

女川原子力発電所2号炉
確率論的リスク評価(地震PRA)について
(審査会合での指摘事項に対する回答)

平成31年2月12日
東北電力株式会社

1. はじめに

2. 審査会合での指摘事項に対する回答

(補足)地震PRAの更新結果を踏まえた新たに追加すべき事故シナリオグループの有無について

1. はじめに

- 第142回審査会合（平成26年9月30日）において、女川2号炉の地震PRAについて全体の説明を行い、地震ハザードの審査後に改めて説明することとしていた
- 第558回審査会合（平成30年3月23日）において、地震ハザード評価について、「概ね妥当な検討がなされた」と評価された
- 第583回審査会合（平成30年6月7日）において、地震ハザード評価を反映した地震PRAについてご説明した。建屋フラジリティについては新旧の模擬地震波ターゲットスペクトルの形状が概ね一致していることから従前のものを踏襲していたが、建屋フラジリティ評価に与える影響について確認する旨のご指摘を受けた
- 本日は、第583回審査会合における指摘事項について、地震PRAに反映した結果について説明する

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.1)

(1) 指摘事項

- ・新旧模擬地震波ターゲットスペクトルの違いが、建屋フラジリティ評価に与える影響について整理すること

(2) 回答

- ・ハザード更新前後のターゲットスペクトルは図1に示すとおり、建屋の一次固有周期(0.2~0.3s)付近の形状が、同等であり、評価に対する影響は小さいと考え、従前のものを踏襲し評価していた。一方、機器フラジリティについては、ハザードを更新した評価としていたため、今回、評価全体の整合を図るため、建屋フラジリティの更新を行い、地震PRAに反映した
- ・ハザード更新前後の建屋フラジリティについて、地震PRAにおいて炉心損傷頻度の累積値が99%となる最大加速度0~2000cm/s²の評価結果を図2及び図3に、全CDFに対する寄与割合を表1及び表2に示す
- ・建屋フラジリティの更新前後の比較において、原子炉建屋、制御建屋ともに損傷確率に大きな差異はなく(図2, 3)、建屋評価の全CDFに対する寄与割合は、ハザード更新前後ともに1%未満となっている(表1, 2)
- ・建屋フラジリティを変更した結果、これまでの事故シーケンス評価に対する影響はない。結果については、P5「(補足)地震PRAの更新結果を踏まえた新たに追加すべき事故シーケンスグループの有無について」において示す

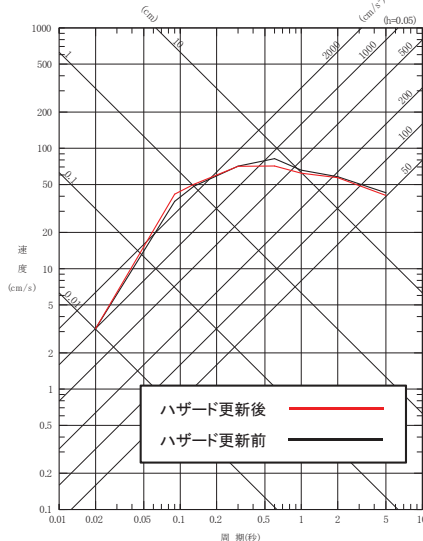


図1 建屋フラジリティ評価用模擬地震波ターゲットスペクトル(水平方向)

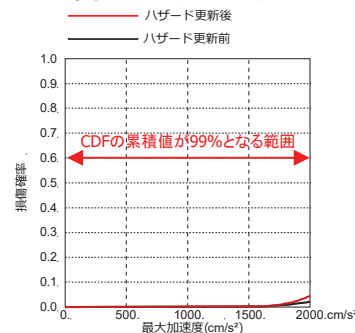


図2 原子炉建屋のフラジリティ曲線

表1 原子炉建屋のフラジリティ評価結果比較

	HCLPF(cm/s ²)※	全CDFに対する寄与割合
ハザード更新前	1864	< 0.1 %
ハザード更新後	1756 (約 6% 減)	< 0.1 %

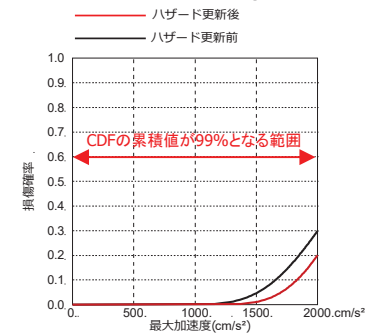


図3 制御建屋のフラジリティ曲線

表2 制御建屋のフラジリティ評価結果比較

	HCLPF(cm/s ²)※	全CDFに対する寄与割合
ハザード更新前	1282	0.4 %
ハザード更新後	1483 (約 16% 増)	0.2 %

※High Confidence of Low Probability of Failure (高信頼度低損傷確率): 95%信頼度フラジリティ曲線における5%損傷確率に相当する地震加速度レベル

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.2)

(1) 指摘事項

- ・炉心損傷に直結する事象として、制御建屋空調系喪失事象の選定の妥当性について整理すること

(2) 回答

- ・従前、「制御建屋空調系喪失」※1は、「計測・制御系喪失」と喪失する機能は同一であるが、事故の進展及び時間余裕が異なることから、別の起因事象として整理し、炉心損傷に直結する事故シーケンスとしていた。しかしながら、「制御建屋空調系喪失」発生時において、中央制御室等の室温上昇は比較的緩やかであり、計測・制御機器への影響が生じる前に手動停止等の対応が可能である
これは、学会標準※2の起因事象除外判定基準「事象が発生してもプラント停止までには十分に時間があり、その間に当該事象が確認され事象の収束を図ることができる可能性の高い事象」に該当すると考え、起因事象から除外することとした
- ・また、制御建屋空調系が喪失した場合においても計測・制御系が機能喪失するまでには時間余裕があるものの、仮に中央制御室が使用不能となった場合でもRSS盤からの操作が可能である
- ・以上を踏まえ、地震PRAの起因事象から「制御建屋空調系喪失」を除外することとし、地震PRAへの反映を行った。結果については、P5「(補足)地震PRAの更新結果を踏まえた新たに追加すべき事故シーケンスグループの有無について」において示す

※1 制御建屋内の換気空調系の損傷により、中央制御室及び電気品室の室温が上昇し、「計測・制御機器」が機能喪失し、プラントの制御が不能となり炉心損傷に至る事象

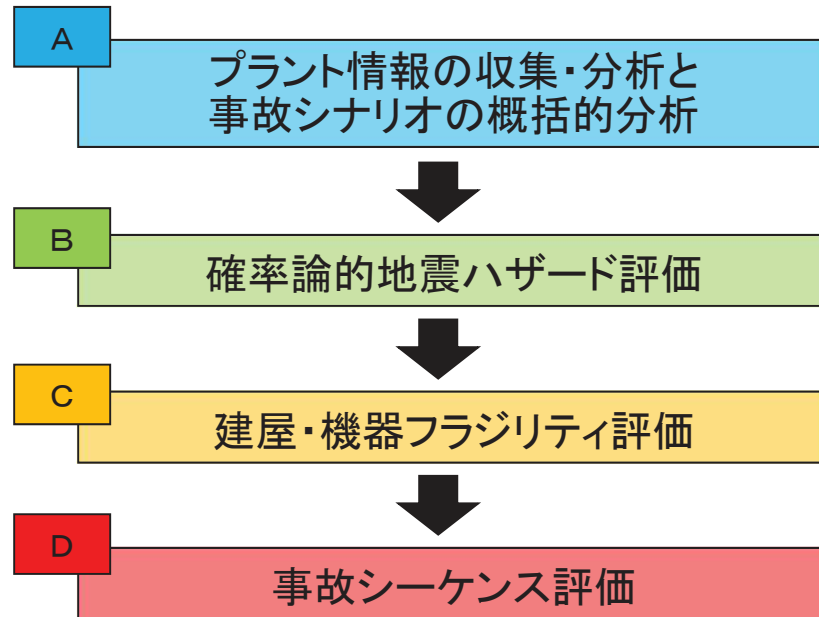
※2 一般社団法人日本原子力学会発行

「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準(レベル1PRA編):2013」

(補足)地震PRAの更新結果を踏まえた新たに追加すべき事故シーケンスグループの有無について(1/4)

➤ 地震レベル1PRAの手順及び各プロセスの概要について以下に示す

地震レベル1PRAの手順及び各プロセスの概要

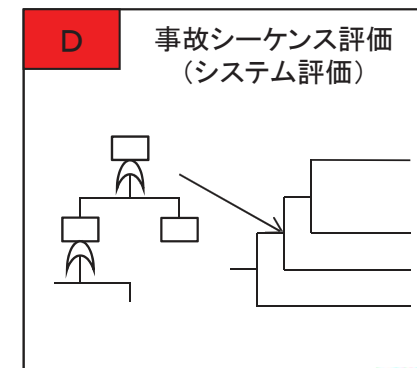
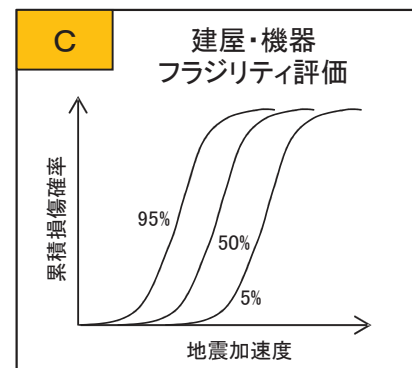
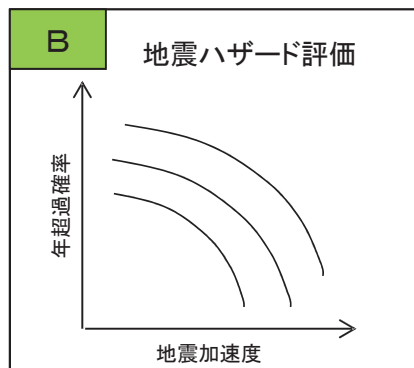


収集・分析したプラント関連情報、プラントウォークダウンの実施結果及び国内外のPRA情報を基に事故シナリオの概括的な分析・設定を行い、地震PRAで対象となる事故シナリオの抽出及び起因事象を選定する。また、以上の結果より評価対象の機器リストを作成する。

敷地周辺における震源モデルを設定し、震源・地震動伝播の不確かさを考慮して作成したロジックツリーに基づき、地震動強さ毎の年超過確率を評価する。

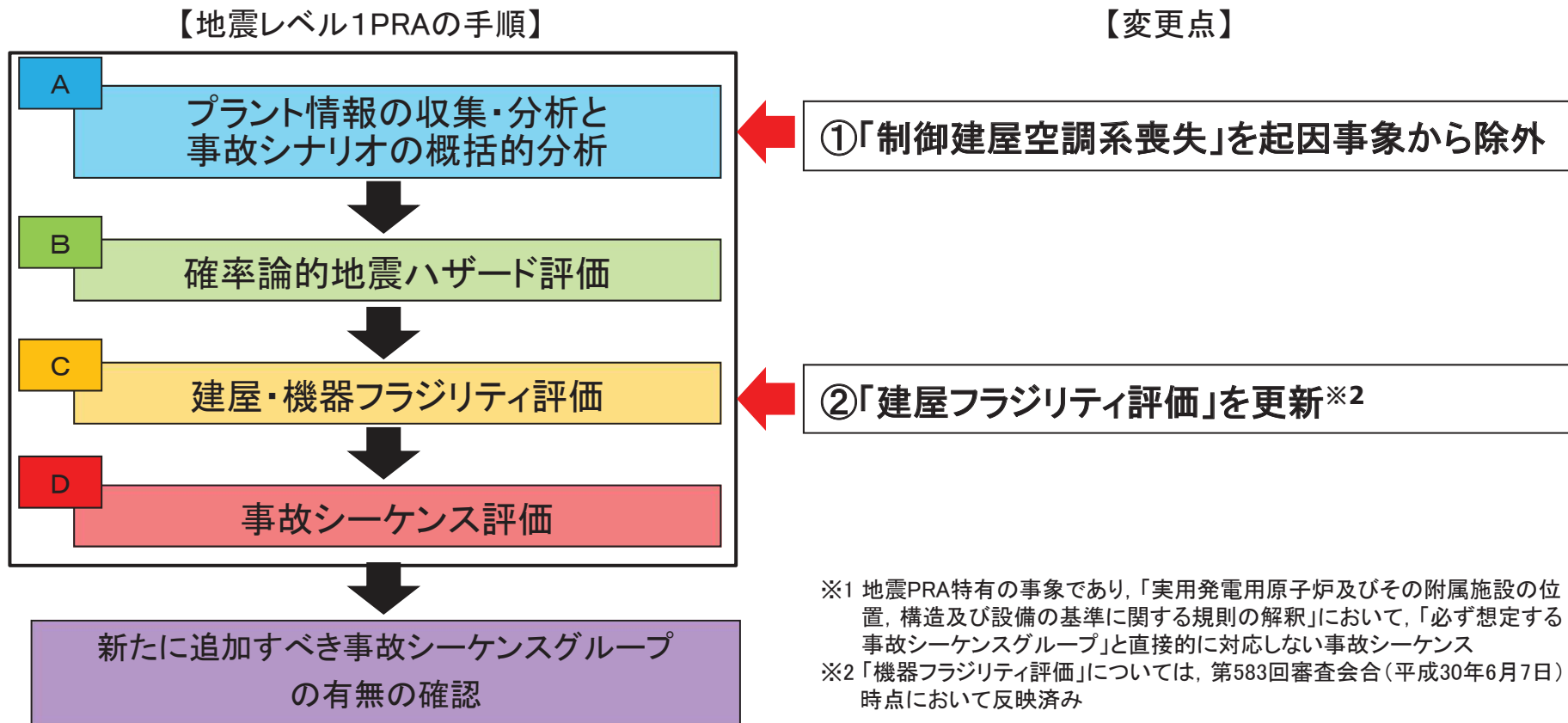
応答評価、耐力評価の不確かさを考慮して、地震加速度に対する累積損傷確率を算出する。

事故シナリオの概括的分析結果を用いて評価モデルを作成し、地震ハザード及びフラジリティ評価結果を用いて炉心損傷頻度を算出する。



(補足)地震PRAの更新結果を踏まえた新たに追加すべき事故シーケンスグループの有無について(2/4)

- 今回、①「制御建屋空調系喪失を起因事象から除外」及び②「建屋フラジリティ評価の更新」を実施したことから、地震PRAの評価結果が更新されるため、新たに追加すべき事故シーケンスグループ※¹の有無について確認



(補足)地震PRAの更新結果を踏まえた新たに追加すべき事故シーケンスグループの有無について(3/4)

<地震PRA結果>

- 頻度の観点 ⇒ 地震特有の事故シーケンスの全炉心損傷頻度に対する寄与割合はそれぞれ1%未満(下表参照)
- 影響度の観点 ⇒ ①「制御建屋空調系喪失を起因事象から除外」及び②「建屋フラジリティ評価の更新」により事象の影響度は変わらない

<新たに追加すべき事故シーケンスグループの有無の確認>

- ✓ ①及び②の地震PRAへの反映後においても、頻度・影響度の観点から、従前の結果は変わらず、新たに追加すべき事故シーケンスグループはないと判断

表 地震特有の事故シーケンスと全CDFに対する寄与割合

事故シーケンスグループ		炉心損傷頻度	全CDFに対する寄与割合
E-LOCA	ノズル等の損傷または主蒸気逃がし安全弁の開に失敗し、大破断LOCAを上回る規模のLOCAが発生し、炉心損傷に至る	8.0×10^{-7}	0.9%
原子炉建屋損傷	原子炉建屋の損傷により、原子炉格納容器、原子炉圧力容器、非常用交流電源や注水設備等の広範囲にわたる建屋内の構築物及び緩和設備が損傷し、炉心損傷に至る	4.8×10^{-8}	<0.1%
制御建屋損傷	制御建屋の損傷により、建屋内の中央制御盤及び直流電源等が損傷し、炉心損傷に至る	1.9×10^{-7}	0.2%
格納容器損傷	原子炉格納容器等の損傷により、原子炉圧力容器、原子炉格納容器内配管、主蒸気逃がし安全弁等の原子炉格納容器内及び周辺設備が損傷し、炉心損傷に至る	5.2×10^{-7}	0.6%
圧力容器損傷	原子炉圧力容器の損傷により大規模なLOCAの発生及び緩和設備が機能喪失し、炉心損傷に至る	4.1×10^{-7}	0.5%
計測・制御系喪失	計測機器及び制御盤の損傷により、緩和設備が機能喪失し、炉心損傷に至る	3.7×10^{-7}	0.4%
格納容器バイパス	主蒸気隔離弁、原子炉冷却材浄化系隔離弁または給水系隔離弁の損傷による原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離失敗及び原子炉格納容器外の耐震重要度低クラス配管の損傷により、格納容器バイパスが発生し、炉心損傷に至る	1.0×10^{-7}	0.1%

(補足)地震PRAの更新結果を踏まえた新たに追加すべき事故シーケンスグループの有無について(4/4)

■PRA結果に基づく新たな事故シーケンスグループの検討

事故シーケンス	シーケンス No.	事故シーケンス別の炉心損傷頻度(/炉年)				全炉心損傷頻度に対する割合	炉心損傷に至る主要因	グループ別炉心損傷頻度(/炉年)	全炉心損傷頻度に対する割合	解釈1-1(a)の事故シーケンスグループ	規則解釈
		内部事象	地震	津波	合計						
過渡事象+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(1)	1.5E-11	3.6E-08	-	3.6E-08	<0.1%	原子炉注水に失敗	3.7E-08	<0.1%	高圧・低圧注水機能喪失	1-2(a)
過渡事象+SRV再閉失敗+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(2)	5.4E-12	9.6E-10	-	9.7E-10	<0.1%					
手動停止+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(12)	4.6E-13	-	-	4.6E-13	<0.1%					
手動停止+SRV再閉失敗+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(13)	2.1E-13	-	-	2.1E-13	<0.1%					
サポート系喪失+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(14)	7.7E-12	-	-	7.7E-12	<0.1%					
サポート系喪失+SRV再閉失敗+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(15)	3.1E-13	-	-	3.1E-13	<0.1%					
過渡事象+高圧注水失敗+手動減圧失敗	(3)	1.8E-07	1.6E-06	-	1.8E-06	2.0%	原子炉減圧に失敗	1.8E-06	2.1%	高圧注水・減圧機能喪失	1-2(a)
手動停止+高圧注水失敗+手動減圧失敗	(16)	8.5E-09	-	-	8.5E-09	<0.1%					
サポート系喪失+高圧注水失敗+手動減圧失敗	(17)	1.7E-09	-	-	1.7E-09	<0.1%					
全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+HPCS失敗	(7)	6.1E-11	1.4E-05	-	1.4E-05	15.4%	サポート機能(電源機能)の喪失	1.5E-05	17.1%	全交流動力電源喪失	1-2(a)
全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+SRV再閉失敗+HPCS失敗	(8)	9.3E-13	4.5E-08	-	4.5E-08	<0.1%					
全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+高圧注水失敗	(9)	1.3E-12	4.3E-07	-	4.3E-07	0.5%					
全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+直流電源喪失+HPCS失敗	(10)	4.5E-12	1.1E-06	-	1.1E-06	1.2%					
過渡事象+除熱失敗	(4)	5.1E-05	1.2E-05	-	6.3E-05	70.3%	格納容器からの除熱に失敗	6.7E-05	75.4%	崩壊熱除去機能喪失	1-2(b)
過渡事象+SRV再閉失敗+除熱失敗	(5)	1.4E-07	3.3E-08	-	1.7E-07	0.2%					
手動停止+除熱失敗	(18)	2.7E-06	-	-	2.7E-06	3.0%					
手動停止+SRV再閉失敗+除熱失敗	(19)	7.2E-09	-	-	7.2E-09	<0.1%					
サポート系喪失+除熱失敗	(20)	1.7E-06	-	-	1.7E-06	1.9%					
サポート系喪失+SRV再閉失敗+除熱失敗	(21)	4.3E-09	-	-	4.3E-09	<0.1%					
小破断LOCA+除熱失敗	(22)	5.2E-08	-	-	5.2E-08	<0.1%					
中破断LOCA+除熱失敗	(23)	3.4E-08	-	-	3.4E-08	<0.1%					
大破断LOCA+除熱失敗	(24)	3.4E-09	-	-	3.4E-09	<0.1%					
過渡事象+原子炉停止失敗	(6)	3.9E-09	8.0E-07	-	8.0E-07	0.9%	反応度抑制に失敗	1.6E-06	1.8%	原子炉停止機能喪失	1-2(b)
小破断LOCA+原子炉停止失敗	(25)	5.0E-12	-	-	5.0E-12	<0.1%					
中破断LOCA+原子炉停止失敗	(26)	3.3E-12	-	-	3.3E-12	<0.1%					
大破断LOCA+原子炉停止失敗	(27)	3.3E-13	-	-	3.3E-13	<0.1%					
全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+HPCS失敗+原子炉停止失敗※1	(11)	-	8.1E-07	-	8.1E-07	0.9%	原子炉冷却材の喪失	8.0E-07	0.9%	LOCA時注水機能喪失	1-2(a)
小破断LOCA+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(28)	6.3E-15	-	-	6.3E-15	<0.1%					
小破断LOCA+高圧注水失敗+原子炉自動減圧失敗	(29)	4.9E-14	-	-	4.9E-14	<0.1%					
中破断LOCA+HPCS失敗+低圧ECCS失敗	(30)	4.2E-13	-	-	4.2E-13	<0.1%					
中破断LOCA+HPCS失敗+原子炉自動減圧失敗	(31)	2.8E-12	-	-	2.8E-12	<0.1%					
大破断LOCA+HPCS失敗+低圧ECCS失敗	(32)	4.2E-14	-	-	4.2E-14	<0.1%					
E-LOCA※2	(38)	-	8.0E-07	-	8.0E-07	0.9%					
7 インターフェイスシステムLOCA(ISLOCA)	(33)	2.4E-09	-	-	2.4E-09	<0.1%	格納容器貫通配管からの漏洩	2.4E-09	<0.1%	格納容器バイパス(ISLOCA)	1-2(b)
8 原子炉建屋損傷※2	(34)	-	4.8E-08	-	4.8E-08	<0.1%	外部事象による大規模な損傷	4.8E-08	<0.1%	該当なし	
制御建屋損傷※2	(35)	-	1.9E-07	-	1.9E-07	0.2%					
格納容器損傷※2	(36)	-	5.2E-07	-	5.2E-07	0.6%					
圧力容器損傷※2	(37)	-	4.1E-07	-	4.1E-07	0.5%					
計測・制御系喪失※2	(39)	-	3.7E-07	-	3.7E-07	0.4%					
格納容器バイパス※2	(40)	-	1.0E-07	-	1.0E-07	0.1%					
複数の緩和機能喪失※2	(41)	-	-	7.3E-07	7.3E-07	0.8%					
合計		5.5E-05	3.3E-05	7.3E-07	8.9E-05	-					

赤字:建屋フラジリティ更新により、変更となった箇所

ハッチング:地震、津波特有の事象で、解釈に基づき想定する事故シーケンスグループと直接的に対応しないもの

※1:地震発生と同時に最大の加速度を受けるものとして評価している地震レベルIPRAの設定上抽出されたものであるが、地震時の挙動を現実的に想定すると、基準地震動よりも十分小さな加速度でスクラム信号「地震加速度大」が発信され、炉内構造物が損傷する加速度に至る前に制御棒の挿入が完了すると考えられることから、現実的には発生し難いと考え、炉心損傷防止対策の有効性を確認する対象に該当しないと判断したシーケンス

※2:解釈1-1(a)の必ず想定する事故シーケンスグループに該当しないが、安全機能喪失時の対策の有効性を評価するためのシナリオとしては適当でないと判断し、新たに追加するシーケンスとはしないこととしたシーケンス

付録1 1. 炉心損傷防止対策の有効性評価の事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定について



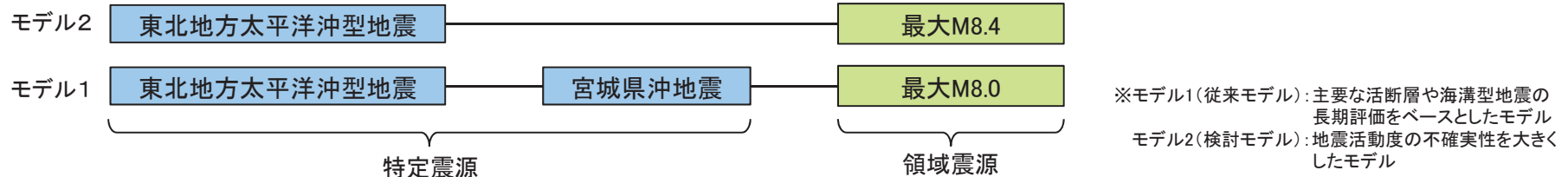
参考 地震ハザード評価の変更ポイント

〔 第583回審査会合(平成30年6月7日)資料抜粋 〕

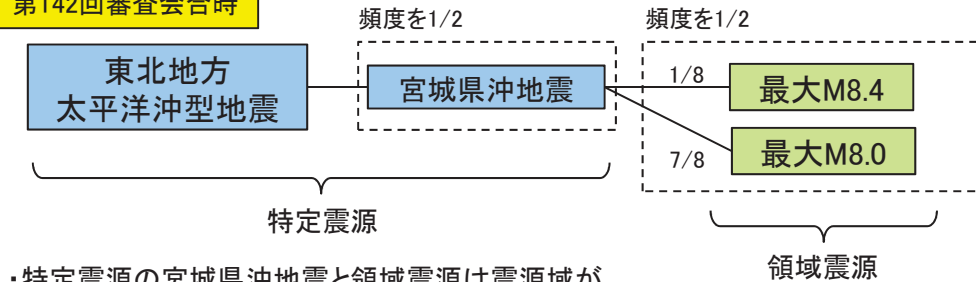
[参考]第142回審査会合時と今回の地震ハザード評価の変更ポイント(1/3)

■特定震源(プレート間地震)の評価に係わるロジックツリーの変更

- 女川においては、震源モデルの設定に際し、地震調査研究推進本部の知見を参考にしている。
- 地震本部(2013)では、宮城県沖に関わる特定震源と領域震源を、モデル1、モデル2としてそれぞれ次のように評価を実施。



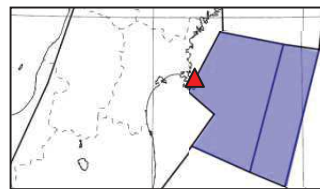
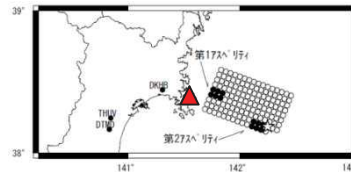
第142回審査会合時



- ・特定震源の宮城県沖地震と領域震源は震源域が重複している。
- ・特定震源の宮城県沖地震でプレート間の固着域が破壊すること、領域震源でプレート間の固着域が破壊することの両方を考慮するのは過大評価になる。

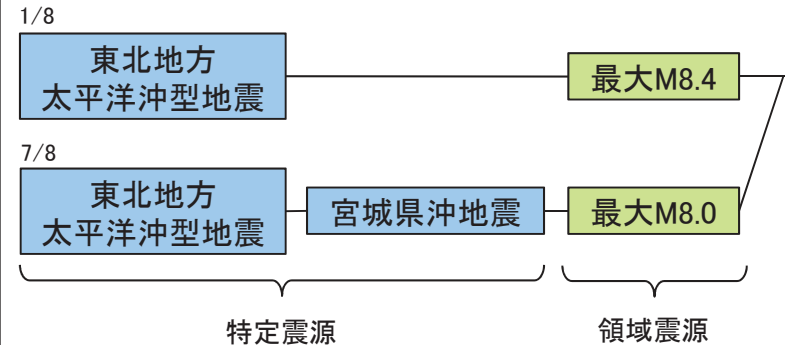
宮城県沖地震と領域震源を等分配に設定
(頻度を1/2)

【基準地震動の年超過確率の参照の審査でのコメント】
 宮城県沖の特定地震と領域震源の発生頻度を1/2とする考え方は重み付けが小さいともみえるので、他の考え方も含め再度、整理して説明すること。



今回

第558回審査会合(平成30年3月23日)で概ね妥当と評価



- ・日本原子力学会標準(2015)では、対象とする認識論的不確実さ要因について、判断が分かれる項目、評価方法が複数存在する項目等のうち、影響を及ぼす項目をロジックツリーで考慮することとされている。

地震本部(2013)のモデル1、モデル2を分岐させたロジックツリーを設定

[参考]第142回審査会合時と今回の地震ハザード評価の変更ポイント(2/3)

■特定震源(内陸地殻内地震)の評価内容の変更

- ・最新の調査結果等に基づき、評価対象の活断層を追加および諸元の見直し(下表の朱書き部分)
- ・「単独の活動を考慮」と「連動の活動を考慮」を分岐させたロジックツリーを設定

第142回審査会合時		今回	
単独の活動を考慮		単独の活動を考慮	1/2
	M		M
F-2断層・F-4断層	7.2	F-2断層・F-4断層	7.2
F-5断層	6.7	F-5断層	6.7
F-6断層~F-9断層	7.2	F-6断層~F-9断層	7.2
F-12断層~F-14断層	7.1	F-12断層~F-14断層	7.1
f-13断層	6.7	f-13断層	6.7
f-14断層	6.7	f-14断層	6.7
f-15断層	6.7	f-15断層	6.7
F-15断層・F-16断層	7.5	F-15断層・F-16断層	7.5
網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	6.7	網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	6.7
加護坊山-寛岳山断層	6.9	加護坊山-寛岳山断層	6.9
旭山撓曲・須江断層	6.8	旭山撓曲・須江断層	6.8
2003年宮城県中部の地震南部セグメント断層	6.7	2003年宮城県中部の地震南部セグメント断層	6.7
長町-利府線断層帯	7.5	長町-利府線断層帯	7.5
北上低地西縁断層帯	7.8	北上低地西縁断層帯	7.8
山形盆地断層帯	7.8	山形盆地断層帯	7.8
福島盆地西縁断層帯	7.8	福島盆地西縁断層帯	7.8
双葉断層	7.5	双葉断層	7.5
鬼首断層	6.7	鬼首断層	6.7
愛子断層	6.7	愛子断層	6.7
作並屋敷平	6.7	作並屋敷平	6.7
遠刈田断層	6.7	遠刈田断層	6.7
鶴巻田断層	6.7	鶴巻田断層	6.7
尾花沢断層	6.7	尾花沢断層	6.7
楯岡断層	6.7	楯岡断層	6.7
新山寺境ノ目	6.7	新山寺境ノ目	6.7
田沢一里断層	6.7	田沢一里断層	6.7
		連動の活動を考慮	1/2
			M
		■, ■, ■: 連動を考慮した断層	M
		F-2断層・F-4断層	7.2
		F-5断層	6.7
		F-6断層~F-9断層	7.2
		f-13断層	6.7
		f-14断層	6.7
		f-15断層	6.7
		網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	6.7
		III断層	7.5
		IV断層	7.6
		V断層	7.3
		1900年宮城県北部の地震	7.0
		長町-利府線断層帯	7.5
		北上低地西縁断層帯	7.8
		山形盆地断層帯	7.8
		福島盆地西縁断層帯	7.8
		双葉断層	7.5
		横手盆地東縁断層帯	7.7
		鬼首断層	6.7
		愛子断層	6.7
		作並屋敷平	6.7
		遠刈田断層	6.7
		鶴巻田断層	6.7
		尾花沢断層	6.7
		楯岡断層	6.7
		新山寺境ノ目	6.7
		田沢一里断層	6.7
		仙台湾の断層群による地震	7.6
		石巻平野周辺の断層群による地震	7.6
		岩手・宮城県境の断層群による地震	7.6

■地震基盤相当の速度構造の見直し

- ・Noda et al.(2002)に基づく地震動評価において、地震基盤相当の速度構造を見直した。
S波速度 = 3,000m/s → 2,200m/s P波速度 = 5,000m/s → 4,200m/s

[参考]第142回審査会合時と今回の地震ハザード評価の変更ポイント(3/3)

- ①特定震源(プレート間地震)の評価に係わるロジックツリーの変更 … 主に $10^{-2} \sim 10^{-3}$ の年超過確率に影響(図1参照)
- ②特定震源(内陸地殻内地震)の評価内容の変更 … 主に低頻度, 長周期のスペクトル形状に影響
(影響度は低)(図2参照)
- ③地震基盤相当の速度構造の見直し … 主に長周期帯のスペクトル形状に影響(図2参照)

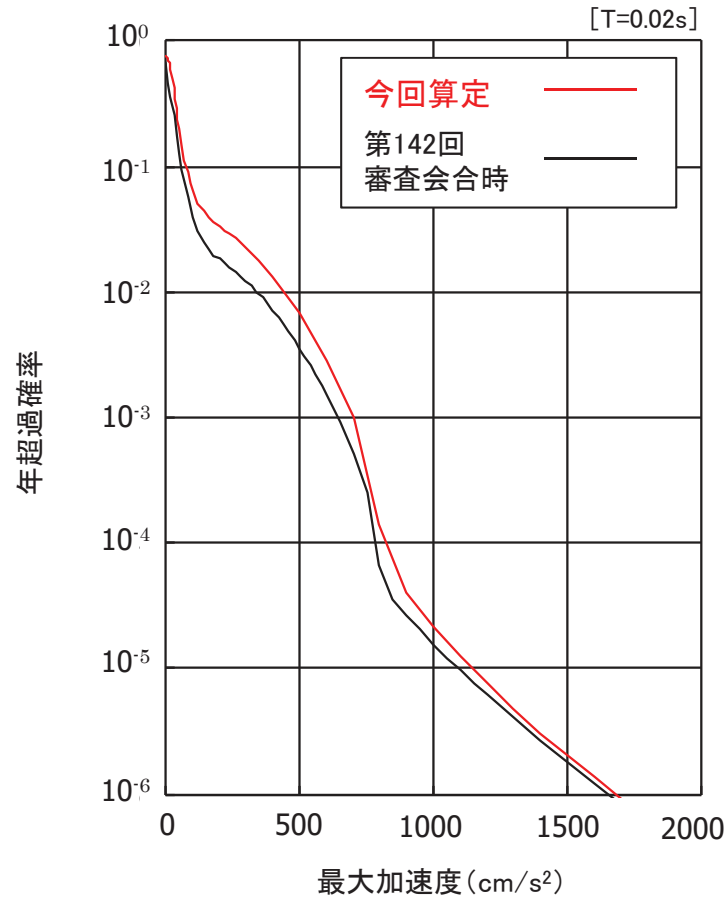


図1 平均地震ハザード曲線(水平方向)

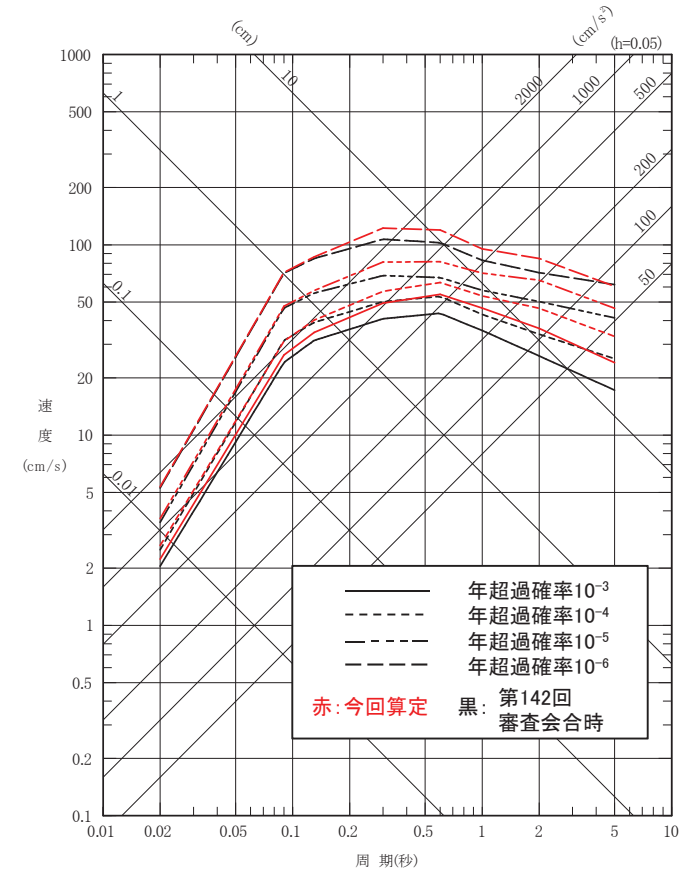


図2 一様ハザードスペクトル(水平方向)