

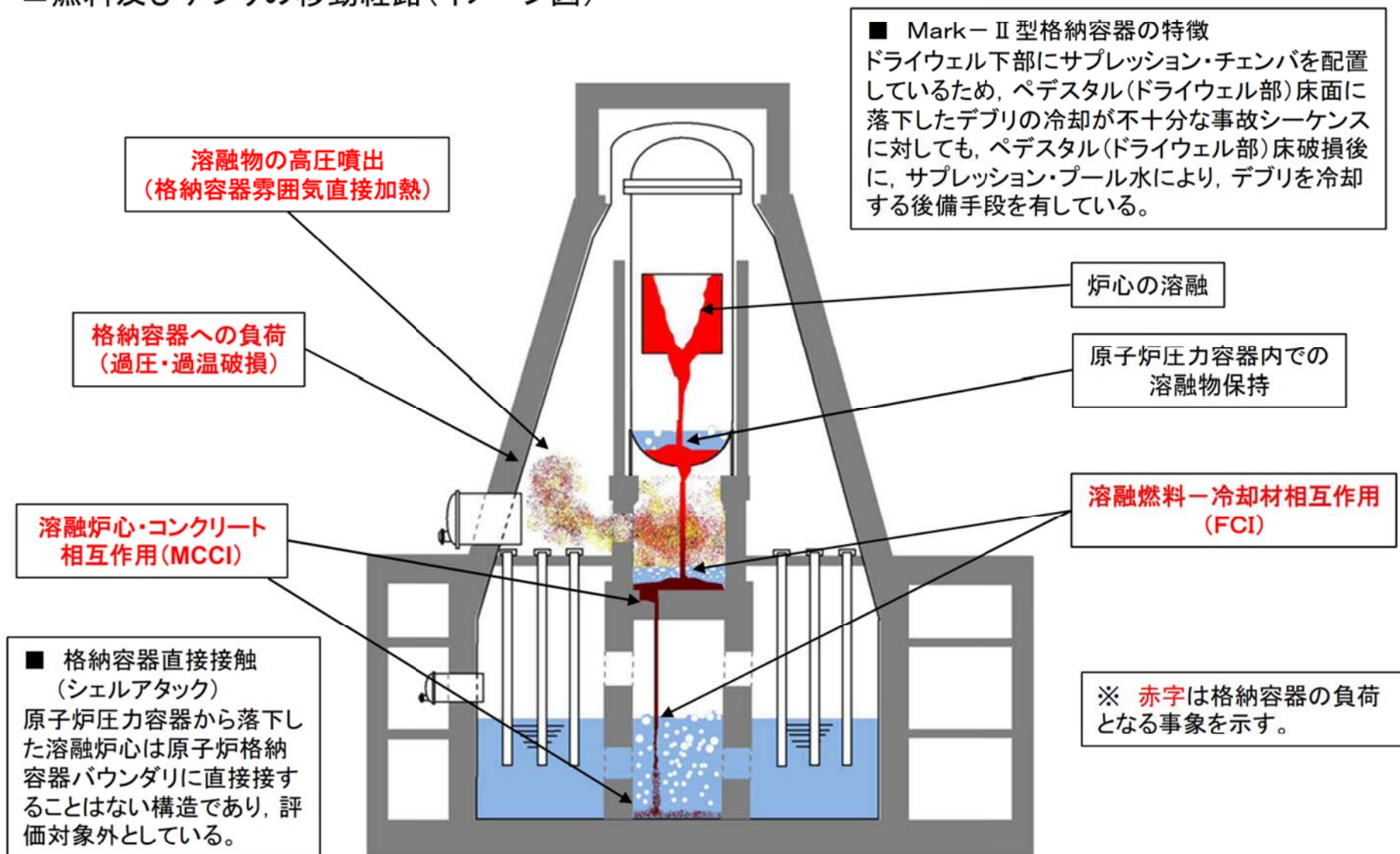
## 4. レベル1. 5PRA

### 4. 1 内部事象出力運転時レベル1. 5PRA

# (1)プラントの構成・特性



## ■燃料及びデブリの移動経路(イメージ図)



格納容器の形状及び溶融デブリの移動経路の概略

## (2) 損傷状態の分類



### ■プラント損傷状態別の発生頻度

➤レベル1PRAの炉心損傷シーケンス別の炉心損傷頻度を基に、プラント損傷状態別の発生頻度を定量化

炉心損傷シーケンス別の炉心損傷頻度

炉心損傷シーケンス	炉心損傷頻度 (/炉年)
TQUV	3.5E-09
TQUX	2.0E-08
長期TB	7.7E-08
TBU	2.1E-08
TBP	5.3E-10
TBD	6.0E-12
TW	5.6E-05
TBW	4.8E-06
TC	2.5E-08
AE	1.4E-12
S1E	2.0E-11
S2E	1.6E-13
ISLOCA	4.8E-10
合計	6.1E-05



プラント損傷状態別の発生頻度

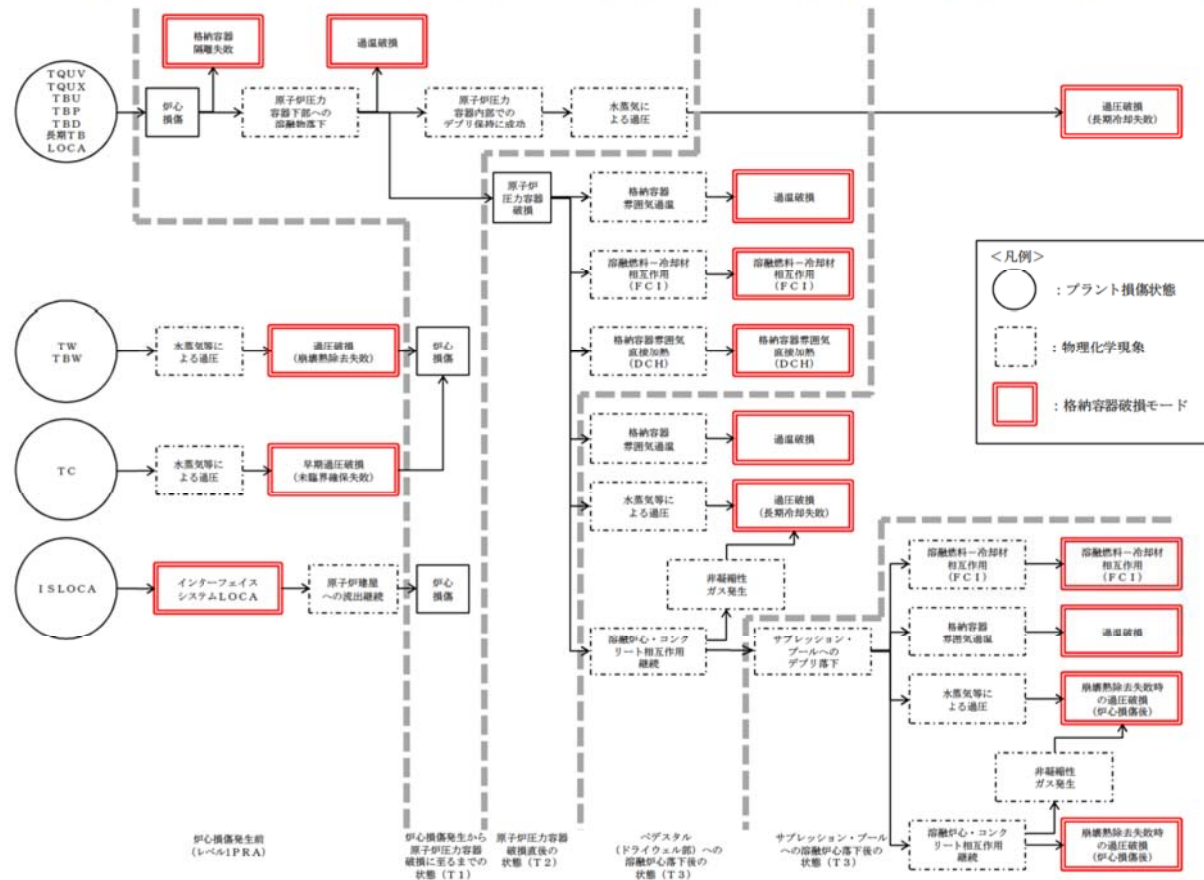
プラント損傷状態	発生頻度 (/炉年)
TQUV	3.5E-09
TQUX	2.0E-08
長期TB	7.7E-08
TBU	2.1E-08
TBP	5.3E-10
TBD	6.0E-12
TW/TBW	6.0E-05
TC	2.5E-08
LOCA	2.2E-11
ISLOCA	4.8E-10
合計	6.1E-05

### (3) 格納容器破損モードの設定(1/2)



#### ■ 格納容器破損モード分類の考え方

- 原子炉圧力容器の破損の有無に注目し、3つの事故進展フェーズ(原子炉圧力容器破損前(T1), 原子炉圧力容器破損直後(T2), 事故後期(T3))を設定
- 各事故進展フェーズで発生する物理化学現象及び事故の緩和手段の分析を踏まえて格納容器破損モードを抽出



- Mark-II型格納容器では、ドライウェル下部にサブプレッション・プールを配置している構造上の特徴から、デブリのペデスタル床貫通後にサブプレッション・プールにおける事故進展が想定される

### (3) 格納容器破損モードの設定(2/2)



#### ■抽出した格納容器破損モード

格納容器の状態		格納容器破損モード	格納容器破損モードの概要
格納容器バイパス		インターフェイスシステムLOCA	インターフェイスシステムLOCA後の格納容器バイパス
格納容器隔離失敗		格納容器隔離失敗	事故後に格納容器の隔離に失敗
格納容器 物理的破損	格納容器 先行破損	早期過圧破損(未臨界確保失敗)	未臨界確保に失敗し、水蒸気発生に伴う過圧による格納容器先行破損
		過圧破損(崩壊熱除去失敗)	崩壊熱除去に失敗し、水蒸気発生に伴う過圧による格納容器先行破損
	炉心損傷後の 格納容器破損	過圧破損(長期冷却失敗)	水蒸気・非凝縮性ガス蓄積に伴う過圧による格納容器破損
		過温破損	格納容器貫通部等が過温により破損
		格納容器雰囲気直接加熱(DCH)	格納容器雰囲気直接加熱による格納容器破損
		水蒸気爆発(FCI)	水蒸気爆発による格納容器破損
		溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)	溶融炉心・コンクリート相互作用が継続し、原子炉圧力容器支持機能の喪失による格納容器破損

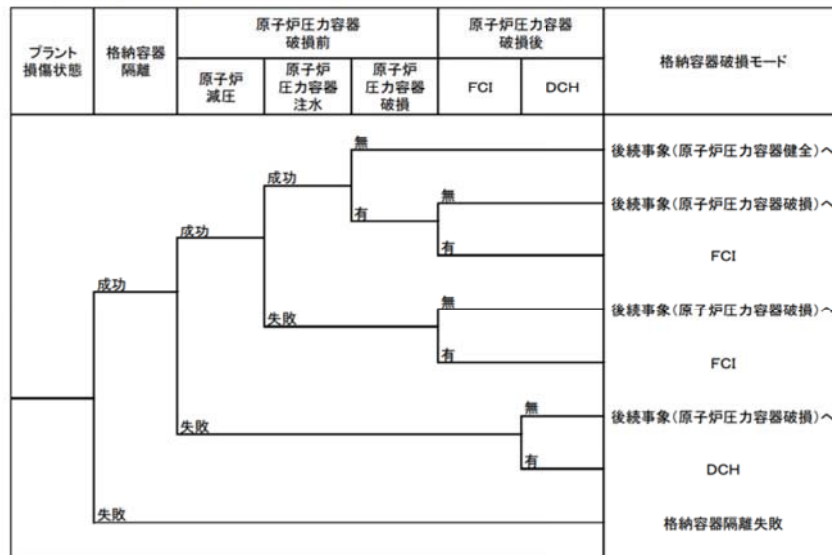
# (4) 事故シーケンスの分析



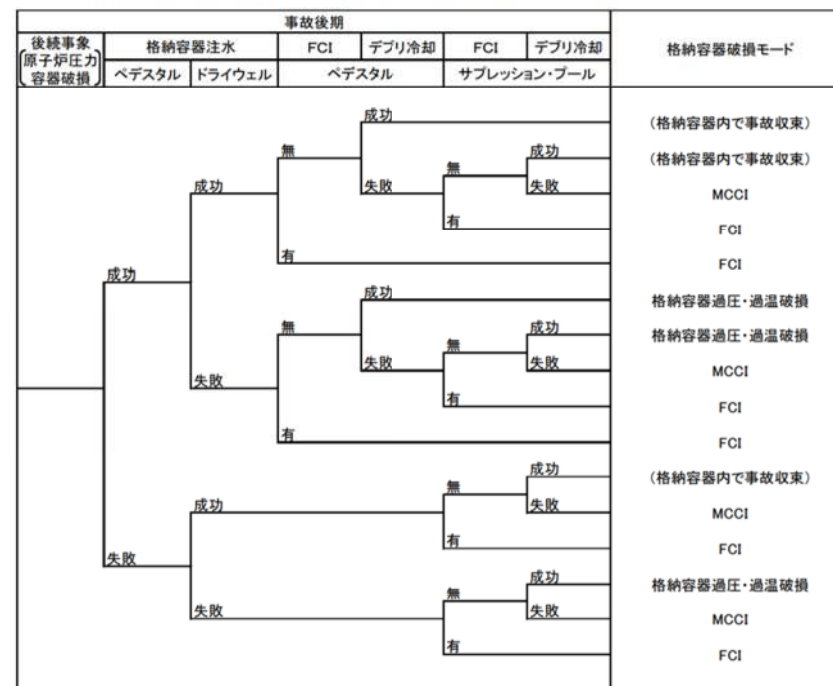
## ■ 格納容器イベントツリー

- ▶ 原子炉圧力容器前及び破損後，事故後期(原子炉圧力容器健全)，並びに事故後期(原子炉圧力容器破損)の格納容器イベントツリーを作成し，格納容器破損に至る事故シーケンスを展開

＜原子炉圧力容器破損前及び破損後のイベントツリー＞



＜事故後期(原子炉圧力容器破損)のイベントツリー＞



＜事故後期(原子炉圧力容器健全)のイベントツリー＞



# (5) 格納容器破損頻度の定量化

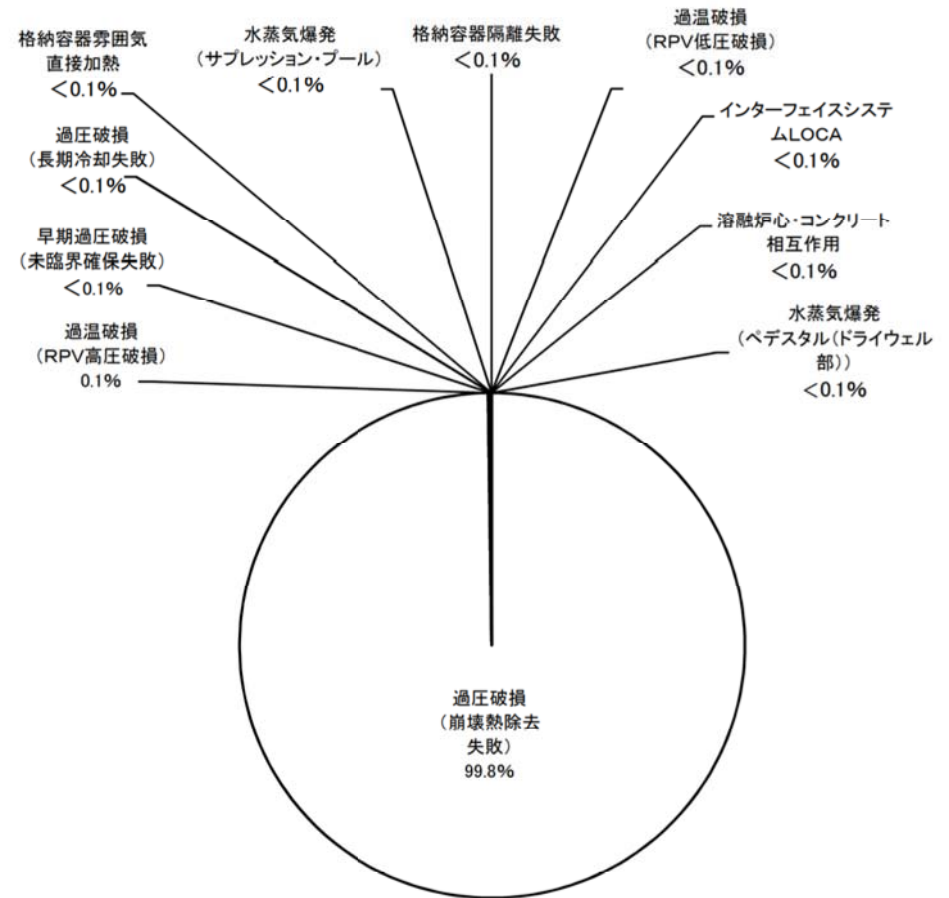


## ■ 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度

➤ 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度は、「TW/TBW」による格納容器破損モードである「過圧破損（崩壊熱除去失敗）」の寄与割合が約99.8%を占め支配的

格納容器破損モード別の格納容器破損頻度

格納容器破損モード	格納容器破損頻度 (／炉年)	寄与割合
インターフェイスシステムLOCA	4.8E-10	< 0.1
格納容器隔離失敗	6.1E-10	< 0.1
過圧破損(未臨界確保失敗)	2.5E-08	< 0.1
過圧破損(崩壊熱除去失敗)	6.0E-05	99.8
過圧破損(長期冷却失敗)	2.0E-08	< 0.1
過温破損(RPV高压破損)	7.9E-08	0.1
過温破損(RPV低压破損)	4.9E-10	< 0.1
格納容器雰囲気直接加熱(DCH)	8.5E-09	< 0.1
水蒸気爆発(ペDESTAL(ドライウエル部))	2.2E-14	< 0.1
水蒸気爆発(サブプレッション・プール)	2.5E-09	< 0.1
熔融炉心・コンクリート相互作用	1.3E-10	< 0.1
全格納容器破損頻度	6.1E-05	100.0



## 5. 事故シーケンスグループ(事故想定)の抽出 及び重要事故シーケンスの選定

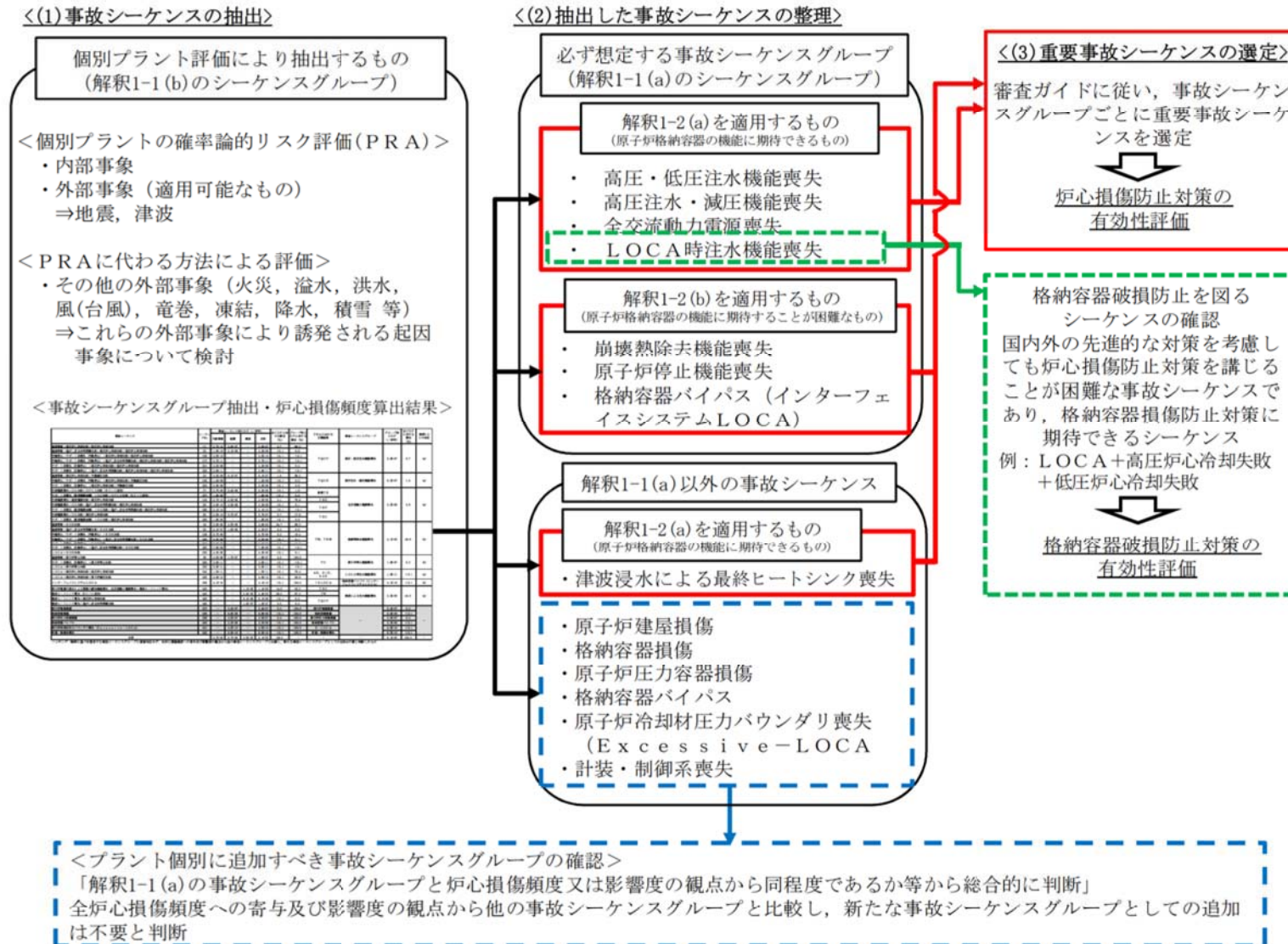
### 5. 1 炉心損傷防止対策の有効性評価に係る 事故シーケンス選定



# (1) 事故シーケンス選定のプロセス



## ■PRAから事故シーケンスグループ(事故想定)を抽出する



## (2) PRAより抽出した事故シーケンスの整理



### ■PRAより抽出した事故シーケンスの整理

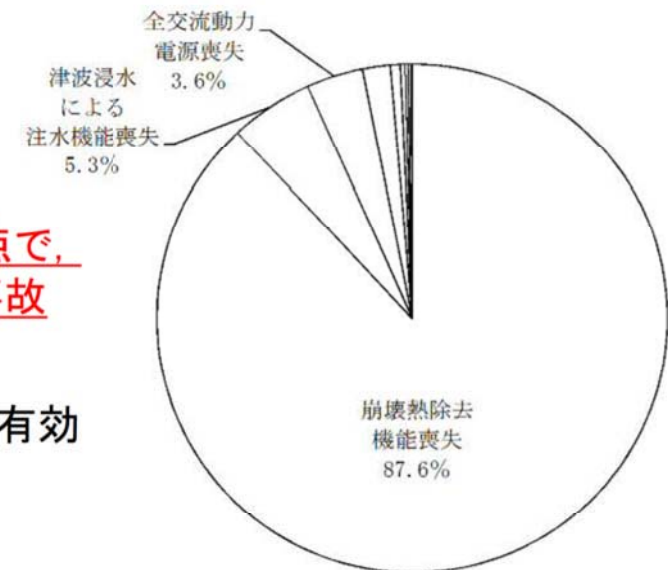
➤「必ず想定する事故シーケンスグループ(事故想定)」として、次の事故シーケンスグループ(事故想定)を抽出

- ✓ 高圧・低圧注水機能喪失
- ✓ 高圧注水・減圧機能喪失
- ✓ 全交流動力電源喪失
- ✓ 崩壊熱除去機能喪失
- ✓ 原子炉停止機能喪失
- ✓ LOCA時注水機能喪失
- ✓ 格納容器バイパス(インターフェイスシステムLOCA)

➤ 津波特有の対策が必要であり、有意な頻度を持つという観点で、「津波浸水による最終ヒートシンク喪失」を新たに追加する事故シーケンスグループ(事故想定)として抽出

➤ 次の事故シーケンスについては、頻度及び影響の観点から、有効性評価の対象とする事故シーケンスから除外

- ✓ 原子炉建屋損傷
- ✓ 格納容器損傷
- ✓ 原子炉圧力容器損傷
- ✓ 格納容器バイパス
- ✓ 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失(Excessive LOCA)
- ✓ 計装・制御系喪失
- ✓ 防潮堤損傷



全炉心損傷頻度に対する各事故シーケンスグループ(事故想定)の炉心損傷頻度の割合

### (3) 重要事故シーケンスの選定(1/2)



#### ■重要事故シーケンス選定の考え方

- 審査ガイドに記載の着眼点を踏まえ、事故シーケンスグループ(事故想定)ごとに炉心損傷防止対策の有効性評価の重要事故シーケンスを選定

【審査ガイドに記載の着眼点】

- 共通原因故障又は系統間の機能の依存性によって複数の設備が機能喪失し、炉心の著しい損傷に至る。
- 炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間が短い。
- 炉心損傷防止に必要な設備容量(流量又は逃がし弁容量等)が大きい。
- 事故シーケンスグループ(事故想定)内のシーケンスの特徴を代表している。

#### ■重要事故シーケンス選定結果

事故シーケンスグループ (事故想定)	重要事故シーケンス	主な炉心損傷防止対策
高圧・低圧注水機能喪失	過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗	低圧代替注水系(常設)
高圧注水・減圧機能喪失	過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉手動減圧失敗	過渡時自動減圧機能
全交流動力電源喪失	外部電源喪失＋非常用D/G失敗＋HPCS失敗(RCIC成功)	原子炉隔離時冷却系(RCIC) 低圧代替注水系(可搬型)
	外部電源喪失＋直流電源失敗＋高圧炉心冷却失敗	高圧代替注水系 常設代替直流電源設備
	外部電源喪失＋非常用D/G失敗＋S/R弁再閉鎖失敗	原子炉隔離時冷却系(RCIC) 低圧代替注水系(可搬型)

### (3) 重要事故シーケンスの選定(2/2)



#### ■重要事故シーケンス選定結果(つづき)

事故シーケンスグループ (事故想定)	重要事故シーケンス	主な炉心損傷防止対策
崩壊熱除去機能喪失	過渡事象＋RHR失敗	【RHR故障時】 格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント 【取水機能喪失時】 緊急用海水系
原子炉停止機能喪失	過渡事象＋原子炉停止失敗	代替原子炉再循環ポンプトリップ ほう酸水注入系
LOCA時注水機能喪失	中小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗	低圧代替注水系(常設) 格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント
格納容器バイパス(インターフェイスシステムLOCA)	インターフェイスシステムLOCA	破損系統を除く原子炉注水機能 破損系統の隔離 原子炉注水
津波浸水による最終ヒートシンク喪失	原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失	津波防護対策 原子炉隔離時冷却系(RCIC) 低圧代替注水系(可搬型) 緊急用海水系 常設代替交流電源装置

上記の事故シーケンスグループ(事故想定)／重要事故シーケンスを対象に、対策の有効性評価を実施する。

## 5. 事故シーケンスグループ(事故想定)の抽出 及び重要事故シーケンスの選定

### 5. 2 停止中における燃料損傷防止対策の 有効性評価に係る事故シーケンス選定

# (1) 事故シーケンス選定のプロセス



## ■PRAから事故シーケンスグループ(事故想定)を抽出する

### 〈(1)事故シーケンスの抽出〉

個別プラント評価により抽出するもの  
(解釈4-1 (b) のシーケンスグループ)

〈個別プラントの確率論的リスク評価(PRA)〉  
・ 内部事象

〈事故シーケンスグループ抽出・炉心損傷頻度算出結果〉

事故シーケンスグループ	事故シーケンス	シーケンス抽出PRA 発生頻度 (1/a)	炉心損傷頻度 算出結果 (1/b)	グループ抽出PRA 発生頻度 (1/c)	炉心損傷頻度 算出結果 (1/d)
内部事象	炉心損傷防止装置の故障 (RHRの喪失) + 炉心冷却失敗	9.9E-07	23.3	79.9	
	炉心損傷防止装置の故障 (RHRの喪失) + 炉心冷却失敗 + 炉心損傷防止装置の故障	1.0E-07	9.7	9.7	1.0E-06
炉心損傷防止装置の故障	炉心損傷防止装置の故障	5.9E-07	5.9	15.9	
	炉心損傷防止装置の故障 + 炉心損傷防止装置の故障	3.4E-06	22.7	28.6	3.4E-06
炉心損傷防止装置の故障 + 炉心損傷防止装置の故障	炉心損傷防止装置の故障 + 炉心損傷防止装置の故障	1.9E-06	16.1	16.1	
	炉心損傷防止装置の故障 (RHRの喪失) + 炉心損傷防止装置の故障	6.4E-10	16.1	16.1	
炉心損傷防止装置の故障 + 炉心損傷防止装置の故障	炉心損傷防止装置の故障 (RHRの喪失) + 炉心損傷防止装置の故障	3.9E-10	16.1	16.1	
	炉心損傷防止装置の故障 (RHRの喪失) + 炉心損傷防止装置の故障	1.9E-10	16.1	16.1	
炉心損傷防止装置の故障 + 炉心損傷防止装置の故障	炉心損傷防止装置の故障 (LFRの喪失) + 炉心損傷防止装置の故障	2.4E-14	16.1	16.1	
	炉心損傷防止装置の故障 (LFRの喪失) + 炉心損傷防止装置の故障	2.4E-14	16.1	16.1	
合計		6.7E-06	100.0	-	6.7E-06

### 〈(2)抽出した事故シーケンスの整理〉

必ず想定する事故シーケンスグループ  
(解釈4-1 (a) のシーケンスグループ)

- ・ 崩壊熱除去機能喪失 (RHRの故障による停止時冷却機能喪失)
- ・ 全交流動力電源喪失
- ・ 原子炉冷却材の流出
- ・ 反応度の誤投入※

※：停止時PRAでは評価対象外

### 〈(3)重要事故シーケンスの選定〉

審査ガイドに従い、  
事故シーケンスグループごとに  
重要事故シーケンスを選定



燃料損傷防止対策の  
有効性評価

## (2) PRAより抽出した事故シーケンスの整理



### ■PRAより抽出した事故シーケンスの整理

- 「事故シーケンスグループ(事故想定)」として、次の事故シーケンスグループ(事故想定)を抽出
  - ✓ 崩壊熱除去機能喪失
  - ✓ 全交流動力電源喪失
  - ✓ 原子炉冷却材の流出
  - ✓ 反応度の誤投入(PRAでは評価対象外)
- 「新たに追加する事故シーケンスグループ(事故想定)」は抽出されなかった

### (3) 重要事故シーケンスの選定



#### ■重要事故シーケンス選定の考え方

- ▶ 審査ガイドに記載の着眼点を踏まえ、事故シーケンスグループ(事故想定)ごとに炉心損傷防止対策の有効性評価の重要事故シーケンスを選定

【審査ガイドに記載の着眼点】

- a. 炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間が短い。
- b. 炉心損傷防止に必要な設備容量(流量又は逃がし弁容量等)が大きい。
- c. 事故シーケンスグループ(事故想定)内のシーケンスの特徴を代表している。

#### ■重要事故シーケンス選定結果

事故シーケンスグループ (事故想定)	重要事故シーケンス	主な炉心損傷防止対策
崩壊熱除去機能喪失	残留熱除去系の故障＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗	待機中のECCS(残留熱除去系(低圧注水系)等)
全交流動力電源喪失	外部電源喪失＋交流電源失敗＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗	低圧代替注水系(常設) 常設代替高圧電源装置
原子炉冷却材の流出	原子炉冷却材の流出(RHR切替時のLOCA)＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗	待機中のECCS(残留熱除去系(低圧注水系)等)
反応度の誤投入	制御棒の誤引抜き	安全保護系(原子炉出力ペリオド短 短(10秒)信号による原子炉スクラム)

上記の事故シーケンスグループ(事故想定)／重要事故シーケンスを対象に、対策の有効性評価を実施する。



## 5. 事故シーケンスグループ(事故想定)の抽出 及び重要事故シーケンスの選定

### 5. 3 格納容器破損防止対策の有効性評価 に係る評価シーケンス選定



## (2) PRAより抽出した格納容器破損モードの整理



### ■PRAより抽出した格納容器破損モード(事故想定)の整理

- 「格納容器破損モード(事故想定)」として、次の格納容器破損モード(事故想定)を抽出
  - ✓ 雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)
  - ✓ 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱
  - ✓ 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用
  - ✓ 水素燃焼(PRAでは評価対象外)
  - ✓ 溶融炉心・コンクリート相互作用
- 「新たに追加する格納容器破損モード(事故想定)」は抽出されなかった

### (3) 評価事故シーケンスの選定



#### ■ 評価シーケンス選定の考え方

- ▶ 審査ガイドの各格納容器破損モード(事故想定)に記載の着眼点を踏まえ、格納容器破損モード(事故想定)ごとに格納容器破損防止対策の有効性評価の評価シーケンスを選定

#### ■ 重要事故シーケンス選定結果

格納容器破損モード (事故想定)	評価シーケンス	主な格納容器破損防止対策
雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧破損)	大破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗+損傷炉心冷却失敗+(デブリ冷却成功)+格納容器注水(ドライウエル)失敗	低圧代替注水系(常設) 代替格納容器スプレイ冷却系(常設) 格納容器圧力逃がし装置 代替循環冷却系
雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過温破損)	大破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗+損傷炉心冷却失敗+格納容器注水(ドライウエル)失敗	代替循環冷却系
高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱(DCH)	過渡事象+高圧炉心冷却失敗+手動減圧失敗+炉心損傷後の手動減圧失敗+DCH	原子炉手動減圧
原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用(FCI)	過渡事象+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗+損傷炉心冷却失敗+FCI(ペDESTAL)	ペDESTAL(ドライウエル部)の水位を約1mに維持する手段
溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)	過渡事象+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗+損傷炉心冷却失敗+デブリ冷却失敗(ペDESTAL)	格納容器下部注水系(常設)
水素燃焼	—	窒素置換による格納容器雰囲気の不活性化

上記の格納容器破損モード(事故想定) / 評価シーケンスを対象に、対策の有効性評価を実施する。