、安全マネジメント原則、深層防護原則に基づいている

全般的な技術原則 (SSPs)		実証されている技術慣行 (3.3.1)		品質保証 (3.3.2)、自己評価 (3.3.3)、ピア・レビュー (3.3.4)		ヒューマン・ファクター (3.3.5)		安全評価と検証 (3.3.6)		放射線防護 (3.3.7)		運転経験と安全研究 (3.3.8)		運転の卓越性 (3.3.9)			
個別の安全原則		立地		設計		製造と建設		試運転		運転		事故管理 (アクシデントマネジメント)		廃炉		緊急時への備え	

(数字は、INSAG-12の中の該当項を示している)



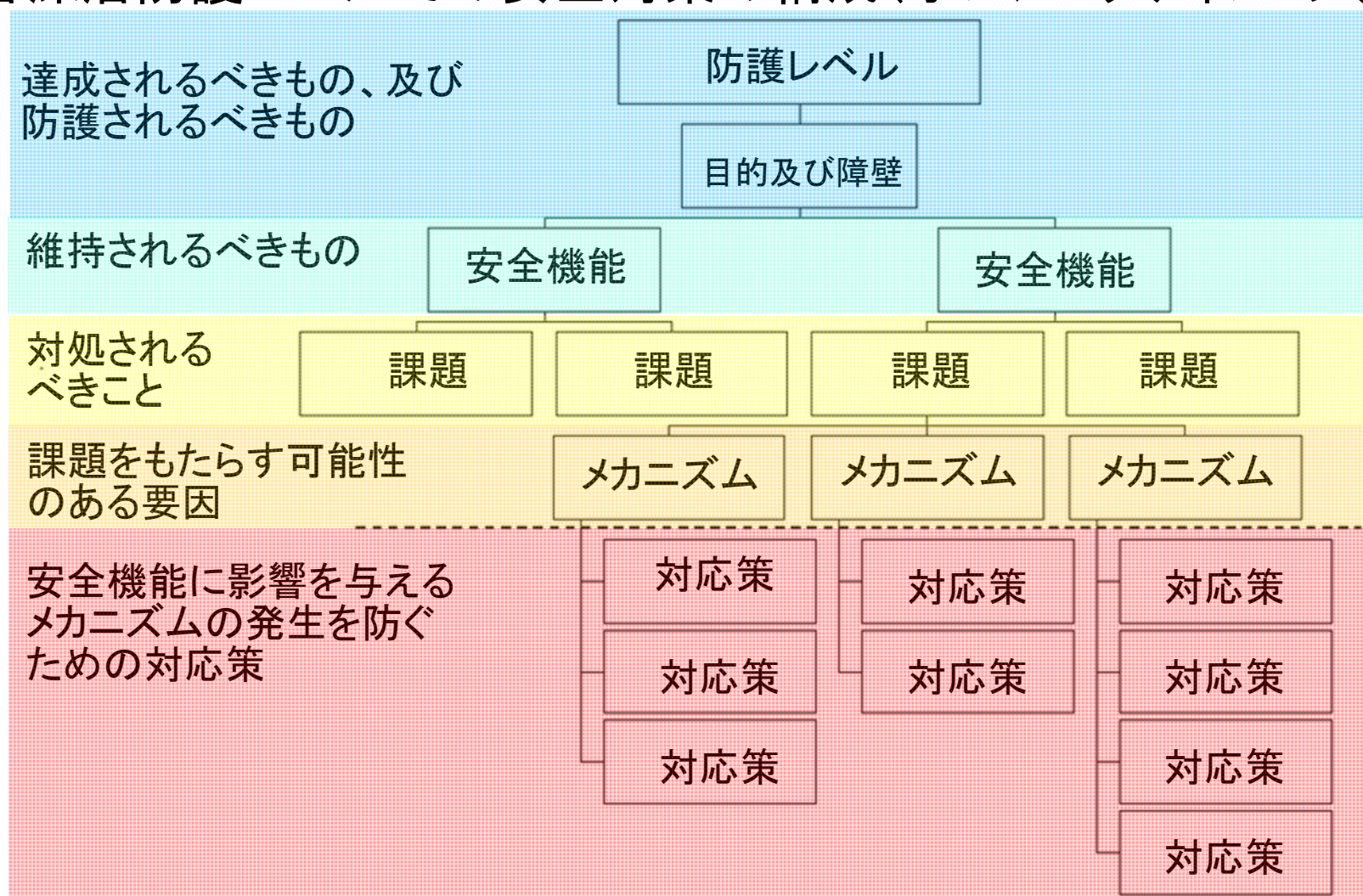
基本安全原則と技術要件の関係： INSAG-12とOTの関係

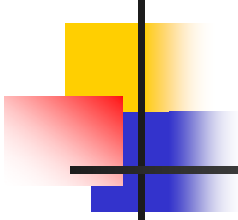
- SRS No.46におけるオブジェクティブ・ツリー(OT)を用いた手法
 - 様々な深層防護の考え方に基づく対応策の寄与を評価するための総合的な決定論的な安全評価の一つ
 - 安全目的(目標)から導かれる3つの「基本的な安全機能」(FSFs)と派生する21の「安全機能」(SFs)を担保するための対応策を体系的に同定
- 3つのFSFs
 - FSF(1) : 反応度の制御
 - FSF(2) : 燃料からの熱除去
 - FSF(3) : 事故時の放射性物質放出の制限、放射性物質の閉じ込め、通常運転時の放出の管理

基本安全原則と技術要件の関係

INSAG-12とOTの関係

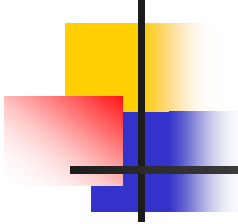
各深層防護レベルでの安全対策の構成(オブジェクトブ・ツリー)





基本安全原則と技術要件の関係： OTとSSR-2/1, 2/2の関係

- IAEA安全基準体系におけるSSR-2/1及びSSR-2/2の位置づけ
 - 原子力発電プラントの構築物、系統および機器ならびに安全上重要な要領書と組織上の措置などの技術要件
- SSR-2/1及びSSR-2/2は、深層防護の考え方を媒介として、基本安全原則SF-1の安全原則を技術要件に展開したものと位置づけられる。
 - しかし、SF-1とSSR-2/1, 2/2の関係について、明示的に説明された文書はない
- SRS No.46のオブジェクティブ・ツリー(OT)
 - INSAG-12における安全原則(SPs)を、深層防護の観点から、メカニズム、具体的なprovisionsにいたるまでツリーの形で体系的に展開
 - provisionsがプラントの安全を確保するための技術要件に相当
- オブジェクティブ・ツリーのprovisionsを書き下したものがSSR-2/1及び2/2の技術要件に対応している

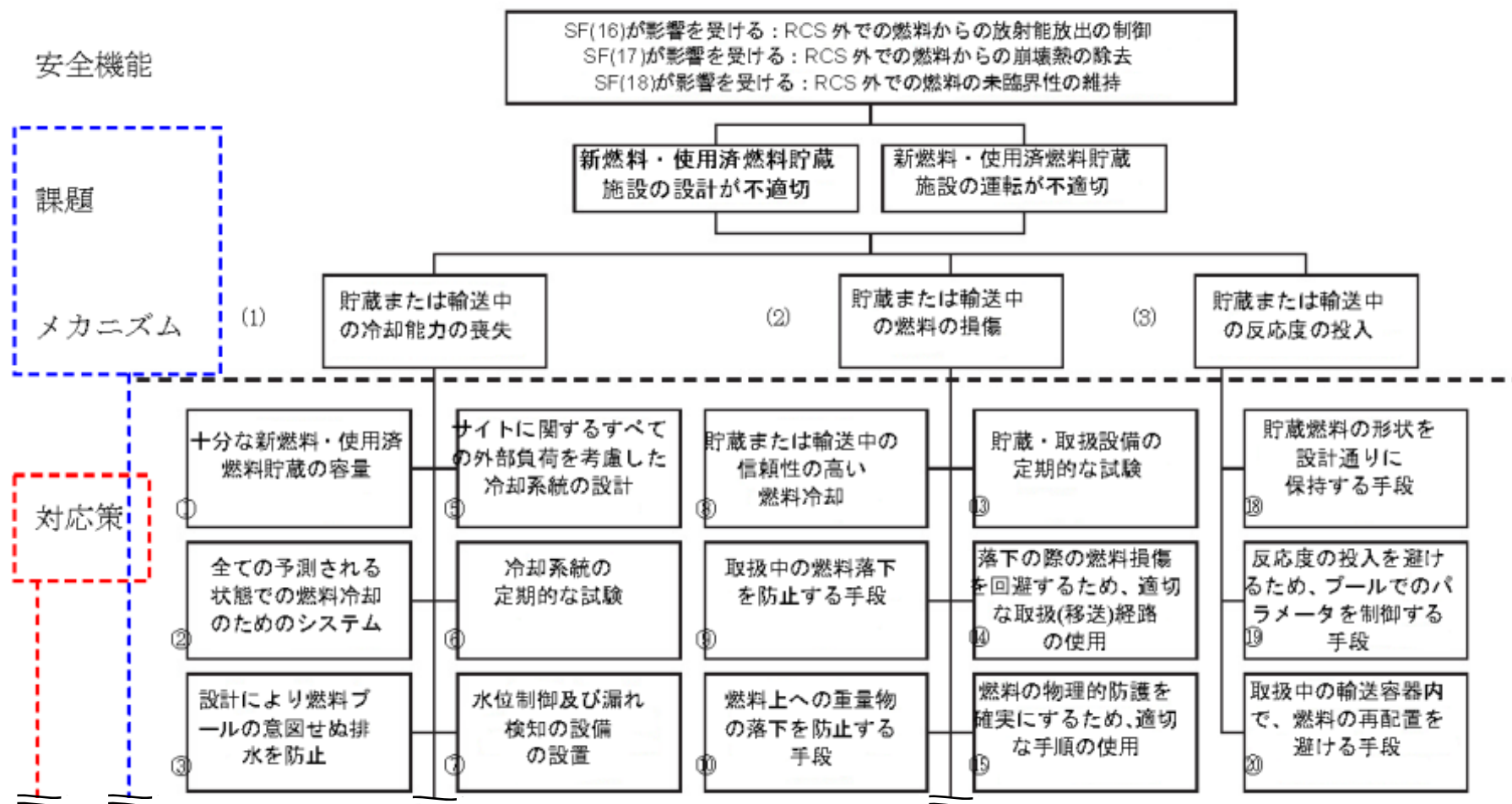


基本安全原則と技術要件の関係

- 深層防護の考え方に基づく、INSAG-12からSRS No.46のオブジェクティブ・ツリーに至る論理の流れは妥当
- 第 I 編「原子力安全の目的と基本原則」
 - 原子力安全の目的の明示と目的達成のために必要な基本原則
 - IAEAのSF-1と調和し、深層防護の考え方も、IAEAと基本的な相違なし
- 第 I 編「原子力安全の目的と基本原則」から技術要件に至る論理構造においても、この論理展開が活用できる
- すなわち、基本安全原則→オブジェクティブ・ツリー→技術要件、という流れで論理展開をはかれば良い
- 要確認事項
 - オブジェクティブ・ツリーから技術要件への展開の妥当性を検討
 - オブジェクティブ・ツリーとSSR-2/1, 2/2の整合性を確認

オブジェクト・ツリーから 技術要件への展開

図 5-2 Objective Tree の例 (図 52 新燃料および使用済燃料貯蔵)



オブジェクト・ツリーから 技術要件への展開

表 5-3 Objective Tree の Provisions と SSR の対応 (例) (1/2)

Provi
sions

→

⑪

⑭

⑮, ⑯

⑪

⑥, ⑬

⑭

⑨

⑮

⑯

SSR-2/1 及び 2/2 の要件

SSR-2/1 要件 80：燃料取扱・貯蔵系

燃料取扱・貯蔵系は、燃料の取扱いと貯蔵の全ての期間、燃料の健全性と特性が維持されることを確実にするために、原子力発電プラントに設けられなければならない。

6.64 プラントの設計では、新燃料及び使用済燃料の吊上げ、移動及び取扱いを容易にするため

6.65 プ

6.66 安
照

■ オブジェクト・ツリーから技術要件 への展開は可能

- オブジェクト・ツリーの課題(challenges)とその具体的なメカニズム(mechanisms)がSSR-2/1及び2/2の技術要件の主文の表現に相当。
- オブジェクト・ツリーのProvisionsは、付則の部分の表現に相当

オブジェクトブツリー(学会版)

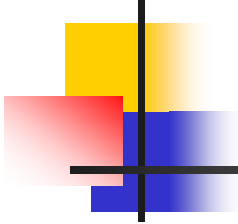
	図11 深層防護レベル1の目標ツリー (PIE = 想定起因事象) 安全原則(136) : プラントに影響を及ぼす外部要因		Provisions, IAEA 要件および日本における安全設備との対応			
安全機能	全ての FSF が影響を受ける : 反応度制御、燃料冷却、放射性物質の閉じ込め プラントに影響を及ぼすサイトの自然要因 プラントに影響を及ぼすサイトでの人的活動 地震、プラント構造安定性などに関して不都合なサイトの地震学的状況 外部の洪水（溢水）に関して不都合なサイトの水理学的状況 放射能の拡散（希釈）に不都合なサイトの水理学的状況 厳しい気象条件（風、高温、低温など） 有毒および可燃ガスの放出 飛行機衝突 化学的ハザード		Objective Tree Provisions	IAEA SSR-2/1,2/2 Requirement	日本における対応する規格・基準	具体的な安全設備
課題			①放射線リスクに重大な影響を与える自然現象の可能性の調査 ②放射線リスクに重大な影響を与える人為的事象の可能性の調査	SSR-2/1 要件 17 : 内的ハザード及び外的ハザード 原子力発電プラントの安全に直接的、間接的を問わず影響を与える可能性のある人為事象を含めて、全ての予見可能な内的及び外的ハザードは、特定され、その影響が評価されなければならない。プラントの安全上重要な関連設備の設計で用いる想定起因事象とその発生荷重の決定にハザードが考慮されなければならない。 付則 5.17	実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則： 第三条 設計基準対象施設の地震 第四条 地震による損傷の防止 第五条 津波による損傷の防止 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止	設置許可申請書 添付書類六 添付書類八
メカニズム				NS-R-3（原子炉等施設の立地評価）2 章全般的要件、3 章外部事象に対する	実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則： 第 4 条 設計基準対象施設の地震 第 5 条 地震による損傷の防止	
対応策	放射線リスクに重大		検討用オブジェクティブ・ツリー(学会版)			
	オブジェクティブ・ツリー図		Objective Tree Provisions	IAEA SSR-2/1,2/2 Requirement	日本における対応する規格・基準	具体的な安全設備
	...					
	① 対応策		① ~	SSR-2/1 要件a	〇〇基準 第X条	〇〇設備
	②		② ~	SSR-2/2 要件b	△△基準 第Y条	保安規定
	・					
	【解説】~					
	・オブジェクティブ・ツリー図に解説を追加					
	・対応策、IAEA SSR-2/1及び2/2及び日本の現行規格／基準との対応					

オブジェクト・ツリーと SSR-2/1及び2/2との整合性の確認

- オブジェクト・ツリーによる安全機能から安全対応策(provisions)への展開の流れの妥当性を我が国の原子炉施設を想定しつつ確認

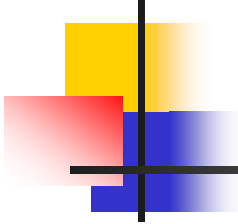
OTに対応する 安全原則	関係するOT図					該当するSSR-2/1 の要件	該当するSSR-2/2 の要件	該当要件
	深層防護レベル							
	1	2	3	4	5			
プラントに影響を及ぼす外部要因 (136)	OT11					○ 要件16		要件16: 想定起因事象
公衆及び地域環境への放射線学的 影響(138)	OT12					○ 要件17		要件17: 内部及び外部ハザード
						○ 要件5		要件5: 放射線防護
						○ 要件82		要件82: 放射線モニタリングの手段
		OT13				○ 要件79		要件79: 排出物の処理と管理のための系統
						○ 要件82		要件82: 放射線モニタリングの手段
						○ 要件5		要件5: 放射線防護
			OT14			○ 要件82		要件82: 放射線モニタリングの手段
					OT78		○ 要件18	要件18: 緊急時への備え
緊急時計画の実現性(140)					OT78		○ 要件7	要件7: 要員の認定と訓練
						○ 要件37		要件37: プラントの通信システム
							○ 要件18	要件18: 緊急時への備え
最終ヒートシンクの準備(142)	OT15						○ 要件7	要件7: 要員の認定と訓練
								要件37: プラントの通信システム
							○ 要件19	要件19: アクシデントマネジメントプログラム
								要件17: 内部及び外部ハザード
設計管理(150)	OT16							要件53: 最終的な熱の逃がし場への熱の輸送
								要件70: 熱輸送系
							○ 要件33	要件33: 廃止措置の準備
							2章	
							○ 要件10	要件10: プラント構成の管理
							○ 要件11	要件11: 建設のための準備
							○ 要件12	要件12: 放射性廃棄物管理と廃止措置を遂行するための配慮事項
							○ 要件14	要件14: 安全上重要な設備の設計基準(設計基礎: design basis)

...



オブジェクト・ツリーと SSR-2/1及び2/2との整合性の確認

- SRS No.46のオブジェクト・ツリーの記載内容のうち、我が国の原子炉施設で特に問題となるものは見受けられないことを確認
- オブジェクト・ツリーのprovisionsと、SSR-2/1及びSSR-2/2、現状の国内規格基準や安全設備との整合性を確認
- 安全機能からprovisionsまでのロジックを技術要件まで延長できることを確認
- 原子力安全確保のための「基本的な技術要件」のベースとして、IAEA安全基準SSR-2/1及び2/2に記載の個別安全要件を前提とすることは妥当
 - 基本安全原則からの展開のロジックが確認できた
 - オブジェクトツリーとの整合性



オブジェクト・ツリーから 技術要件への展開: 留意事項

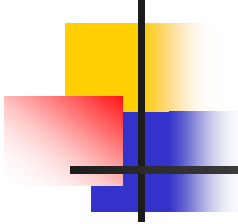
- 対応策 (provisions) の優先度
- 対応策 (provisions) 間の相互関連性の検証
- 他のIAEA安全基準類との関係
 - IAEA SSR-1/2及び2/2では、プラント設計から試運転・運転の範囲の要件を規定
 - 一方、IAEA SRS No.46のオブジェクト・ツリーのprovisionsの一部には、この試運転・運転の範囲に該当しないものがある。
 - IAEA SRS No.46のオブジェクト・ツリーの安全対応策全てを技術要件と紐付けるには、他の関連するIAEA安全基準を参照することが必要

オブジェクト・ツリーから 技術要件への展開: 留意事項

- IAEA個別安全要件 (SSR-1/2及び2/2)に該当しない対応策 (provisions)

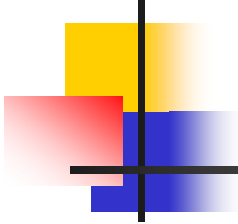
区分	OT 図	関係する対応策 (provisions)	該当する他の IAEA 安全基準の規定
	図 11	①放射線リスクに重大な影響を与える自然現象の可能性の調査	NS-R-3 2.4～2.13 全般的要件、2.14～2.21 外 自然事象及び外部人為事象による危険性の判 基準、並びに 3 章外部事象の評価に対する特 の要件が特に関係する。
		①放射線リスクに重大な影響を与える人為的事象の可能性の調査	
	図 12	① 物理的および環境的特性の調査	NS-R-3 4.1～4.3 放射性物質の大気中の分散、 4.4～4.6 地表水を通しての放射性物質の分散、 4.7～4.9 地下水を通しての放射性物質の分散、 4.14 当該地域における土地と水の利用が特に 係する。

...



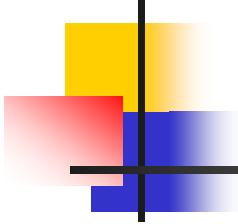
オブジェクト・ツリーから 技術要件への展開: 留意事項

- INSAG-12の安全原則(FSPs、SPs)と技術要件の関係
 - INSAG-12の個別安全原則とSSR-2/1及び2/2の技術要件との対応関係の明確化
 - 時系列的に整理されたINSAG-12の個別安全原則の構成およびオブジェクト・ツリーを参考にしたSSR-2/1及びSSR-2/2の要件構成の整理
- 実施基準レベルの技術要件への展開の可能性
 - SSR-2/1及び2/2へ落とし込む技術要件は、時間変化(時間軸)を考慮した具体的な対応策とはなっていない。
 - 時間軸を考えなければ有効な手が打てない事象に対しては、オブジェクト・ツリーで時間軸を考慮して展開を行い、具体的な安全対応策を策定し、性能要件を実施要件(仕様規定)レベルに展開することが必要となる。



オブジェクト・ツリーから 技術要件への展開:まとめ

- オブジェクト・ツリーから技術要件への展開は可能
 - オブジェクト・ツリーの課題(脅威: challenges)とその具体的なメカニズム(mechanisms)がSSR-2/1及び2/2の技術要件の主文の表現に相当。
 - オブジェクト・ツリーのProvisionsは、付則の部分の表現に相当
 - 安全対応策(provisions)は、ほぼSSR-2/1及び2/2の安全要件と対応。
- 「基本的な技術要件」のベースとしてSSR-2/1及び2/2に記載の個別安全要件を前提とすることは妥当



オブジェクト・ツリーから 技術要件への展開:まとめ

- オブジェクト・ツリーから技術要件への展開を図る際の留意事項
 - オブジェクト・ツリーの網羅性
 - Provisionsの優先度
 - Provisions間の相互関連性
 - 他のIAEA安全基準類との関係
 - 安全原則(FSPs、SPs)やオブジェクト・ツリーを参考にした技術要件の順番や要件の括りの整理
 - 実施基準レベルの技術要件への展開時には、時間軸を考慮する必要