

## 標準委員会セッション1

# 核燃料施設に対するリスク評価に関する 実施基準の策定に向けて

平成29年9月13日

標準委員会 リスク専門部会  
核燃料施設リスク評価分科会

日本原子力学会 2017年秋の大会 北海道大学

## 本日の企画セッションの構成

座長： 村松 健（東京都市大、分科会前主査）

(1)リスクの特徴とリスク評価の課題

分科会主査 吉田 一雄（原子力機構）

(2)これまでのリスク評価の実績

分科会委員 武部 和巳（日本原燃）

(3)実施基準の概要と特徴

分科会幹事 真部 文聰（三菱重工業）

(4)地震動に起因する事故の概略的なリスク評価

分科会委員 高橋 容之（鹿島建設）

(5) 総合討論

司会：村松 健（東京都市大）

パネラー：高橋 容之、武部 和巳、真部 文聰、吉田 一雄

メモ

3

メモ

4

2/48

標準委員会セッション1  
(標準委員会 リスク専門部会 核燃料施設リスク評価分科会)  
「核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準の策定に向けて」

## (1) リスクの特徴とリスク評価の課題

平成29年9月13日

吉田 一雄(日本原子力研究開発機構)

日本原子力学会 2017年秋の大会 北海道大学

## 実施基準策定の背景と目的

- 近年、原子力発電所の安全規制の分野を中心に、安全規制における意思決定の「合理性」、「整合性」、「透明性」を高める上でリスク評価の結果(リスク情報)を参考とするのが有効との認識が高まり、「リスク情報を活用した安全規制」(RIR: Risk Informed Regulation)の導入が各国で進められている。
  - 我が国では、核燃料施設を対象に、確率論的なリスク評価手法および基礎的データの整備が、積極的に実施。
  - 施設のリスクレベルに応じた適切かつ合理的な評価を実施するための体系的なリスク評価基準が未整備。
  - 施設の特徴を考慮した地震などの外的事象のリスク評価の基準も検討すべき重要な課題の一つ。
  - リスク評価から得られるリスク情報は、事業者が実施する安全確保での活用が想定される。
- ↓
- 標準委員会及びリスク専門部会では核燃料施設リスク評価分科会を設置し、核燃料施設のリスクレベルに応じた体系的なリスク評価の実施基準を策定。

# 核燃料施設リスク評価分科会の委員構成

委員	吉田 一雄	原子力機構(主査)	高橋 容之	鹿島建設	平野 光將	電中研
	糸井 達哉	東京大(副主査)	武田 和仁	東京電力HD	松村 歩	GNF-J
	眞部 文聰	三菱重工業(幹事)	武部 和巳	日本原燃	牟田 仁	東京都市大
	浅沼 徳子	東海大	橋本 和典	電中研	村松 健	東京都市大(前主査)
	阿部 仁	原子力機構	原口 龍将	三菱重工業		
	石田 倫彦	原子力機構	平田 和太	原安進		
退任: 関根 啓二(元日本原燃)、藤田 茂(原燃工)、美原 義徳(鹿島建設)、山中 康慎(東京電力HD)						

常時 参加者	柿木 俊平	原燃工	寺山 弘道	三菱原燃	横塚 宗之	規制庁
	岸本 和也	三菱重工業	成宮 祥介	関電		
	高梨 光博	規制庁	松岡 伸吾	元日本原燃		
退任: 内山 軍蔵(原子力機構)、河野 卓矢(三菱重工業)、吉田 初美(規制庁)						

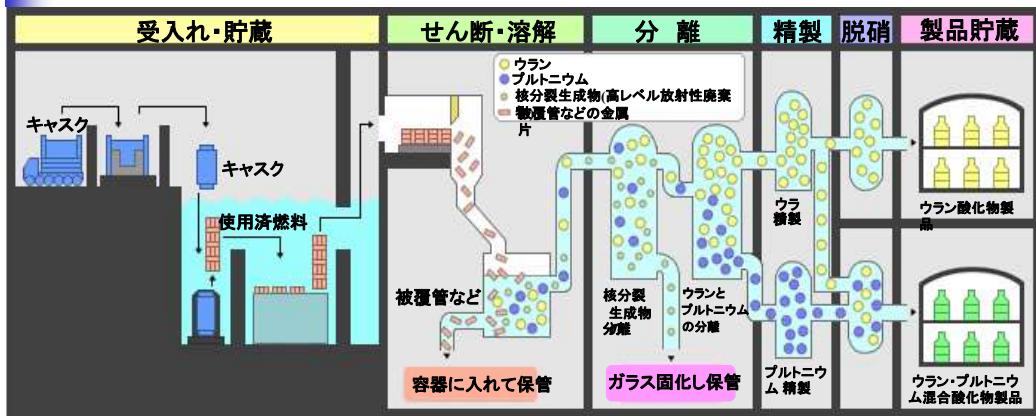
3

## 策定の経緯

年度	2014	2015		2016			2017
標準委員会	分科会設置承認 ▼ 9/26				中間報告 ▼ 3/8	意見募集	本報告 ▼ 6/7 決議投票→承認
リスク専門部会	分科会設置承認 ▼ 9/16	検討状況報告 ▼ 6/8	中間報告(本文のみ) ▼ 12/3	中間報告(本文+附属書) ▼ 6/6 意見募集	本報告 ▼ 11/24 決議投票→承認	報告 ▼ 2/22	報告 ▼ 5/30
核燃料施設リスク評価分科会	第1回 ▼ 10/23	第8回 ▼ 5/21	第14回 ▼ 11/25	第20回 ▼ 5/30	第24回 ▼ 11/11	第25回 ▼ 2/9	第26回 ▼ 5/19
核燃料施設リスク評価分科会	第2回 ▼ 12/3		第15回 ▼ 12/22				第27回 ▼ 8/3
関連分科会への説明意見募集			地震PRA作業会 ▼ 1/19	意見募集			
			外的事象PRA分科会 ▼ 1/26	意見募集			

4

# 再処理施設の主要な工程



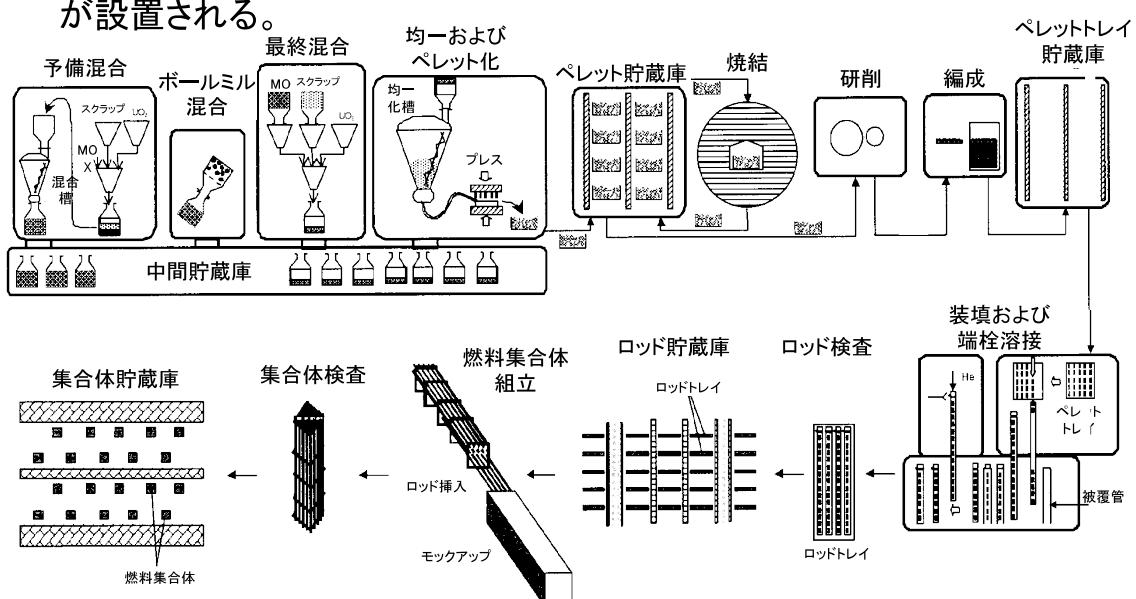
- 様々な形態(固体、液体、気体)・性質の放射性物質を、様々な箇所で、様々な規模・環境で扱う。
- 工程内各箇所に様々なハザード源(放射性物質、熱、可燃性・爆発性物質)が分布しており、様々な異常事象が想定される。

図は「日本原燃㈱, <http://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/cycle/summary/process.html> (2017/02/15閲覧)」より転載

5

# MOX燃料加工施設の主要な工程

ウラン燃料加工施設も基本的工程は同様。しかしMOX施設ではPu等の放射性物質を厳重に閉じ込めるためグローブボックスなどが設置される。



Duke Cogema Stone & Webster, "MFFF Construction Authorization Report," Docket No. 070-03098, Revision: 10/31/02 (2002)より日本語訳し転載

6

# ハザードの特徴とリスク評価における課題

## ハザードの特徴

- 施設全域に放射性物質が種々の形態(溶液, 粉末, ペレット, 燃料棒など)で存在。
- 多様な事故の形態(火災, 爆発, 臨界, 沸騰など)。
- 事故時の施設外へ移行する放射性物質の量だけでなく種類, 化学形態により被ばく線量が変化。
- 施設の種類と規模, 同一施設でも事故の種類で危険源と事故シナリオに大きな差異。
- $UF_6$ は化学的影响を及ぼす。
- 一つの事故が異なる事故を誘発。

## リスク評価の課題

- 事故候補の抽出における可能な範囲での網羅性の確保。
- 放射性物質放出に至る事故の発生頻度と影響評価の組合せによるリスク評価。
- 放射性物質放出までを対象とする事故シーケンス。
- リスク上重要な事故の効率的な選別。
- リスクレベルに応じた評価の詳細度の選択(グレーデッドアプローチ)。
- $UF_6$ と水との化学反応に伴う派生物の影響の考慮。
- 起因事象の従属性の考慮が重要。

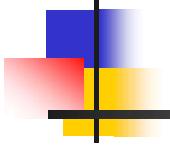
7

## まとめ

- 個々の施設の特性を考慮したリスク評価を実施する中で、リスク評価上の課題の解決がなされた。
- リスク評価の実績を実施基準として集大成した。
- 地震動に起因する事故の概略的なリスク評価は、簡略化された評価手法の既存の研究成果を考慮し新たに整備した。

8

標準委員会セッション1  
(標準委員会 リスク専門部会 核燃料施設リスク評価分科会)  
「核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準の策定に向けて」

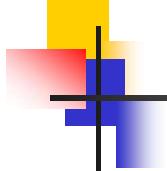


## (2) これまでのリスク評価の実績

平成29年9月13日

武部 和巳(日本原燃)

日本原子力学会 2017年秋の大会 北海道大学



### 説明項目

1. はじめに
2. 米国における核燃料施設のリスク評価
3. 英国における核燃料施設のリスク評価
4. 仏国における核燃料施設のリスク評価
5. 国内ウラン加工施設のリスク評価
6. 国内MOX燃料加工施設のリスク評価
7. 国内再処理施設のリスク評価
8. まとめ

# 1. はじめに

- 国内の核燃料施設には建設中及び竣工前の施設を含めウラン加工施設(濃縮、燃料加工(再転換工程を含む施設がある)), MOX燃料加工施設及び再処理施設がある。
- これら施設に対して、旧原子力安全基盤機構、日本原子力研究開発機構、日本原燃などを中心に、リスク情報の活用に向けて、個々の施設の安全上の特徴を反映しつつ積極的にリスク評価手法及び基礎的データを整備するとともに、これらを用いたリスク評価が実施されている。
- 海外では規制機関による核燃料施設へのリスク評価実施の規制要求が行われている。

3

# 2. 米国における核燃料施設のリスク評価

- 2000年: 10 CFR(連邦規則) Part 70の改訂 ➔ 臨界量以上の核物質を取扱う施設に対し総合安全解析(ISA: Integrated Safety Analysis)の実施を規定

ISAは、許容できないような影響をもたらし得る全てのハザードが適切に評価され、  
適切な防護手段が取られていることを確認するための取組み。

USNRC, ISA Guidance Document, NUREG-1513, 2001

- 2002-2005年: 該当する6つのウラン加工施設、ウラン濃縮施設でISAを実施。  
許容できない性能上の欠陥の改善
- MFFF(再処理工程を含む)の安全審査で活用
- ISAの実施項目
  - 対象施設のハザードを系統的に同定(放射性物質、臨界、火災、化学物質等の全てのハザードを考慮 ➔ 「総合」の意味)
  - 潜在的な事故シーケンスとその発生頻度、影響を同定
  - その発生を防止し、その影響を緩和するために必要な「安全のために必要な事項(IROFS:Items Relied on for Safety)」(設備・機器及び人の活動)を同定
- ISAの特徴: 簡略な評価手法の採用 ➔ Graded Approach
  - 事故シーケンスの発生頻度: 頻度を指數(オーダー)で評価
  - 事故影響評価: 実験や解析結果に基づく簡略な「五因子法」

出典: 吉田一雄、「核燃料施設でのリスク評価の現状(MOX燃料加工施設及び再処理施設)」、核燃料施設等の新規制基準に関する検討チーム 第3回会合 資料

4

## 2. 米国における核燃料施設のリスク評価

- 「性能要求」: ISAの結果、以下を満足しなければならない(10 CFR 70.61)
  - 「影響が大きな事象」の発生頻度は、「極めて低く」なければならない。
  - 「影響が中くらいの事象」の発生頻度は、「低く」なければならない。
  - 「影響が小さな事象」の発生頻度は、低くとも(not unlikely)許容される。
- 頻度区分は、事業者が定義(NRCと合意)する。

リスクマトリクス上に示した「性能要求」

影響 頻度	頻度区分1 極めて低い	頻度区分2 低い	頻度区分3 低くない
影響区分3 大	3 許容可	6 許容不可	9 許容不可
影響区分2 中	2 許容可	4 許容可	6 許容不可
影響区分1 低	1 許容可	2 訸容可	3 訸容可

「影響区分」(10 CFR 70.61)

- 「従事者」、「公衆」、「環境」の各々について定義。化学的影響についても定義されている(以下は放射線のみ記載)。

影響度	従事者	公衆	環境
影響区分3	1Sv以上	0.25Sv以上	
影響区分2	1Sv以下 0.25Sv以上	0.25Sv以下 0.05Sv以上	10CFR20 App.B の表2の5000倍
影響区分1	上記以下	上記以下	上記以下

出典: 吉田一雄、「核燃料施設でのリスク評価の現状(MOX燃料加工施設及び再処理施設)」、核燃料施設等の新規制基準に関する検討チーム 第3回会合 資料

5

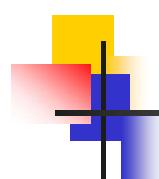
## 2. 米国における核燃料施設のリスク評価

- 再処理規制の検討において、影響レベルに応じてリスク評価手法を使い分けるISA-PRAハイブリッド・アプローチをNRCスタッフが提案(未決定)。

ISA-PRAハイブリッド・アプローチで用いる影響しきい値 (2011年11月18日付SECY-11-0163)

事象	対象	
	従業員	敷地境界外の個人/環境
影響度高高事象(VHCE) ・very highly unlikelyとなるよう防止 ・PRAが必要	・TEDE 100 remを大きく超える ・命の危険(化学) ・しきい値を超えるFP、原子炉級Pu、TRUの存在によるHCE ・累積(全リスクを考慮) ・バリュー・インパクト解析	・TEDE 100 remを超える ・命の危険(化学) ・しきい値を超えるFP、原子炉級Pu、TRUの存在によるHCE ・累積(全リスクを考慮) ・バリュー・インパクト解析 ・10CFR Part 20附則B表2の値の50万倍を超える ・EPAの防護活動指針(PAG)を超える ・損害が10億ドルを超える
影響度高事象(HCE) ・highly unlikelyとなるよう防止 ・影響度中または低となるよう防止または緩和 ・PRAが必要となりうる	・TEDE 100 remを超える ・命の危険(化学) ・累積(全リスクを考慮) ・バリュー・インパクト解析	・25 remを超える ・可溶性ウラン30mgを超える ・回復できないまたは重篤で長期継続する健康影響(化学) ・累積(全リスクを考慮) ・バリュー・インパクト解析 ・10CFR Part 20附則B表2の値の5万倍を超える ・EPAの防護活動指針(PAG)を超える ・損害が1億ドルを超える
影響度中事象(ICE) ・unlikelyとなるよう防止 ・影響度低となるよう緩和	・25 remを超える ・回復できないまたは重篤で長期継続する健康影響(化学)	・5 remを超える ・穏やかに進行する健康影響(化学) ・10CFR Part 20附則B表2の値の5千倍を超える
影響度低事象(LCE)	・穏やかに進行する健康影響またはそれ未満	・上記未満の影響

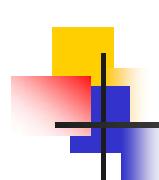
6



### 3. 英国における核燃料施設のリスク評価

- 1980年代より再処理施設を含む原子力施設の安全解析に確率論を積極的に取り入れている
- 安全目標が規制機関により示されている
- 再処理工場の事故(セル内溶媒火災など)を対象としたリスク評価例が多数報告されている
  - P. W. Ball, G. Hensley, "Reliability analysis and the use of probabilistic risk assessment in the storage of highly radioactive liquid wastes," Paper presented at the Fourth EuReDatA Conf., Venice, March 1983.
  - N. J. James, G. Hensley, "The control of flammable hazards in nuclear reprocessing facilities," Paper presented to the Society of Fire Protection Engineers at the WATTEC 1987 Conf., Feb. 17-20, 1987, Knoxville, Tennessee.
  - G. T. Sheppard, R. J. Williams, "PSA experience with fuel cycle plant," Nucl. Energy, 32, 363 (1993).

7



### 3. 英国における核燃料施設のリスク評価

- 英国 安全目標の一例(SAP: 安全評価原則)  
T-8: 事故時、所外個人  
個々の事故に対する所外個人実効線量の年間頻度

実効線量 mSv	年間予測頻度 (/年)	
	BSL	BSO
0.1~1	1	$10^{-2}$
1~10	$10^{-1}$	$10^{-3}$
10~100	$10^{-2}$	$10^{-4}$
100~1000	$10^{-3}$	$10^{-5}$
>1000	$10^{-4}$	$10^{-6}$

8

## 4. 仏国における核燃料施設のリスク評価

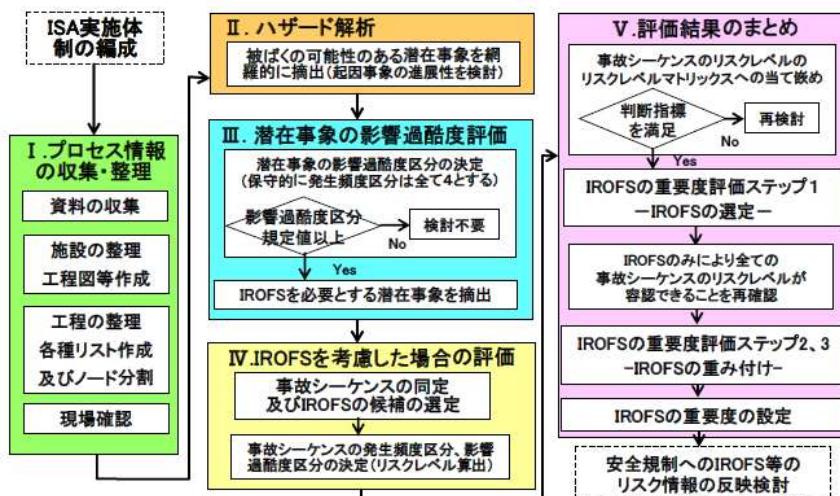
- 商用再処理の経験が豊富な仏国は、施設の安全上の特質を十分反映した合理性の高い**決定論**に基づき安全確保を行っており、リスク評価は潜在的影響の大きい高レベル濃縮廃液の沸とう等に**一部補助的に利用**してきた。

O.J. P. Mercier, F. Bonneval, M. Weber, Application of the Probabilistic Approach to the UP3-A Reprocessing Plant, IAEA-TECDOC-711, 95 (1993).  
O.J. Simmonet, "Use of PSA in parts of the design of La Hague plants -as seen by a former operator," Workshop for PSA of Non-Reactor Facilities held by Joint WGRISK/WGOE-FCS, OECD NEA, Oct. 2004.

9

## 5. 国内ウラン加工施設のリスク評価

- 旧原子力安全基盤機構において、米国原子力規制委員会が提唱するISAを参考に、ウラン加工施設のISA実施手順書を整備し、これに基づき事業者が内的事象のリスク評価を実施(平成16年～23年)。

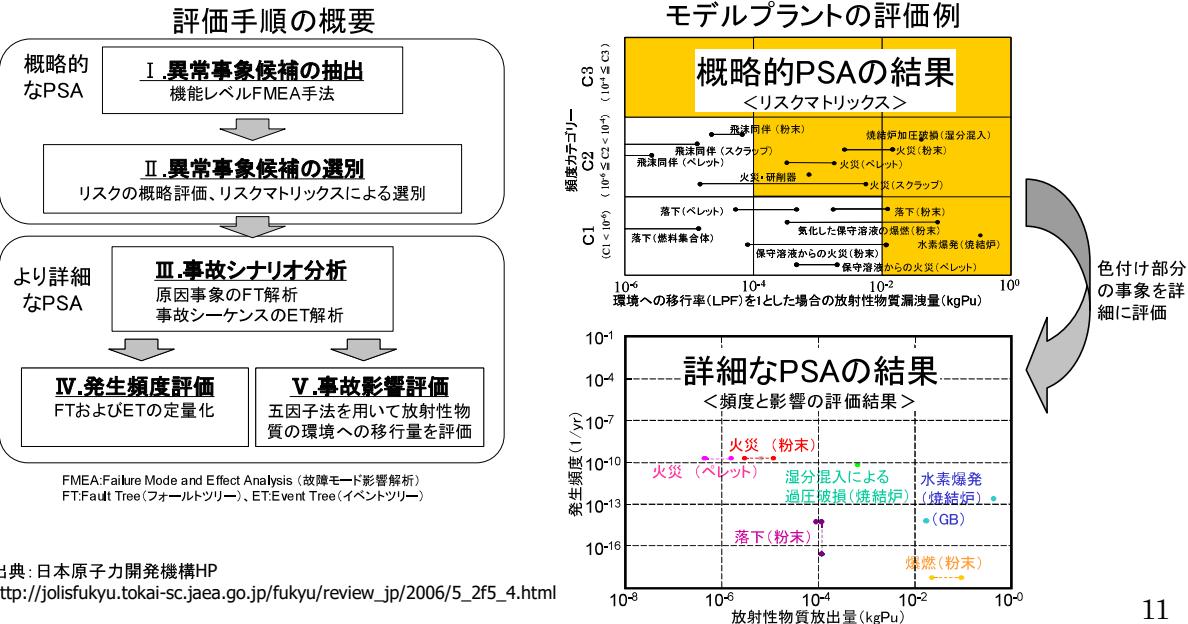


出典:原子力安全基盤機構, “ウラン加工施設総合安全解析(ISA)実施手順等の整備に関する報告書”, 11 廃輸報-0003(平成23年)

10

## 6. 国内MOX燃料加工施設のリスク評価

- 日本原子力研究開発機構において、リスク評価手法を整備し、モデル施設を対象に内的事象のリスク評価を実施（平成13年～19年）。

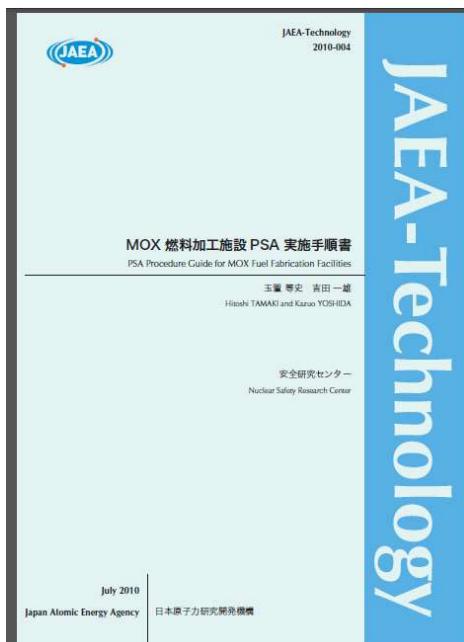


出典：日本原子力開発機構HP  
[http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/review\\_jp/2006/5\\_2f5\\_4.html](http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/review_jp/2006/5_2f5_4.html)

11

## 6. 国内MOX燃料加工施設のリスク評価

- 実施手順は、MOX 燃料加工施設PSA 実施手順書JAEA-Technology 2010-004としてまとめられている。



12

## 7. 国内再処理施設のリスク評価

### ■ 日本原燃

PRAと簡易的なリスク評価の2種類の手法によるリスク評価を実施

#### ○PRA

- ・基本設計段階において、設計基準事象選定の妥当性確認などのため、代表的な事象を対象に内的事象のPRAを実施
- ・評価手法は、**発電炉のPRA標準を参照**して実施
- ・詳細設計段階以降は、代表的な事象のPRAの更新を実施
- ・成果は日本原子力学会和文論文として投稿

○玉内 義一、小路 達郎、武部 和巳 他，“六ヶ所再処理工場の確率論的安全評価、(I)；プルトニウム濃縮液貯槽における水素掃気機能喪失の発生頻度評価(内的事象)”，日本原子力学会和文論文誌,5[4], 334-346 (2006).

○宮田 敬士、武部 和巳、玉内 義一 他，“六ヶ所再処理工場の確率論的安全評価、(II)；高レベル濃縮廃液沸とう事故の発生頻度評価(内的事象)”，日本原子力学会和文論文誌,7[2], 85-98 (2008).

○玉内 義一、瀬川 智史、林 芳昭 他，“六ヶ所再処理工場の確率論的安全評価、(III)；セル内有機溶媒火災(内的事象)”，日本原子力学会和文論文誌,10[3], 170-184 (2011).

13

## 7. 国内再処理施設のリスク評価

#### ○簡易リスク評価

再処理施設で想定される多種多様な事故<sup>(1)</sup>を対象に、リスク評価を実施すべく、**簡易リスク評価手法を構築**(内的事象<sup>(2)</sup>、地震<sup>(3)</sup>)



(1)日本原燃(株)、三菱重工業(株)，“再処理施設の設計基準事象選定(J/M-1004改3)”，(平成13年4月).

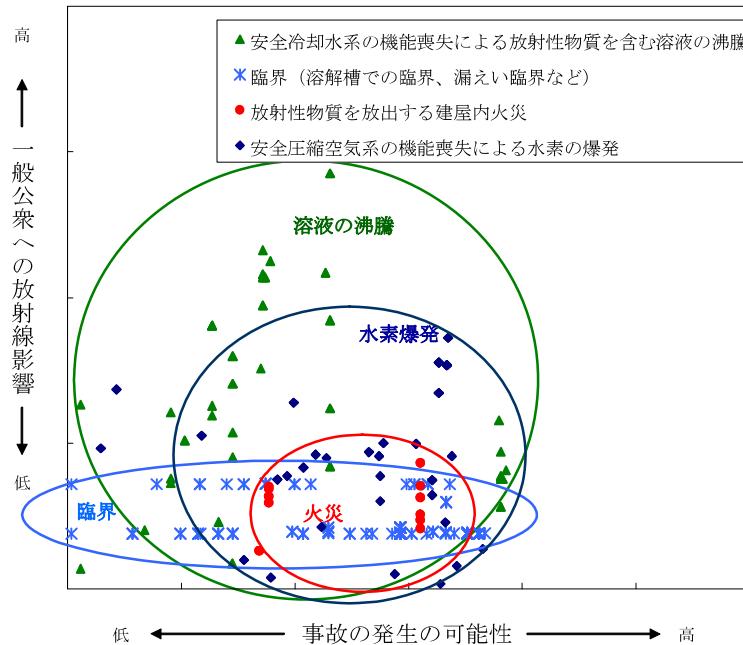
(2)Y. Tamauchi, T. Miyata, K. Takebe et al., “New Risk Assessment Method for a Reprocessing Plant: Quantitative Safety Assessment,” Nuclear Technology, Vol.181, No.2, pp303-316 (2013).

(3)瀬川智史、他，“六ヶ所再処理工場の地震を起因とするリスク概観の把握 (1)評価手法の開発”日本原子力学会「2014年秋の大会」要旨集, I06, (2014).

14

## 7. 国内再処理施設のリスク評価

### ○簡易リスク評価結果の例(内的事象)



出典: 日本原燃(株), "東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた六ヶ所再処理施設の安全性に関する総合的評価に係る報告書(使用前検査期間中の状態を対象とした評価)【公開版】"( 2012)

15

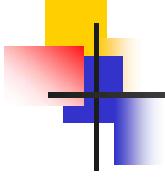
## 7. 国内再処理施設のリスク評価

### ■ 旧原子力安全基盤機構

各種事象のPRA手法などを整備(平成15年～24年)

- 平成15年度再処理施設の確率論的安全評価手法の整備に関する報告書  
平成16年8月
- 再処理施設の確率論的安全評価手法の整備
  - ・水素爆発事象の解析手順に関する報告書 平成17年10月
  - ・溶液沸騰事象の解析手順に関する報告書 平成17年10月
  - ・TBP等の錯体の急激な分解反応事象の解析手順に関する報告書 平成18年6月
  - ・リスクが比較的小さいと考えられる各種事象の影響の簡易評価手順及び試解析結果に関する報告書 平成18年6月
  - ・再処理施設の信頼性データに係る情報の整理に関する報告書 平成19年11月
  - ・臨界事象の解析手順に関する報告書 平成19年2月
  - ・有機溶媒火災事象の解析手順に関する報告書 平成19年2月
  - ・全交流動力電源の喪失事象の解析手順に関する報告書 平成23年9月
  - ・使用済燃料集合体の落下事象の解析手順に関する報告書 平成23年11月
  - ・臨界事象の解析手順(その2)に関する報告書 平成24年8月

16

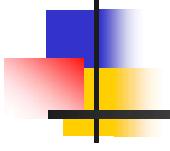


## 8. まとめ

- 国内外において、核燃料施設に対するリスク評価手法が検討されると共に、リスク評価が実施してきた。
- 既にリスク評価を実施している国には、規制上の要求に基づく安全評価の一部として定着している国(米、英)と事業者が自主的な活動として実施している国(日、仏)がある。
- リスク評価手法は、影響の程度に応じて使い分け(PRA, ISAなど)が行われている(Graded Approach)。
- リスクの指標は、発生頻度と影響の2軸が用いられている。  
なお、海外では、基本的に規制機関が判断基準を示しているが、一部については(米国ISA 頻度区分)、事業者による定義を要求している場合がある。



標準委員会セッション1  
(標準委員会 リスク専門部会 核燃料施設リスク評価分科会)  
「核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準の策定に向けて」

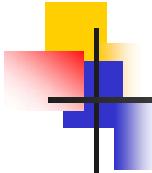


## (3) 実施基準の概要と特徴

平成29年9月13日

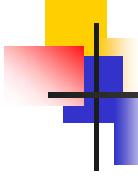
眞部 文聰(三菱重工業)

日本原子力学会 2017年秋の大会 北海道大学



### 説明内容

- 実施基準の特徴
- 実施基準の概要
- リスク情報の活用



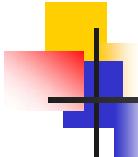
## 実施基準の特徴 (1/8)

### 対象施設

#### ウラン濃縮施設, ウラン燃料加工施設, MOX燃料加工施設, 再処理施設の4施設を対象

- 施設の特徴が共通  
核燃料物質, 放射性物質を**非密封**で取扱う工程を含み, これらの物質は**種々の形態**で施設内に広く分布。
- 設備構成の性質が類似  
静的機能(槽類など)と動的機能(排気設備)を組合せた**閉じ込め概念**。
- 安全上の特徴が共通  
発電用原子炉施設と異なり, 危険源が一極集中でなく**多種多様に分散**。
- 事故影響レベルが類似  
ウラン燃料加工施設の事故影響のレベルは, 再処理施設のウランなどを扱う設備などの事故影響の**レベル範囲に含まれるか同等**。

3



## 実施基準の特徴 (2/8)

### 事故の起因となる事象

#### 内的事象と外的事象のうち地震を対象

- 内的事象  
核燃料施設(対象の4施設)の内的事象に起因する事故のリスク評価は, 個々の施設のリスクレベルに応じた詳細さで評価が実施され, 手法整備も進んでいる。
- 外的事象  
核燃料施設(対象の4施設)の地震を起因とする事故のリスク評価は, 発電用原子炉施設の地震PRA標準を援用して詳細な評価は可能であるが, 個々の施設のリスクレベルに応じて合理的と考えられる概略的な評価手法は未整備。  
⇒ 地震PRA作業会, 外的事象PRA分科会に意見を求めて, **概略的な地震リスク評価を優先的に検討**。地震以外の外的事象については, 実施基準の必要性や発電用原子炉施設での実施基準の整備状況に応じてその適用可能性を検討し, 今後計画的に整備。

4

# 実施基準の特徴 (3/8)

## リスク評価方法

### 概略的なリスク評価と詳細なリスク評価を組合せ

#### ■ 概略的なリスク評価

核燃料施設の特徴である多種多様な事故について、**おおよそのリスクレベル**を確認できる程度の概略的な手法により、発生頻度と影響を効率的に評価し、これらを組合せた2次元の**施設全体のリスクプロファイル**を把握。

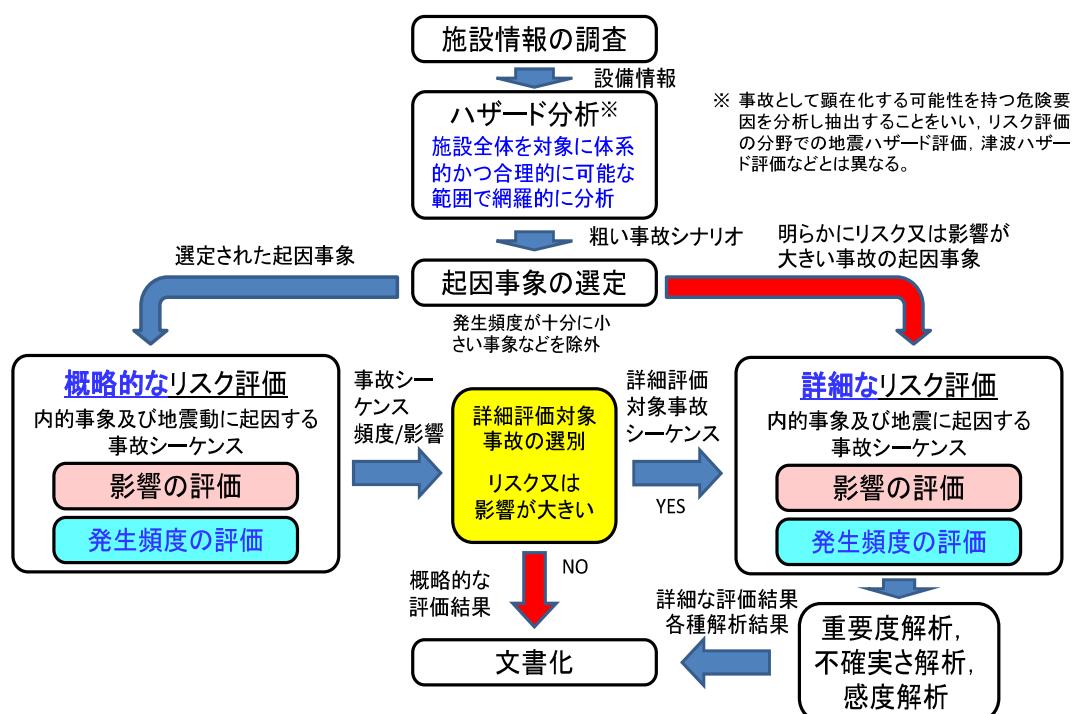
#### ■ 詳細なリスク評価

概略的なリスク評価の結果に基づき、**リスク又は影響が大きい事故シケンス**を選別し、発電用原子炉施設のPRAと同程度の詳細さで発生頻度と影響を評価するとともに、重要度解析、不確実さ解析及び感度解析を実施（**核燃料施設の特性を踏まえつつ**、発電用原子炉施設のPRA標準（レベル1PRA、レベル2PRA、地震PRA）を援用）。

5

# 実施基準の特徴 (4/8)

## リスク評価の構成要素



6

## 実施基準の特徴 (5/8)

### 化学的影響

#### UF<sub>6</sub>と水との化学反応に伴う派生物の影響を考慮

##### ■ 国内の状況

ウラン濃縮施設及び再転換工程で取扱われるUF<sub>6</sub>について、原子力規制委員会の安全規制として作業環境(建屋内外)などへの考慮を要求。

##### ■ 米国の状況

原子力規制委員会(NRC)は連邦規則(10CFR70)において許可物質から発生した危険な化学物質としてUF<sub>6</sub>などの公衆、従事者などに対する化学毒性を規制。このうち、従事者防護に関して、NRCは米国労働省・労働安全衛生庁(OSHA)と覚書を締結。

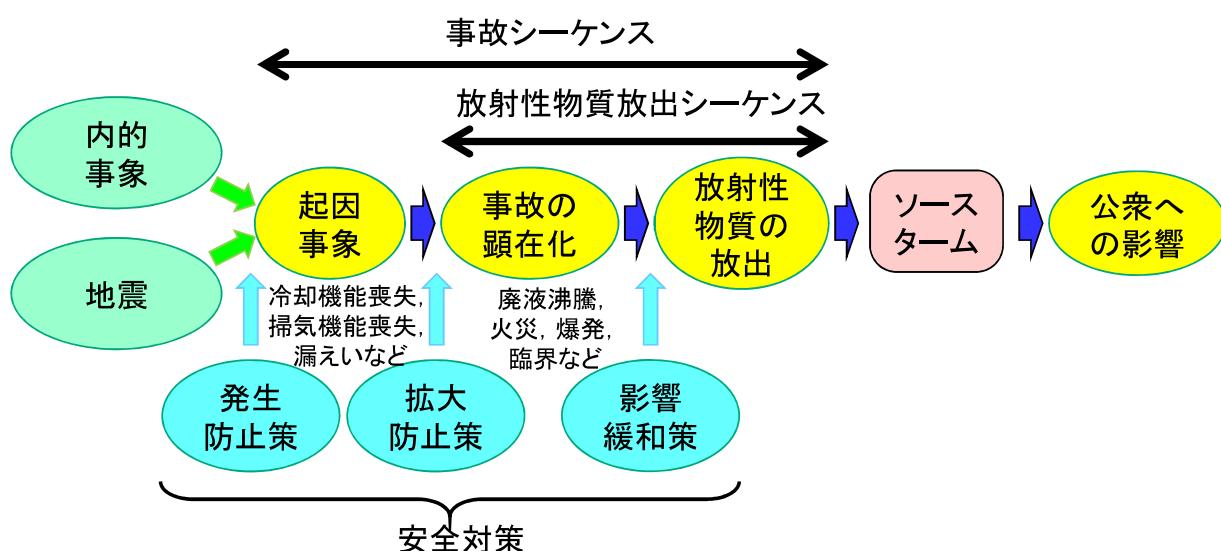
⇒ UF<sub>6</sub>は原子力施設に特有な物質であり、米国では漏えいが発生し死者が出た事例もあることから、UF<sub>6</sub>及びその派生物の影響評価の優先度は高い。

7

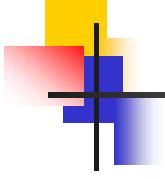
## 実施基準の特徴 (6/8)

### 事故シナリオ

#### 起因事象から放射性物質の放出までを対象



8



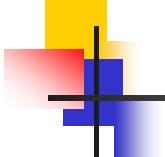
## 実施基準の特徴 (7/8)

### 起因事象の従属性

#### 核燃料施設の特徴を踏まえた起因事象を考慮

- 単一の事故シーケンスの進展過程における物理・化学的又は機能的影響による新たな事象の発生  
例：臨界事故により、水素が急激に発生し、水素爆発に至る事象
- 単一の起因となる事象による複数の起因事象の同時発生  
例：地震による廃液貯槽冷却系機能喪失による蒸発乾固事象と、有機溶媒漏えいによる火災の同時発生
- 単一の起因事象による複数の事故シーケンスの同時発生  
例：地震による外部電源喪失に非常用電源損傷が重畳することによる、廃液貯槽蒸発乾固事象と水素爆発事象の同時発生

9



## 実施基準の特徴 (8/8)

### 被ばく線量評価

#### ソースタークムに基づく被ばく線量を評価

- 敷地境界外における公衆の個人の最大被ばく線量  
決定論的安全評価手法（気象指針に基づく評価）により“敷地境界外における公衆の個人の最大被ばく線量”を評価し、多くの属性をもつソースタークム（ベクトル量）を単一の指標（スカラ量）に変換することで、事故影響の大きさを代表して表現。  
⇒ 発生頻度と被ばく線量を組合せた2次元のリスクマトリックスの適用を念頭におくと、事故シーケンスごとの影響の大小が認識しやすく、従来の決定論的安全評価とリスク情報の関係を理解する上で役立つ。

公衆の健康影響や社会に対する経済的影响などの環境影響を含むリスク評価は、発電用原子炉施設のレベル3PRA標準を援用し、これに従った確率論的環境影響評価手法により可能。

10

# 実施基準の概要 (1/16)

## 箇条1 適用範囲

- ・ウラン濃縮施設、ウラン燃料加工施設、MOX燃料加工施設、再処理施設を対象。
- ・内的事象および外的事故のうちの地震を対象。
- ・施設外への放射性物質などの放出に至る事故の発生頻度及び施設外へ放出される放射性物質などのソースタームを評価(公衆の個人の被ばく線量の評価及び化学的影响の評価を含む)。

## 箇条2 引用規格

- AESJ-SC-P006:2015** 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2015
- AESJ-SC-RK001:2015** 原子力発電所の確率論的リスク評価用のパラメータ推定に関する実施基準:2015
- AESJ-SC-RK003:2014** 原子力発電所の確率論的リスク評価標準で共通に使用される用語の定義:2014
- AESJ-SC-RK006:2013** 原子力発電所の確率論的リスク評価の品質確保に関する実施基準:2013

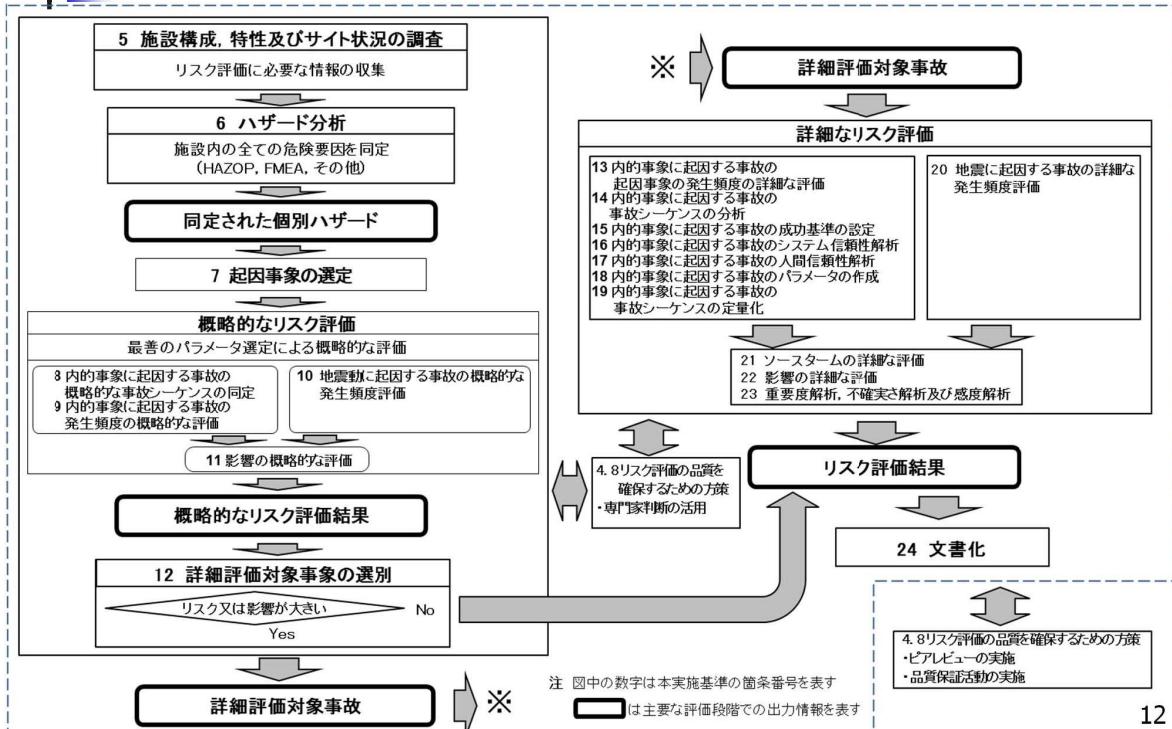
## 箇条3 用語及び定義、略語

- ・核燃料施設のリスク評価に特徴的な用語、略語。

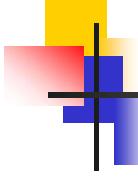
11

# 実施基準の概要 (2/16)

## 箇条4 リスク評価の実施手順



12



## 実施基準の概要 (3/16)

### 箇条5 施設構成、特性及びサイト状況の調査

- ・発電用原子炉施設のPRA標準(レベル1PRA、レベル2PRA、地震PRA)を参考に、放射性物質の放出に係る設備などを含めた情報を収集。
- ・地震に起因する事故の詳細な発生頻度評価に必要な情報の収集については、発電用原子炉施設の地震PRA標準を援用。

附属書A(参考) 収集すべき情報及びその主な情報源の例

附属書B(参考) 収集した情報の補完方法の例

### 箇条6 ハザード分析

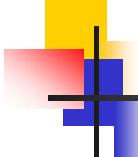
- ・事故として顕在化する可能性を持つ危険要因を体系的かつ合理的に可能な範囲で網羅的に分析し、異常事象の発生から施設外へ影響を及ぼすまでの状況の進展(粗い事故シナリオ)を同定。(FMEA手法、HAZOP手法)
- ・合理的に可能な範囲でハザード分析の網羅性の確認、未評価の事象群を同定。(MLDの併用など)

附属書C(参考) ハザード分析手法の選定の考え方と内的事象の分析例

附属書D(参考) 地震に起因するハザード分析の例

附属書E(参考) 核燃料施設で想定される事故の種類の例

13



## 実施基準の概要 (4/16)

### 箇条7 起因事象の選定

箇条6(ハザード分析)で同定した粗い事故シナリオを基に、起因事象を分析・同定。

#### ・起因事象の従属性

- 単一の原因から複数の起因事象又は緩和設備の機能喪失の発生の可能性
- 単一の起因事象が他の起因事象の発生及び／又は緩和設備の機能喪失の原因となる可能性

#### ・起因事象の除外

- 起因事象発生頻度が十分に小さい事象
- 事象が発生しても事故の進展に十分時間があるような、軽微な故障に関連した事象
- 一連の多くの可能性の低い人的過誤によるプロセスの逸脱
- 物理法則上あり得ないか又は発生の可能性が低いことの論拠を示すことのできるプロセスの逸脱
- 事象が発生しても、影響緩和を期待せずとも敷地境界外における公衆の個人の最大の被ばく線量又は化学的影響が十分小さい事象

上記a)～e)の基準を使用する場合は、評価結果に与える影響が十分に小さいことを確認。また、a)～e)以外でリスク評価の使用目的から必要ない場合には、理由を附して同定した起因事象を評価対象から除外してもよい。

附属書F(参考) 起因事象の選定(除外の目安、具体例を提示)

14

# 実施基準の概要 (5/16)

## 概略的なリスク評価

- 最善のパラメータ選定による概略的な評価
- 起因事象の発生頻度、緩和対策の失敗確率を評価
- ソースタームを五因子法で評価

### 箇条8 内的事象に起因する事故の概略的な事故シーケンスの同定

- 閉じ込め機能を有する静的な構築物、系統及び機器の機能喪失の判定
- 事故シーケンスは、起因事象の発生、緩和対策の組合せ

### 箇条9 内的事象に起因する事故の発生頻度の概略的な評価

- 起因事象の発生頻度、緩和対策の失敗確率の積
- 機器故障率及び人的過誤率に係るパラメータの概算
  - 運転実績に基づく故障に係る情報を踏まえ最善の値が基本。
  - 米国NRCが策定した総合安全解析(ISA:Integrated Safety Analysis)において例示されている故障率などをオーダーで評価する手法による簡易的な評価の容認。
  - 専門家判断に基づく評価。

附属書G(参考) 概略的な発生頻度評価に援用可能なパラメータの例

### 箇条10 地震動に起因する事故の概略的な発生頻度評価

⇒ 後の講演(4)で説明

15

# 実施基準の概要 (6/16)

## 箇条11 影響の概略的な評価

- 放射線被ばく評価
- 化学的影響評価

### ○ソースターム評価(五因子法)

放射性物質の放出量を環境への移行過程の各段階における通過割合の積で評価  
(NUREG/CR-6410)



### 放射性物質放出量

$$= [MAR] \times [DR] \times [ARF] \times [RF] \times [LPF]$$

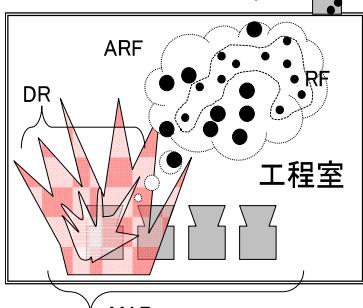
MAR(Material at Risk):リスクをもたらす物質の総量

DR(Damage Ratio):事故の影響を受ける割合

ARF(Airborne Release Fraction):霧団気中に放出され浮遊する割合

RF(Respirable Fraction):肺に吸入され得る微粒子の割合

LPF(Leak Path Factor):施設外に移行する割合



附属書L(参考) 五因子法によるソースターム評価

附属書M(参考) ウラン燃料加工施設での地震時のソースターム評価の例

附属書N(参考) 地上放出時の建屋効果の考慮

附属書O(参考) 被ばく線量の評価

附属書P(参考) 化学的影響評価手法

16

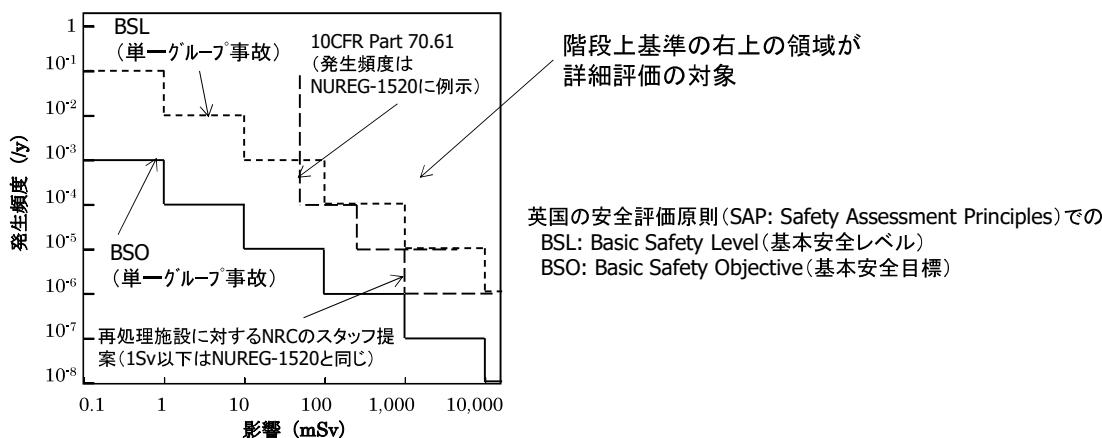
# 実施基準の概要 (7/16)

## 箇条12 詳細評価対象事故の選別

同定された危険要因が顕在化する事故の中には、Graded Approachの観点から詳細なリスク評価を必要としないものも含まれていることから、リスク又は影響が大きい事故シーケンスを詳細なリスク評価の対象。

### 附属書Q(参考) 詳細評価対象事故の選別の考え方

#### 選別基準の一例



17

# 実施基準の概要 (8/16)

## 詳細なリスク評価 ～内的事象に起因する事故の発生頻度評価～

“炉心損傷”を“詳細評価対象事故”と読み替えて、起因事象から施設外への放射性物質などの放出に至るまでの一貫した発生頻度を評価。このため、レベル1PRA標準及びレベル2PRA標準を附属書も含め参考にし、これらに相応する内容を融合。

## 箇条13 内的事象に起因する事故の起因事象の発生頻度の詳細な評価

## 箇条14 内的事象に起因する事故の事故シーケンスの分析

事故シーケンスの過程において物理・化学的事象に伴う新たな事故の発生・拡大の可能性に留意。

### 附属書R(規定) 放射性物質などの放出シーケンス分析

### 附属書S(参考) 閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器の例

### 附属書T(参考) 閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器の健全性に影響する負荷

### 附属書U(規定) 閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器の健全性評価

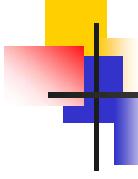
### 附属書V(参考) 事故時の現象

### 附属書W(参考) 計算コードの概要

### 附属書X(参考) 事故シーケンスの分析

## 箇条15 内的事象に起因する事故の成功基準の設定

18



## 実施基準の概要 (9/16)

箇条16 内的事象に起因する事故のシステム信頼性解析

附属書Y(参考) システム信頼性解析

箇条17 内的事象に起因する事故の人間信頼性解析

附属書Z(参考) 人間信頼性解析

箇条18 内的事象に起因する事故のパラメータの作成

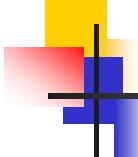
附属書AA(参考) パラメータの作成

箇条19 内的事象に起因する事故の事故シーケンスの定量化

附属書AB(規定) 事故シーケンスの定量化手法

附属書AC(参考) 事故シーケンスの定量化

19

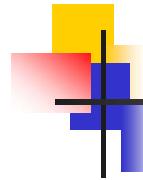


## 実施基準の概要 (10/16)

詳細なリスク評価  
～地震に起因する事故の発生頻度評価～

- ・ 発電用原子炉施設の地震PRA標準を附属書(規定)を含めて援用。
- ・ 発電用原子炉施設に係る内容、用語については、核燃料施設の特性に適した内容に置き換え、読み替え、削除して実施することを附属書で規定。
- ・ 発電用原子炉施設との相違は、事故シーケンスの終状態として、炉心損傷に注目するか、放射性物質などの放出に注目するかの違い。このため、地震に起因する事故の発生頻度評価は発電用原子炉施設の手法に準じ、核燃料施設の特性を踏まえ実施可能。
- ・ 細分箇条7.3(従属性を有する起因事象の同定)で分析した起因事象の従属性、複数の事象発生による事故対策要員の不足の可能性に留意した事故シーケンスの検討。

20



## 実施基準の概要 (11/16)

### 箇条20 地震に起因する事故の詳細な発生頻度評価

#### 20.1 一般事項

#### 20.2 事故シナリオの概括的分析

地震PRA標準の細分箇条5.4～5.6に準じ、核燃料施設の特性を踏まえ実施。

#### 20.3 地震ハザード評価

地震PRA標準の箇条6に従い実施。

#### 20.4 建屋・機器フランジリティ評価

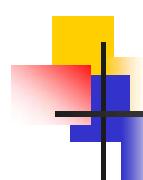
地震PRA標準の箇条7に準じ、核燃料施設の特性を踏まえ実施。

#### 20.5 事故シーケンス評価

地震PRA標準の細分箇条8.1～8.5.3に準じ、核燃料施設の特性を踏まえ実施。

附属書AD(規定) 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準に準じて実施する事項

21



## 実施基準の概要 (12/16)

### 詳細なリスク評価 ～ソースターム評価～

発電用原子炉施設のレベル2PRA標準を参考に、“格納容器破損”を“放射性物質の閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器の機能喪失”と読み替え、核燃料施設で想定される事故の特徴を踏まえて記述。

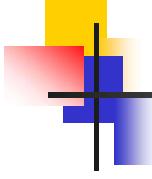
### 箇条21 ソースタームの詳細な評価

- 詳細計算コードを用いた熱流動解析による物理的負荷の評価。
- 必要に応じて詳細計算コードを用いたエアロゾル移行解析。
- 詳細な評価を必要としない場合、適用可能な計算コードがない場合などは五因子法を容認。

附属書AE(参考) 放射性物質の気相への移行

附属書AF(参考) 放射性物質などの移行挙動

22



## 実施基準の概要 (13/16)

### 箇条22 影響の詳細な評価

箇条21(ソースタームの詳細な評価)で設定した事故シーケンスごとのソースタームが施設外へ放出された場合の敷地境界外の個人の最大被ばく線量及び化学的影響を評価する。

附属書AG(参考) 被ばく評価手法の例

### 箇条23 重要度解析、不確実さ解析及び感度解析

内的事象、地震を起因とする放射性物質などの放出に至る事故シーケンスの詳細な評価を対象に、リスクを指標とする重要度解析、発生頻度の不確実さ及び感度解析及びソースタームの不確実さ解析を実施

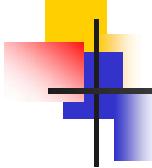
附属書AH(参考) 不確実さ解析及び感度解析

附属書AI(参考) ソースタームの不確実さ解析の役割

### 箇条24 文書化

附属書AJ(参考) 文書化すべき項目の例

23



## 実施基準の概要 (14/16)

### 解説

#### 解説1 制定の趣旨

#### 解説2 制定の経緯

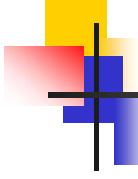
#### 解説3 制定の過程での主要な論点

- 化学的リスク
- 従事者リスク
- 概略的な地震リスク評価手法の適用範囲設定の考え方

#### 解説4 適用範囲について

- 対象施設
- 外的事象

24

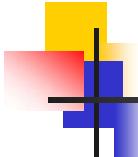


## 実施基準の概要 (15/16)

### 解説5 本体、附属書の解説

- リスク評価の実施手順の考え方
  - 核燃料施設の事故シナリオの特徴
  - 事故シーケンス
  - リスク評価実施手順の枠組み
  - 概略的なリスク評価の意義とそこで最善のパラメータ選定
  - リスク評価の品質の確保
  - 複数事象の重畠の考え方
  - 被ばく線量評価の位置づけと不確実さ解析及び感度解析を要求しない理由について
- 人間信頼性解析の手法について
- 事故シーケンスの定量化における点推定値及び平均値
- リスクを表す指標の例
- 地震動強さの下限範囲を設けない理由
- 核燃料施設に対する地震に起因する事故の詳細な発生頻度評価について

25



## 実施基準の概要 (16/16)

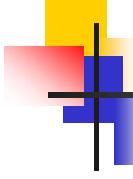
### 解説6 懸案事項

- 外的事象の範囲の拡大
- 従事者リスクの取扱い
- 実施基準の性能規定化
- 不確実さ解析手法の更新

### 解説7 その他の事項

- リスク情報の活用方法の例

26



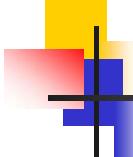
## リスク情報の活用 (1/4)

### ■ リスク情報

合理的かつ効果的な安全性向上を進める上で、リスクに寄与する事故シナリオを網羅的に認識すること、注目すべき事故シナリオの選定や様々な改善策の優先度決定などの判断の参考とすることが重要。

- 1) 重大な影響をもたらす可能性のある事故シナリオの網羅的な洗い出しによる安全対策の弱点の発見と対応
- 2) 安全性向上のために優先的に対応すべき事象の選定
- 3) リスクへの寄与度を参考とする安全上重要な機器及び操作の選定
- 4) 安全設備の検査などによる待機除外(AOT)の計画
- 5) 安全性向上のための運転経験の分析(発生した事象のリスクの観点からの重要度の分析など)(徴候事象分析)
- 6) 安全目標、性能目標との比較(安全目標との比較には本実施基準に基づくソースタームの評価に加えて、レベル3のPRAを実施する)
- 7) 安全性向上の度合いの評価
- 8) リスクへの寄与度を参考とする設備の重要度分類

27



## リスク情報の活用 (2/4)

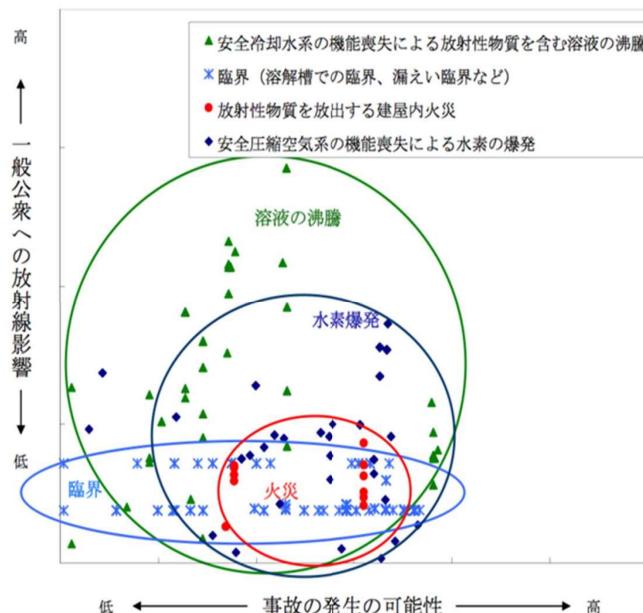
### ■ 性能目標(管理のために設定する施設性能の目標)

意思決定に際し、事業者がリスクを指標とする定量的な性能目標を参考として持つことが有効。

⇒ 核燃料施設の特徴を踏まえ、施設・工程により多様な事故の影響レベルに応じた発生頻度で表現する2次的な指標が適している(英国SAP、米国リスクマトリックスなど)。

28

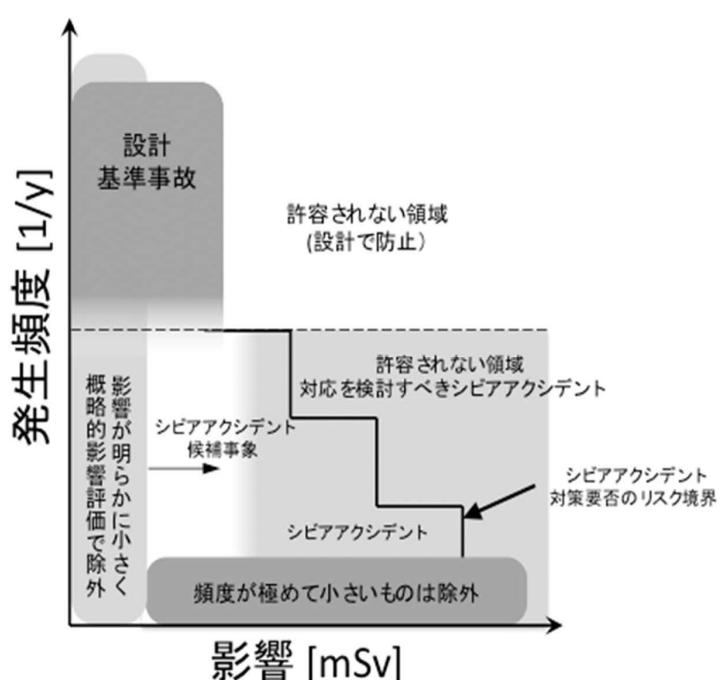
## リスク情報の活用 (3/4)



## リスク分布図の例

日本原燃(株). “東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた六ヶ所再処理施設の安全性に関する総合的評価に係る報告書(使用前検査期間中の状態を対象とした評価)[公開版]”( 2012)より転載 29

## リスク情報の活用 (4/4)



## リスクを用いた判断基準の概念図

日本原子力学会再処理・リサイクル部会核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ報告書. “核燃料サイクル施設における対応を検討すべきシビアアクシデントの選定方法と課題”. (平成26年9月30日)より転載 30



標準委員会セッション1  
(標準委員会 リスク専門部会 核燃料施設リスク評価分科会)  
「核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準の策定に向けて」

## (4) 地震動に起因する事故の概略的なリスク評価

平成29年9月13日

高橋 容之 (鹿島建設)

日本原子力学会 2017年秋の大会 北海道大学

## コンテンツ

- 概略的な地震リスク評価の枠組み
  - 各種リスク評価手法・裕度評価手法
  - 詳細評価と概略評価の違い
- 実施基準 目次(本文及び附属書)
- 実施手順
  - 地震動ハザードの概略的な評価
  - 建屋・機器フラジリティの概略的な評価
  - 事故シーケンスの発生頻度の概略的な評価
- 適用範囲設定の考え方
  - 地震動ハザード(上下動及び余震)
  - 断層変位ハザード
  - 建屋・機器フラジリティ(建屋安定性)
- まとめ

# 概略的な地震リスク評価の枠組み

- グレーデッドアプローチの考え方
  - 潜在的な事故の影響が小さい施設に対しては、合理的にリスク評価の手法も相応の詳細度でよいとする。
- 地震PRA実施基準の手法よりも概略的な手法を許容
- 米国においてKennedyが提唱している簡易ハイブリッド法を基礎とし、我が国の耐震設計の現状を踏まえた手法とした。
  - Simplified Hybrid Method: 簡易ハイブリッド法
  - リスク評価結果が得られる確率論的手法の利点と決定論的手法による計算手順の単純化を兼ね備えた中間的な手法

3

# 概略的な地震リスク評価の枠組み 各種リスク評価手法・裕度評価手法\*

	リスク評価		裕度評価
評価手順	Seismic Probabilistic Risk Assessment	Hybrid Method	Simplified Hybrid Method
①	地震動ハザード	地震動ハザード	地震動ハザード
②	建屋・機器 フラジリティ	HCLPF耐力に基づく 建屋・機器フラジリティ	建屋・機器のHCLPF耐力
③	事故シーケンス 解析	事故シーケンス 解析	事故シーケンス 解析
④	事故シーケンスの フラジリティ	事故シーケンスの フラジリティ	Max/Min法による事故 シーケンスのHCLPF耐力
⑤	事故シーケンスの 発生頻度	事故シーケンスの 発生頻度	損傷確率10%耐力に対 応する地震動ハザードの 年超過頻度の0.5倍

詳細評価

←-----→

概略評価

\* R. P. Kennedy, "Overview of Methods for Seismic PRA and Margin Analysis Including Recent Innovations," *Proceedings of the OECD-NEA Workshop on Seismic Risk*, Aug. 10-12 (1999).

4

# 概略的な地震リスク評価の枠組み

## 詳細評価と概略評価の違い

- ②、④、⑤の下線部は、詳細評価と概略評価で手法が大きく異なる。
  - フラジリティ曲線ではなく、**HCLPF耐力**に基づく。
  - ハザード×フラジリティの積分を**近似した式**を使用する。

		詳細なリスク評価 (地震PRA)	概略的なリスク評価 (簡易ハイブリッド法)
評価手順	①	地震動ハザード	地震動ハザード
	②	建屋・機器フラジリティ	<u>建屋・機器のHCLPF耐力</u>
	③	事故シーケンス解析	事故シーケンス解析
	④	事故シーケンスのフラジリティ	<u>事故シーケンスのHCLPF耐力</u>
	⑤	事故シーケンスの発生頻度 (ハザード×フラジリティの積分)	<u>事故シーケンスの発生頻度 (積分の近似式を使用)</u>

5

## 実施基準 目次(本文及び附属書)

### 箇条10 地震動に起因する事故の概略的な発生頻度評価

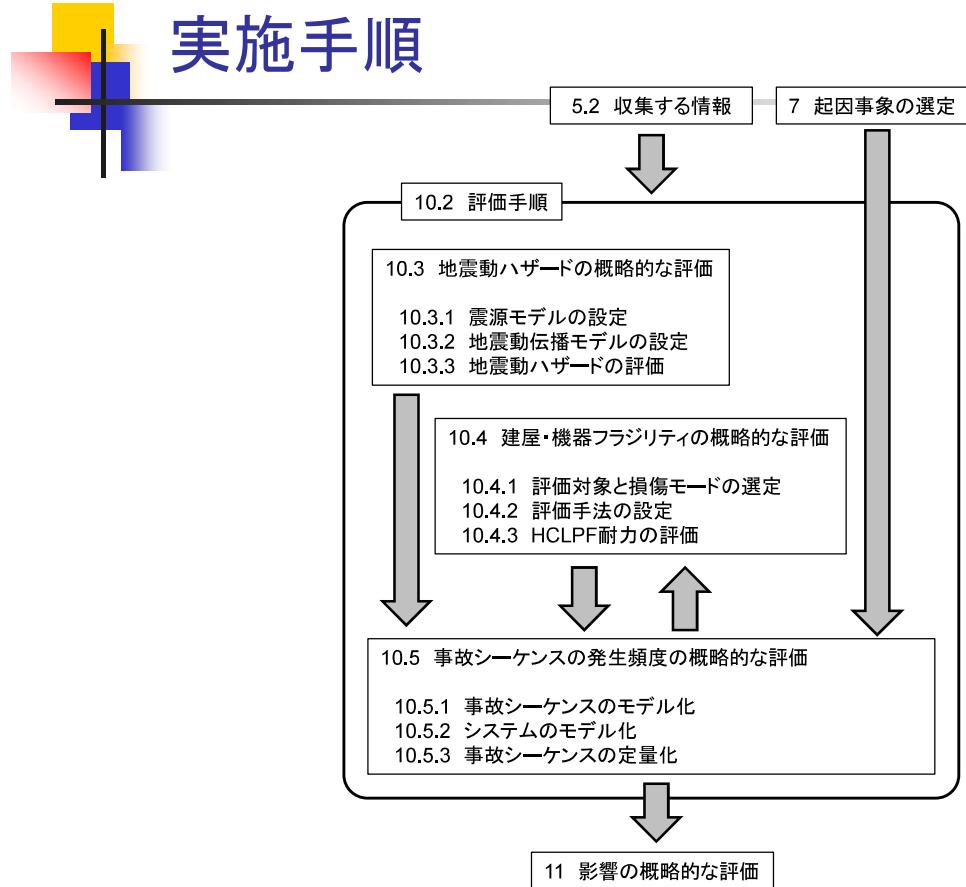
- 10.1 一般事項
- 10.2 評価手順
- 10.3 地震動ハザードの概略的な評価
- 10.4 建屋・機器フラジリティの概略的な評価
- 10.5 事故シーケンスの発生頻度の概略的な評価

### 附属書

- 附属書H(参考) 概略的な地震リスク評価手法の概要
- 附属書I(参考) 地震動ハザードの概略的な評価のための参考情報
- 附属書J(参考) 建屋・機器フラジリティの概略的な評価のための参考情報
- 付属書K(参考) 事故シーケンスの概略的な評価のための参考情報

6

# 実施手順



7

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価

- 震源モデルの設定
  - 政府 地震調査研究推進本部
  - 国立研究開発法人 防災科学技術研究所
- 地震動伝播モデルの設定
  - 地震動評価手法
    - 司・翠川 (1999)
    - Noda et al. (2002)
  - 地盤増幅特性の評価手法
    - 平成12年建設省告示第1457号第10第1項
    - 藤本・翠川 (2006)
  - 地盤モデルの例(震源モデルの設定に同じ)
- 地震動ハザードの評価
  - n年超過確率
  - 更新過程(BPT分布)とポアソン過程

8

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(地震本部)

地震に揺らがない国にする  
**地震本部**  
The Headquarters for Earthquake Research Promotion

文字のサイズ 小 中 大 日本語 English Google カスタム検索

地震本部とは 地震・津波の知識 地震に関する評価 計画と予算 データベース

都道府県ごとの地震活動  
地域ごとに、地震に関する情報を閲覧できます。

北海道地方  
中部地方  
東北地方  
関東地方  
近畿地方  
中国・四国地方  
九州・沖縄地方

新着情報 9

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(地震本部)

< 地震に関する評価 > 地震動予測地図 > 地下構造モデル

### 地下構造モデル

地震動予測地図、長周期地震動予測地図に使用している地下構造モデルをダウンロードすることができます。

**地下構造モデル作成の考え方 (平成29年4月27日公表) PDF (1,267 KB)**

地震本部で作成した地下構造モデルの作成法を基準に、構造モデルを作成する場合の一般的な作成方法や注意事項を加えて、地下構造モデル作成の際に指針となる考え方と手順をまとめた資料です。

地震調査研究推進本部は、地震防災対策の一つとして地震動ハザードを評価するため、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」を用いて全国的な地震動予測地図を発表している。この「レシピ」に基づき、地震動評価を行うための地下構造モデルを、成層構造を前提とし、各層の密度、P波・S波速度、Q値および層境界面の形状などを主なパラメータとする三次元速度構造として定義し、工学的基盤と地震基盤の各上面を境界とする以下の3つの領域に分けて、地下構造モデルを作成する。

- ・ 浅部地盤構造: 工学的基盤の目安である300~700m/sのS波速度を示す層の上面から地表までの地盤構造。深さは0~数10m。主として、地震波の周期2秒未満の短周期成分の増幅に影響する。
- ・ 深部地盤構造: 地震基盤の目安である3km/s程度のS波速度を示す層の上面から工学的基盤上面までの地盤構造。深さは数10~3000m程度。周期2秒以上の長周期成分も含め、広域地震動評価で対象となる全周期帯(0.1~10秒)の地震波の増幅に影響する。
- ・ 地震基盤以深の地殻構造: 地震基盤上面より深い地殻構造。地震波の伝播経路特性に影響する。震央距離によつては、地震波は上部マントルまで伝播するため、上部マントルまでを含めてモデル化するが、ここでは地殻構造と記す。

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(地震本部)

▶ 地震に関する評価 > 地震動予測地図 > 地下構造モデル

### 地下構造モデル

#### 地震本部での評価に用いた地下構造モデル

##### ■ 「関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル」

「全国地震動予測地図 2017年版」の震源断層を特定した地震の地震動予測地図内で関東地域の活断層に対する詳細法計算に用いたモデル

##### ■ 「J-SHISモデル」

これまで公表した「全国地震動予測地図」に用いた地盤増幅率と、震源断層を特定した地震の地震動予測地図の詳細法計算に用いたモデル

##### ■ 長周期地震動計算に用いた構造モデル

###### • 相模トラフ巨大地震による長周期地震動計算に用いたモデル

(「長周期地震動予測地図 2016年試作版」(平成28年10月12日公表))

###### • 「全国1次地下構造モデル(暫定版)」

南海地震(昭和型)を想定した長周期地震動計算に用いたモデル(「長周期地震動予測地図 2012年試作版」(平成24年1月13日公表))

###### • 想定東海地震、東南海地震、宮城県沖地震を想定した長周期地震動計算に用いたモデル

(「長周期地震動予測地図 2012年試作版」(平成21年9月17日公表))

11

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(J-SHIS)



地震ハザードステーション

Japan Seismic Hazard Information Station

文字サイズ 小 中 大 キーワード入力 検索

サイトマップ お問い合わせ English

トップ  
Top

記事一覧  
Articles

ダウンロード  
Download

用語集  
Dictionary

よくある質問  
FAQ

Labs

J-SHISは、地震防災に資することを目的に、  
日本全国の「地震ハザードの共通情報基盤」として  
活用されることを目指して作られたサービスです。

スタート  
J-SHIS

J-SHIS Map を起動するには  
スタートボタンを押してください

全国地震動予測地図とは

J-SHISについて

J-SHIS Mapの使い方

新着記事

使ってみよう!

学ぼう!

PickUp

お知らせ

使ってみよう!

2017.08.29

お知らせ

J-SHIS Mapで表示する海溝型地震発生領域  
を追加しました

2017.08.24

お知らせ

表層地盤データの修正について

2017.08.02

お知らせ

想定地震地図の修正について

J-SHISを使って地震や地盤について ..

J-SHISの地図をGoogle Earthで見 ..

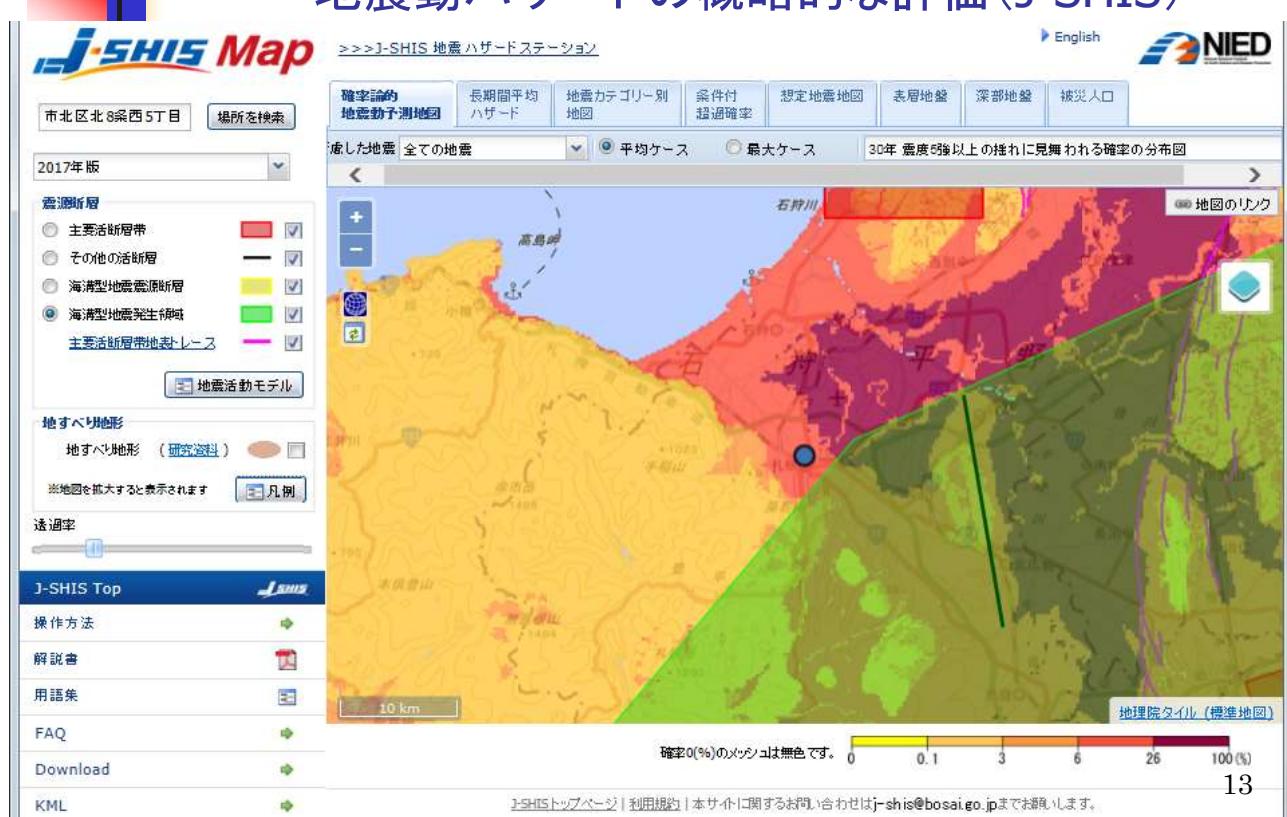
学ぼう!

海溝型地震と活断層型地震

12

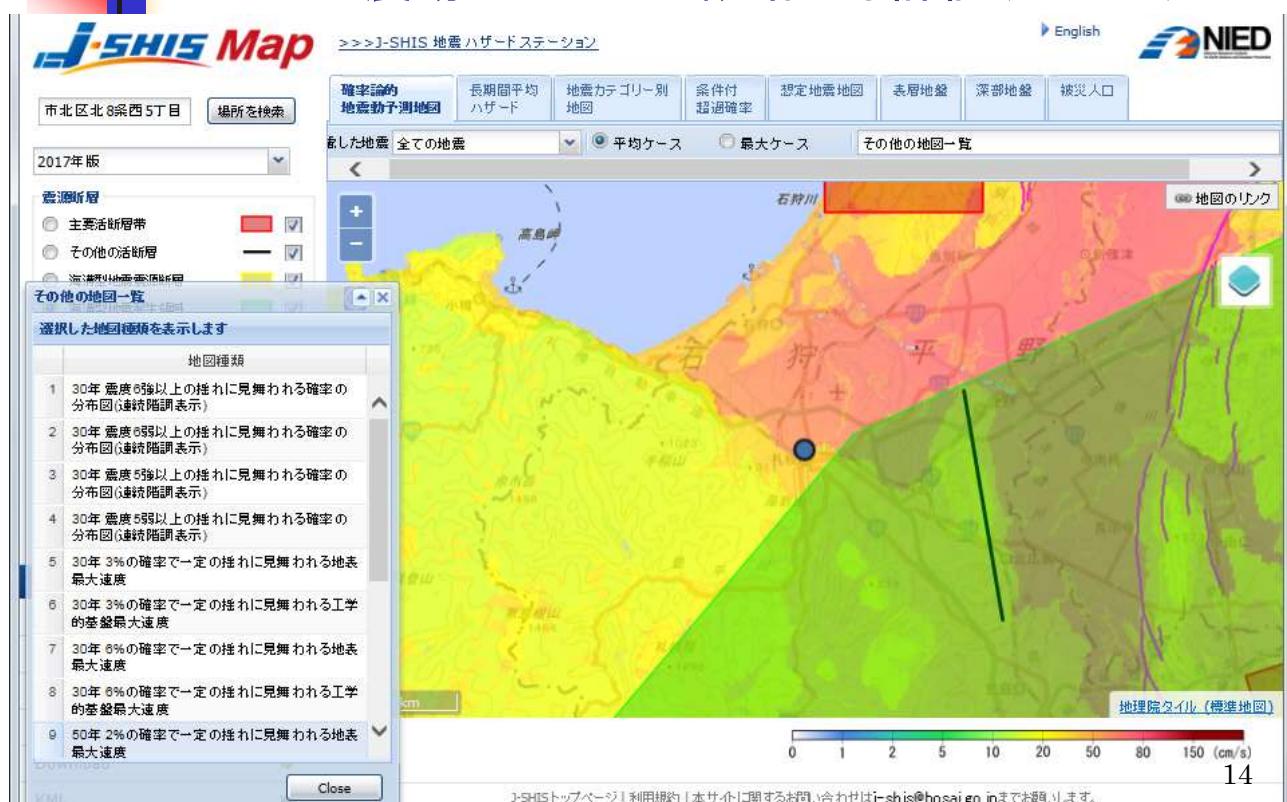
# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(J-SHIS)



# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(J-SHIS)



# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(J-SHIS)

The screenshot shows the J-SHIS Map interface. At the top, there are tabs for '確率論的地震動予測地図' (Probabilistic Seismic Hazard Prediction Map), '長期間平均ハザード' (Long-term Average Hazard), '地震力カテゴリー別地図' (Map by Earthquake Intensity Category), '震度付超過確率' (Probability of Exceedance with Intensity), '想定地震地図' (Assumed Earthquake Map), '表層地盤' (Surface Soil Layer), '深部地盤' (Deep Soil Layer), and '被災人口' (Disaster Population). The main map displays seismic hazard levels across the northern Japanese archipelago, with a color scale from green (low hazard) to red (high hazard). A legend on the left identifies various geological features like active fault zones and sea-floor faults. On the right, there's a zoom control, a link to the map index, and a scale bar indicating 10 km. A status bar at the bottom right shows page number 15.

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(J-SHIS)

The screenshot shows the J-SHIS Seismic Hazard Station website. At the top, it displays the logo and the text '地震ハザードステーション' (Seismic Hazard Station) and 'Japan Seismic Hazard Information Station'. To the right, it says '地震ハザードカルテ 2017年版' (Seismic Hazard Chart 2017 Edition) with a PDF icon. Below this, there's a table with location details:

	メッシュコード 6441428724	中心緯度、経度 43.0698N, 141.3484E	住所 北海道札幌市北区 付近	標高 17m	メッシュ内人口 400~450人
--	-----------------------	--------------------------------	-------------------	-----------	---------------------

On the left, there's a section titled '□ 深部地盤' (Deep Soil Layer) with a graph showing Vs values (Vs=1,100m/s, Vs=2,700m/s) and a corresponding S-wave velocity profile. The graph has depth in meters on the y-axis (0 to 4000) and S-wave velocity in m/s on the x-axis (0 to 3500). Buttons at the bottom are labeled '← やわらかい' (Soft) and 'かたい →' (Hard).

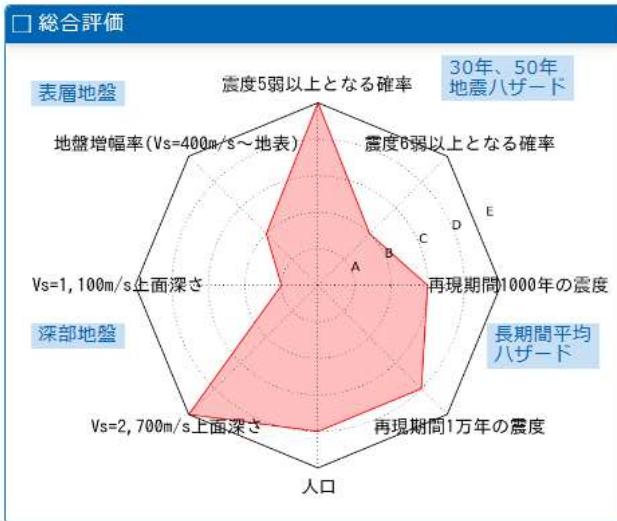
On the right, there's a section titled '□ 長期間平均ハザード' (Long-term Average Hazard) with a table showing intensity values for different return periods:

500年相当	5強
1000年相当	5強
5000年相当	6弱
1万年相当	6弱
5万年相当	6強
10万年相当	6強

A note below the table states: '長期間の再現期間に対応する震度の値です。' (This is the intensity value corresponding to the recurrence period of the long-term average hazard).

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(J-SHIS)



□ 30年、50年地震ハザード

超過確率の値[%]	30年	震度5弱	34.5
		震度5強	6.9
今後30年間にある震度以上の揺れに見舞われる確率の値です。		震度6弱	0.9
		震度6強	0.1
震度の値	30年	3%	5強
		6%	5強
今後30年または50年間にある値以上の確率で見舞われる震度の値です。	50年	2%	5強
		5%	5強
	30年	10%	5強
		39%	5弱
地表の最大速度の値[cm/s]	30年	3%	27.5
		6%	22.4
今後30年または50年間にある値以上の確率で見舞われる地表の最大速度の値です。	50年	2%	36.3
		5%	29.1
	30年	10%	24.2
		39%	15.2

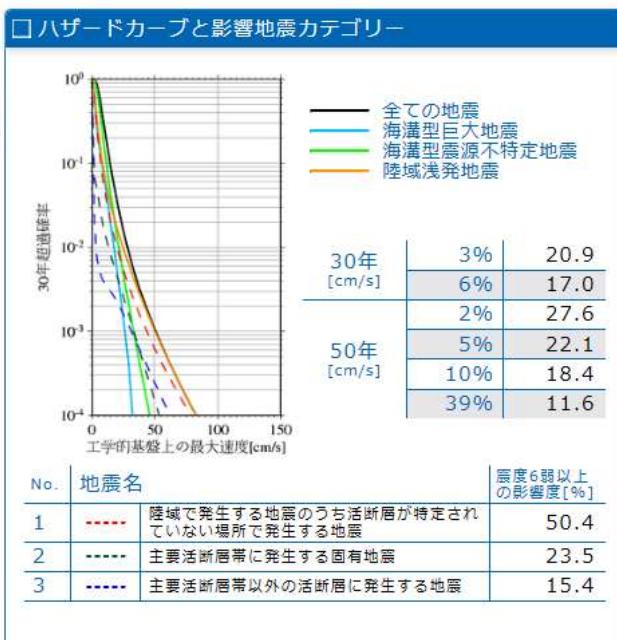
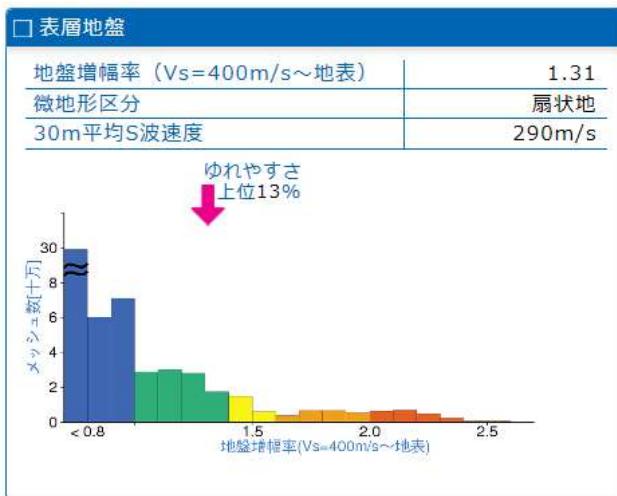
Copyright© 2012-2017 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

<http://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/karte>

17

# 実施手順

## 地震動ハザードの概略的な評価(J-SHIS)



Copyright© 2012-2017 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

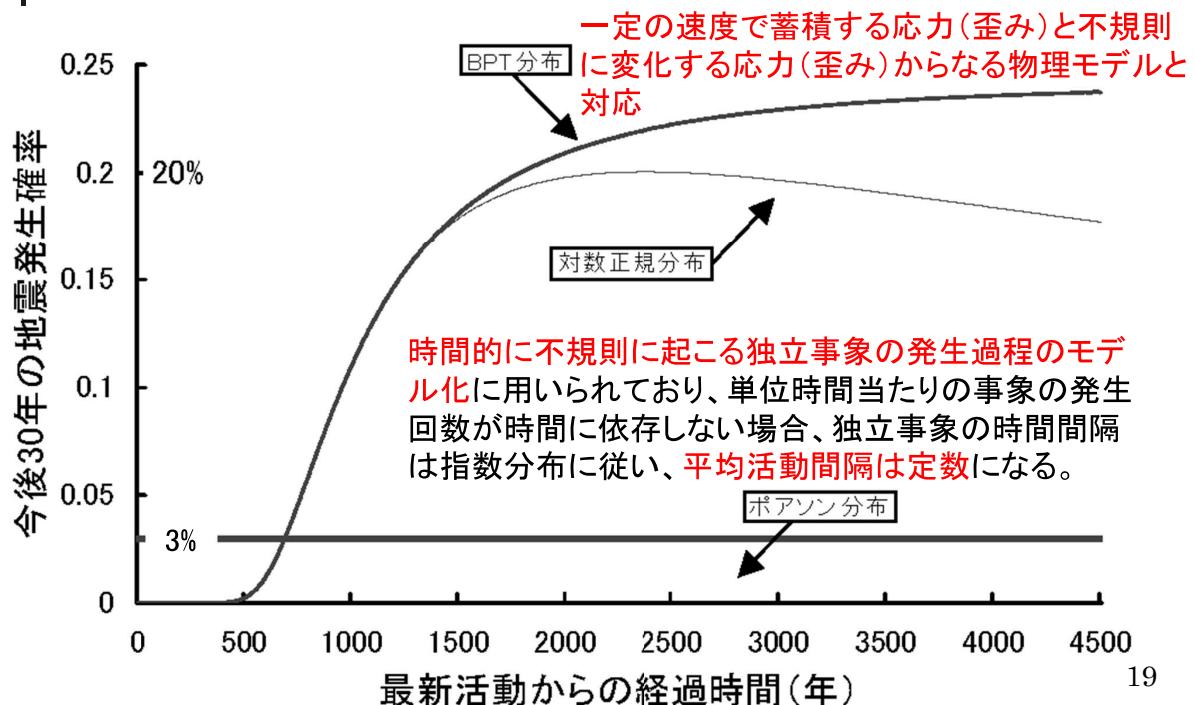
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/karte>

18

## 実施手順

### 地震動ハザードの概略的な評価

#### ■ 更新過程(BPT分布)とポアソン過程



19

## 実施手順

### 建屋・機器フラジリティの概略的な評価

#### ■ 評価対象と損傷モードの選定

#### ■ 評価手法の設定(応答評価手法)

- 概略評価法1: 設計震度を用いる方法
- 概略評価法2: 簡易スペクトル法\*
- 概略評価法3: 応答スペクトル法\*

#### ■ HCLPF耐力 $A_{HCLPF}$ の評価

$$A_{HCLPF} = \frac{S}{R} FA$$

安全係数法(耐力係数と応答係数)に類似の方法

- S: 建屋・機器の設計耐力
- R: 建屋・機器の設計応答
- F: 塑性エネルギー吸収係数
- A: 建屋・機器の設計応答に対応する地表面最大加速度

(建屋・機器の弾塑性挙動に関する耐力の割り増し係数)

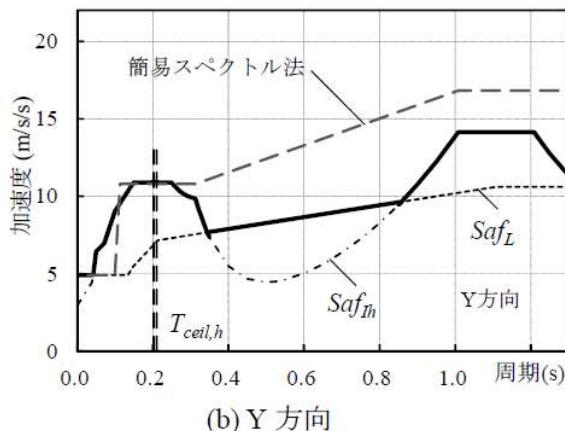
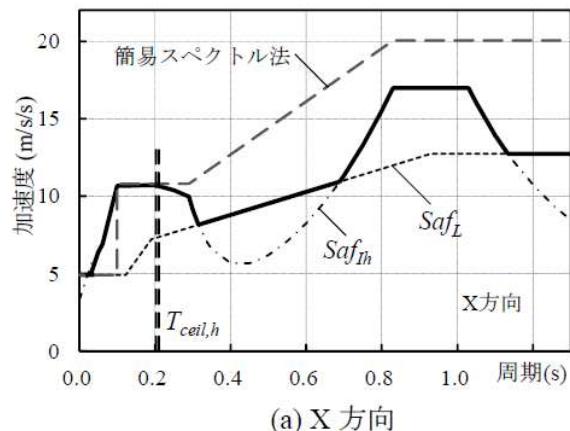
\* 國土技術政策総合研究所／建築研究所、"建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説"、國土技術政策総合研究所資料No.751／建築研究所資料No.146 (2013).

20

# 実施手順

## 建屋・機器フラジリティの概略的な評価

評価手法		HCLPF耐力の評価	評価に必要な情報など
概略評価法	1	設計震度を用いる方法	設計情報
	2	簡易スペクトル法*	建屋の固有周期、地盤種別
	3	応答スペクトル法*	建屋の固有値解析、地盤種別

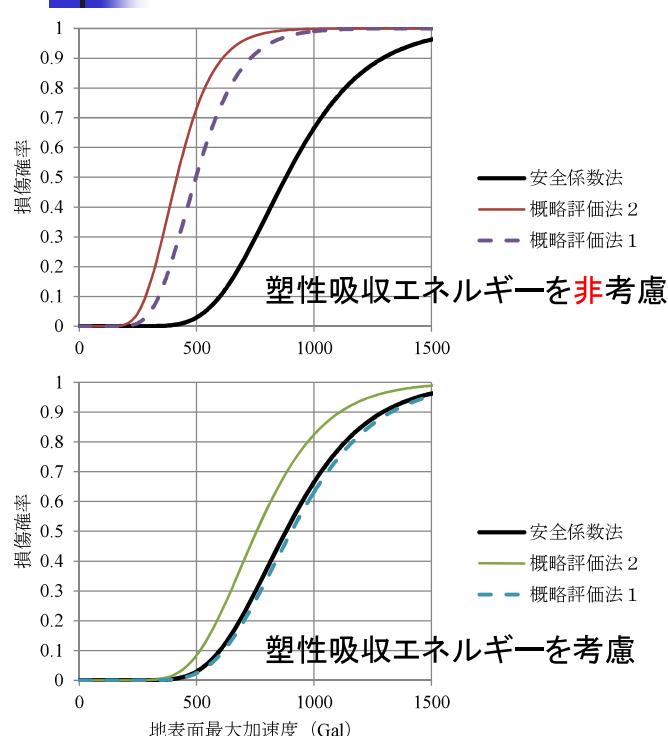


\* 國土技術政策総合研究所／建築研究所、“建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説”、國土技術政策総合研究所資料No.751／建築研究所資料No.146 (2013).

21

# 実施手順

## 建屋・機器フラジリティの概略的な評価



22

# 実施手順

## 事故シーケンスの発生頻度の概略的な評価

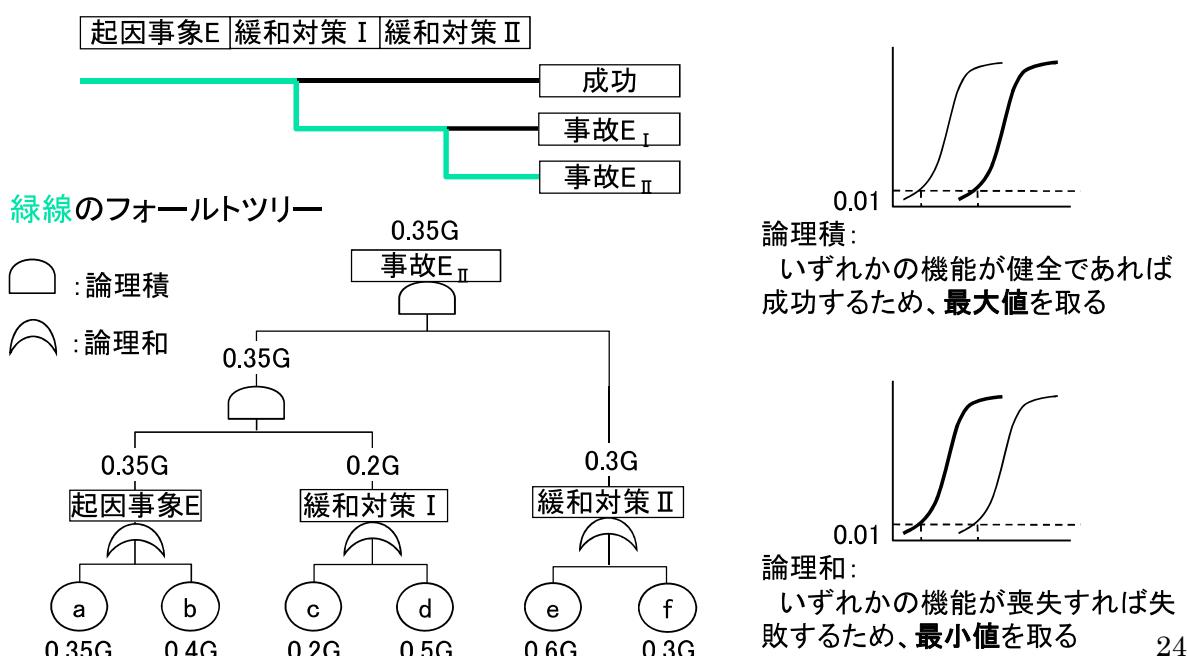
- 事故シーケンスのモデル化(イベントツリー)
  - システムのモデル化(フォールトツリー)
    - ランダム故障
    - 待機除外
    - 人的過誤
    - 共通原因故障
- 事故シーケンスの定量化
  - フォールトツリー及びイベントツリーを基に、Max/Min法などを用いて事故シーケンスごとに代表機器のHCLPF耐力を算定し、事故シーケンスのHCLPF耐力  $\bar{A}_{HCLPF}$  とする。

23

# 実施手順

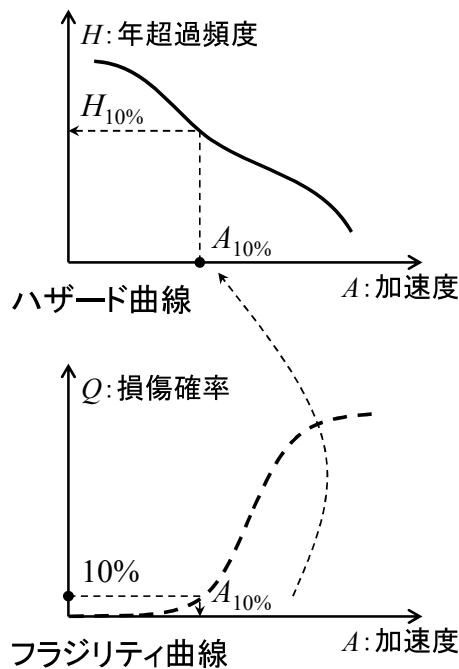
## 事故シーケンスの発生頻度の概略的な評価

- Max/Min法による事故シーケンス解析例



## 実施手順

### 事故シーケンスの発生頻度の概略的な評価



#### ■ 事故シーケンスの定量化(続き)

- 事故シーケンスのフラジリティが対数正規分布であると仮定し、対数標準偏差 $\beta$ を設定して、損傷確率10%に対応する耐力 $A_{10\%}$ を求める。  

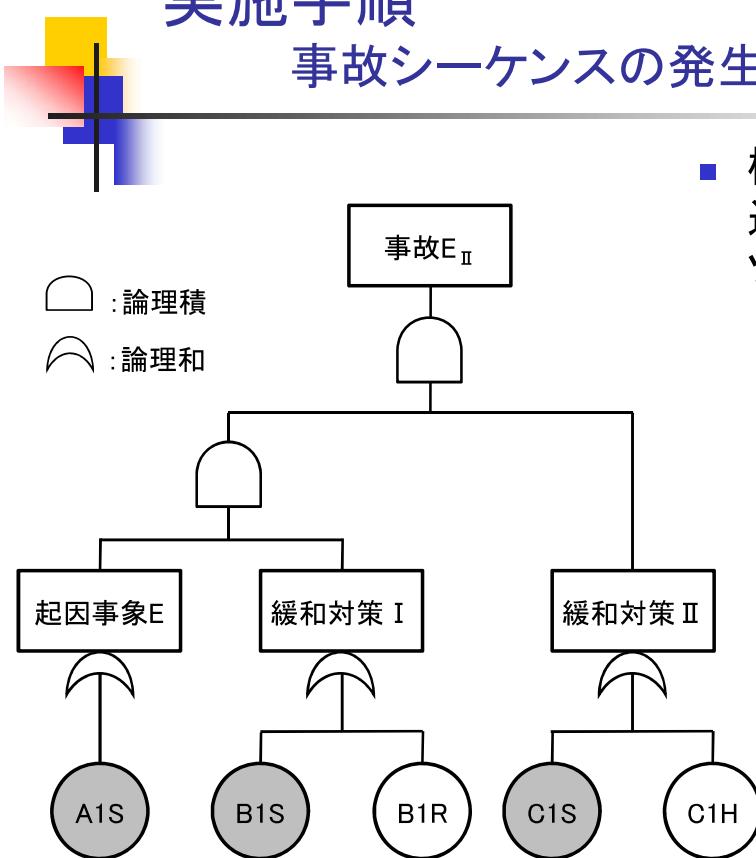
$$A_{10\%} = \bar{A}_{HCLPF} \exp(1.04\beta)$$
- 事故シーケンスの損傷確率10%耐力 $A_{10\%}$ に対応する地震動ハザードの年超過頻度 $H_{10\%}$ を評価する。(左図参照)
- 事故シーケンスの発生頻度 $F_F$ を求める。

$$F_F = \alpha H_{10\%}$$

25

## 実施手順

### 事故シーケンスの発生頻度の概略的な評価



#### ■ 機器のランダム故障、人的過誤を考慮したフォールトツリーの想定例

- 起因事象Eの発生原因となる機器A1が地震動により損傷する基事象
- B1S、C1S: 緩和対策I及びIIの失敗原因となる機器B1及びC1が地震動(S)により損傷する基事象
- B1R: 緩和対策Iの失敗原因となる機器B1が機器故障(R)により機能喪失する基事象
- C1H: 緩和対策IIの失敗原因となる機器C1が人的過誤(H)により機能喪失する基事象

26

# 適用範囲設定の考え方

## 地震動ハザードの概略的な評価

- 本震の水平動が主な評価対象
- 上下動及び余震<本震の水平動の場合
- 上下動及び余震≥本震の水平動の場合
- 許容されるリスクレベルと比較した上で、  
地震PRA実施基準に基づいた評価を実施する。
  - 上下動及び余震に対する地震動ハザード評価
  - 建屋・機器フランジリティ評価(必要に応じて)

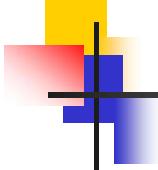
27

# 適用範囲設定の考え方

## 断層変位ハザード

- 概略的なリスク評価では対象とせず。
- 必要に応じて詳細評価で対応する。  
ところで、
  - 断層変位が評価対象施設に及ぼす影響が大きい場合
    - 敷地周辺に主断層や副断層が存在する可能性が高い
    - 断層変位のみでなく、地震動が評価対象施設に及ぼす影響も大したがって、
  - 地震動に対する概略的なリスク評価の結果、リスク又は影響が相対的に大きくなり、選別基準に照らして詳細評価対象事故とする必要がないとは判断できない場合
  - 地震PRA実施基準に基づいた評価を実施する。

28

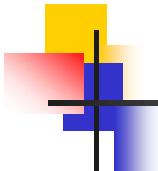


# 適用範囲設定の考え方

## 建屋・機器フラジリティの概略的な評価

- 層崩壊を伴う構造的損傷モードが主な評価対象
- 液状化などによる建屋安定性の喪失 < 層崩壊の場合
  
- 液状化などによる建屋安定性の喪失  $\geq$  層崩壊の場合
- 液状化などによる建屋安定性の喪失に係る構造的損傷を耐震設計の段階で考慮していない場合
- 許容されるリスクレベルと比較した上で、液状化などによる建屋安定性の喪失に係る構造的損傷による影響を確認
  - 日本建築学会 建築基礎構造設計指針
  - 耐震設計時の評価手法

29



## まとめ

- ### 地震動に起因する事故の概略的なリスク評価手法
- グレーデッドアプローチの考え方を取り入れ、
  - 地震PRA実施基準の手法よりも概略的な手法を許容し、
  - Kennedyが提唱している簡易ハイブリッド法を基礎とし、
  - 我が国の耐震設計の現状を踏まえた。

実施手順の概要を説明した。

- 地震動ハザードの概略的な評価
- 建屋・機器フラジリティの概略的な評価
- 事故シーケンスの発生頻度の概略的な評価
- 適用範囲設定の考え方

30

