

平成 2 1 年度
地震に係る確率論的安全評価手法の改良
= BWRの事故シーケンスの試解析 =

平成 2 2 年 1 2 月

独立行政法人 原子力安全基盤機構

本報告書は、独立行政法人 原子力安全基盤機構が実施した業務の成果をとりまとめたものです。

本報告書の複製、転載、引用には、当機構の承認が必要です。

目 次

1. 序論	1- 1
2. 地震 PSA に関する感度解析	2- 1
2.1 内的要因	2- 1
2.2 対象とする地震動の範囲	2- 5
2.3 国内機器故障率	2-12
3. 津波 PSA の試解析	3- 1
3.1 解析モデルの作成	3- 1
3.2 試解析	3- 2
4. 結論	4- 1
参考文献	参-1
略語一覧	略-1
付録 過渡事象から内的要因を取り除いた重要度指標の算出方法.....	付-1

目 次

表 2.1	BWR4 型プラント（サイト A）の 地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合	2-17
表 2.2	BWR4 型プラント（サイト A）の過渡事象の 地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合	2-17
表 2.3	BWR4 型プラント（サイト A）の起因事象別炉心損傷頻度（相対値） （ベースケースと過渡事象の内的要因を削除したケース）	2-18
表 2.4	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント）	2-19
表 2.5	RAW の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント）	2-20
表 2.6	BWR5 型プラント（サイト B）の 地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合	2-21
表 2.7	BWR5 型プラント（サイト B）の過渡事象の 地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合	2-21
表 2.8	BWR5 型プラント（サイト B）の起因事象別炉心損傷頻度（相対値） （ベースケースと過渡事象の内的要因を削除したケース）	2-22
表 2.9	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧（BWR5 型プラント）	2-23
表 2.10	RAW の上位機器カテゴリー一覧（BWR5 型プラント）	2-24
表 2.11	ドミナントシーケンス一覧（BWR4 型プラント）	2-25
表 2.12	シーケンス構成記号一覧（BWR4 型プラント）	2-26
表 2.13	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント、1500gal まで）	2-27
表 2.14	RAW の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント、1500gal まで）	2-28
表 2.15	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント、2000gal まで）	2-29
表 2.16	RAW の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント、2000gal まで）	2-30
表 2.17	残余のリスクの試解析結果（BWR4 型プラント）	2-31
表 2.18	ドミナントシーケンス一覧（BWR5 型プラント）	2-32
表 2.19	シーケンス構成記号一覧（BWR5 型プラント）	2-33
表 2.20	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧（BWR5 型プラント、1500gal まで）	2-34

表 2.21	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、1500gal まで)	2-35
表 2.22	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、2000gal まで)	2-36
表 2.23	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、2000gal まで)	2-37
表 2.24	残余のリスクの試解析結果 (BWR5 型プラント)	2-38
表 2.25	ランダム故障率	2-39
表 2.26	ドミナントシーケンス一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率)	2-46
表 2.27	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率、1300gal まで)	2-47
表 2.28	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率、1300gal まで)	2-48
表 2.29	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率、1500gal まで)	2-49
表 2.30	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率、1500gal まで)	2-50
表 2.31	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率、2000gal まで)	2-51
表 2.32	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率、2000gal まで)	2-52
表 2.33	ドミナントシーケンス一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率)	2-53
表 2.34	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率、1300gal まで)	2-54
表 2.35	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率、1300gal まで)	2-55
表 2.36	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率、1500gal まで)	2-56
表 2.37	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率、1500gal まで)	2-57
表 2.38	FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率、2000gal まで)	2-58

表 2.39	RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率、2000gal まで)	2-59
表 3.1	津波時のイベントツリーのヘディング一覧	3- 6
表 3.2	津波起因の機器の損傷/機能喪失の基事象の一覧	3- 7
表 3.3	試解析におけるアンアベイラビリティ一覧 (防波堤の効果を考慮しないケース)	3-8
表 3.4	試解析におけるアンアベイラビリティ一覧 (防波堤の効果を考慮するケース)	3-9

目 次

図 2.1	起因事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、ベースケース)	2-60
図 2.2	起因事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-60
図 2.3	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR4、サイト A、ベースケース)	2-61
図 2.4	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR4、サイト A、過渡事象 内的要因削除ケース)	2-61
図 2.5	単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR4、サイト A、全要因)	2-62
図 2.6	単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR4、サイト A、過渡事象のみ内的要因削除)	2-62
図 2.7	起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、ベースケース)	2-63
図 2.8	起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-63
図 2.9	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR5、サイト B、ベースケース)	2-64
図 2.10	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR5、サイト B、過渡事象 内的要因削除ケース)	2-64
図 2.11	単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR5、サイト B、全要因)	2-65
図 2.12	単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) (BWR5、サイト B、過渡事象のみ内的要因削除)	2-65
図 2.13	地震ハザード曲線 (サイト A 及びサイト B、2000gal まで領域拡張後)	2-66
図 2.14	プラント損傷確率曲線 (BWR4、2000gal まで)	2-66
図 2.15	起因事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、1500gal まで、ベースケース)	2-67
図 2.16	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	

(BWR4、サイト A、1500gal まで、ベースケース)	2-67
図 2.17 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、1500gal まで、ベースケース)	2-68
図 2.18 起回事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、2000gal まで、ベースケース)	2-68
図 2.19 起回事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、2000gal まで、ベースケース)	2-69
図 2.20 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、2000gal まで、ベースケース)	2-69
図 2.21 起回事象別寄与割合	
(BWR4、サイト A、1500gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-70
図 2.22 起回事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、1500gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-70
図 2.23 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、1500gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-71
図 2.24 起回事象別寄与割合	
(BWR4、サイト A、2000gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-71
図 2.25 起回事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、2000gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-72
図 2.26 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、2000gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-72
図 2.27 プラント損傷確率曲線 (BWR5、2000gal まで)	2-73
図 2.28 起回事象別寄与割合	
(BWR5、サイト B、1500gal まで、ベースケース)	2-73
図 2.29 起回事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、1500gal まで、ベースケース)	2-74
図 2.30 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、1500gal まで、ベースケース)	2-74
図 2.31 起回事象別寄与割合	

(BWR5、サイト B、2000gal まで、ベースケース)	2-75
図 2.32 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、2000gal まで、ベースケース)	2-75
図 2.33 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、2000gal まで、ベースケース)	2-76
図 2.34 起因事象別寄与割合	
(BWR5、サイト B、1500gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-76
図 2.35 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、1500gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-77
図 2.36 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、1500gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-77
図 2.37 起因事象別寄与割合	
(BWR5、サイト B、2000gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-78
図 2.38 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、2000gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-78
図 2.39 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR5、サイト B、2000gal まで、過渡事象の内的要因を削除したケース)	2-79
図 2.40 起因事象別寄与割合	
(BWR4、サイト A、国内故障率、1300gal まで)	2-79
図 2.41 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、国内故障率、1300gal まで)	2-80
図 2.42 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、国内故障率、1300gal まで)	2-80
図 2.43 起因事象別寄与割合	
(BWR4、サイト A、国内故障率、1500gal まで)	2-81
図 2.44 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、国内故障率、1500gal まで)	2-81
図 2.45 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
(BWR4、サイト A、国内故障率、1500gal まで)	2-82

図 2.46	起因事象別寄与割合	
	(BWR4、サイト A、国内故障率、2000gal まで)	2-82
図 2.47	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR4、サイト A、国内故障率、2000gal まで)	2-83
図 2.48	要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR4、サイト A、国内故障率、2000gal まで)	2-83
図 2.49	起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、国内故障率、1300gal まで)	2-84
図 2.50	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR5、サイト B、国内故障率、1300gal まで)	2-84
図 2.51	要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR5、サイト B、国内故障率、1300gal まで)	2-85
図 2.52	起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、国内故障率、1500gal まで)	2-85
図 2.53	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR5、サイト B、国内故障率、1500gal まで)	2-86
図 2.54	要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR5、サイト B、国内故障率、1500gal まで)	2-86
図 2.55	起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、国内故障率、2000gal まで)	2-87
図 2.56	起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR5、サイト B、国内故障率、2000gal まで)	2-87
図 2.57	要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)	
	(BWR5、サイト B、国内故障率、2000gal まで)	2-88
図 3.1	津波時の解析シナリオ	3-10
図 3.2	津波時のイベントツリー	3-11
図 3.3	試解析対象モデルプラントの海水周りの状況	3-12
図 3.4	試解析に用いた津波ハザード曲線	3-12
図 3.5	条件付炉心損傷確率と単位波高あたりの炉心損傷頻度の関係 (防波堤の効果を考慮しない場合)	3-13
図 3.6	条件付炉心損傷確率と単位波高あたりの炉心損傷頻度の関係 (防波堤の効果を考慮した場合)	3-13

参考文献

- (1) 「地震に係る確率論的安全評価手法の整備=BWRの事故シーケンスの試解析=」、JNES/SAE06-092、独立行政法人 原子力安全基盤機構、平成18年8月.
- (2) 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」、平成18年9月19日、原子力安全委員会決定
- (3) 「JNESにおけるPSA手法の標準化=出力運転時内の事象レベル1PSA手法=(別冊2)出力運転時内の事象レベル1PSA標準報告書=BWR5型プラント=」、JNES/SAE07-040、独立行政法人 原子力安全基盤機構、平成19年4月.
- (4) 「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定」、有限責任中間法人 日本原子力技術協会、2009年5月.
- (5) 「地震に係る確率論的安全評価手法の改良=BWRの事故シーケンスの試解析=」、09原確報、独立行政法人 原子力安全基盤機構、平成21年9月

略語一覧

ADS	Automatic Depressurization System	自動減圧系
ATWS	Anticipated Transient Without Scrum	スクラム不能過渡事象
BWR	Boiling Water Reactor	沸騰水型原子炉
CC	Control Center	コントロールセンタ
CCF	Common Cause Failure	共通原因故障
CDF	Core Damage Frequency	炉心損傷頻度
CRD	Control Rod Drive	制御棒駆動機構
CRDHS	Control Rod Drive Hydraulic Control System	制御棒駆動水圧系
CS	Core Spray System	炉心スプレイ系
CSCS	Containment Spray Cooling System	格納容器スプレイ冷却系
CST	Condensate Storage Tank	復水貯蔵タンク
DEP	Depressurization	原子炉手動減圧
DG	Diesel Generator	ディーゼル発電機
ECCS	Emergency Core Cooling System	非常用炉心冷却系
ELC	Emergency Local Cooling System	非常用ローカルクーラ系
EPS	Electric Power System	電気系
ET	Event Tree	イベントツリー
FT	Fault Tree	フォールトツリー
FV	Fussell-Vesely	ファッセルベズリー (重要度を表す指標)
FW	Feed Water System	給水系
HCLPF	High Confidence Low Probability of Failure	高信頼度低損傷確率
HPCI	High Pressure Coolant Injection System	高圧注入系
IAS	Instrument Air System	計装用空気系
ICM	In Core Monitor	炉内核計装
ISLOCA	Interfacing System LOCA	インターフェイス システム LOCA

JEAG	Japan Electric Association Guide	電気技術指針
LOCA	Loss of Coolant Accident	冷却材喪失事故
LOSP	Loss of Offsite Power	外部電源喪失
LPCI	Low Pressure Coolant Injection System	低圧注入系
LPRM	Local Power Range Monitor	局部出力領域計装
MCS	Minimal Cut Set	ミニマルカットセット
MS	Main Steam System	主蒸気系
MSIV	Main Steam Isolation Valve	主蒸気隔離弁
MTC	Moderator Temperature Coefficient	減速材温度反応度係数
NFB	No Fuse Breaker	ノーヒューズブレーカー
PC	Power Center	パワーセンタ
PCS	Power Conversion System	主蒸気・復水・給水系
PCT	Peak Clad Temperature	燃料被覆管最高温度
PCV	Primary Containment Vessel	原子炉格納容器
PCVS	Primary Containment Venting System	格納容器ベント
PLR	Primary Loop Recirculation	冷却材再循環系
PSA	Probabilistic Safety Assessment	確率論的安全評価
RAW	Risk Achievement Worth	リスク増加価値 (重要度を表す指標)
RB	Reactor Building	原子炉建屋
RC	Reinforced Concrete	鉄筋コンクリート
RCCW	Reactor Components Cooling Water System	原子炉機器冷却水系
RCIC	Reactor Core Isolation Cooling System	原子炉隔離時冷却系
RCWS	Reactor Components Cooling Seawater System	原子炉機器冷却海水系
RHR	Residual Heat Removal System	残留熱除去系
RPS	Reactor Protection System	原子炉保護系
RPT	Recirculation Pump Trip	再循環ポンプトリップ
RPV	Reactor Pressure Vessel	原子炉圧力容器
RV	Relief Valve	逃がし弁
RPV	Reactor Pressure Vessel	原子炉圧力容器

SDCS	Shutdown Cooling System	原子炉停止時冷却系
SDV	Scram Discharge Volume	スクラム排出容器
SGTS	Standby Gas Treatment System	非常用ガス処理系
SLCS	Standby Liquid Control System	ほう酸注入系
SP	Suppression Pool	サプレッションプール
SPCS	Suppression Pool Cooling System	圧力抑制室プール水冷却系
SRV	Safety Relief Valve	逃がし安全弁
SV	Safety Valve	安全弁
TB	Turbine Building	タービン建屋

1. 序論

原子力安全基盤機構（以下、「当機構」という。）では、決定論的安全評価手法を補完する手段として、外的事象のうちでも特に重要な地震事象を取り上げ、プラントの耐震安全性レベルを把握するために、地震に係る確率論的安全評価（以下、「地震 PSA」という。）手法の整備を実施している。

この一環として平成 12 年度より、BWR4 及び BWR5 型プラントを対象として地震 PSA 解析モデルを作成しデータを整備しつつ、事故シーケンスの試解析を実施してきた。また、平成 17 年度及び平成 18 年度には、それまで整備してきた BWR4 及び BWR5 型プラントの解析モデルに加えて ABWR 型プラント及び BWR3 型プラントの出力運転時を対象にした地震 PSA 解析モデルを整備した。

平成 18 年 9 月には、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針⁽²⁾（以下、「耐震設計審査指針」という。）が改訂され、残余のリスク評価の必要性が記載されている。これを受けて原子力安全・保安院は、電気事業者に対して、改定後の耐震設計審査指針に基づく既設炉の耐震性のバックチェックの終了後に、将来の確率論的安全評価の安全規制への導入の検討に役立つ情報として残余のリスク評価を実施し、その結果を報告するように指示している。電気事業者が行った残余のリスクの評価結果の妥当性を確認するためには、地震 PSA モデルの整備、試解析による主要シーケンスの摘出、解析条件が炉心損傷頻度に及ぼす影響の把握等が必要である。

また、改定後の耐震設計審査指針では地震随伴事象である津波の影響が考慮すべき事項として指摘されている。このため、津波に対する安全性の評価に役立つ情報として確率論的な評価を実施するために津波 PSA のモデルの構築が必要である。

今年度は、これまで整備してきた BWR4 及び BWR5 型プラントの地震 PSA モデルの更なる精度向上を図ることを目的に、過渡事象時に内的要因（ランダムな機器故障及び人的過誤）のみによって炉心損傷に至る事故シーケンスを削除した場合の炉心損傷頻度への影響、対象とする地震動の範囲を高地震動側に拡張した場合の炉心損傷頻度への影響及びランダム故障率データとして国内機器故障率データを使用した場合の炉心損傷頻度に及ぼす影響の 3 項目に対して感度解析を実施するとともに、平成 20 年度に作成した津波 PSA の簡略的なモデルを改良し、改良したモデルを用いて津波時の炉心損傷頻度の試解析を実施した。

以下、2 章に地震 PSA に関する感度解析、3 章に津波 PSA の試解析について記載し、4 章に結論を示す。

2. 地震 PSA に関する感度解析

これまで実施してきた BWR4 及び BWR5 プラントを想定したレベル 1 地震 PSA の試解析の結果に基づいて、更なる精度向上のために以下の感度解析を行い、解析条件が炉心損傷頻度に与える影響を確認した。

- (1) 内的要因
- (2) 対象とする地震動の範囲
- (3) 国内機器故障率データ

以下に、各感度解析の内容及び結果を説明する。

2.1 内的要因

これまでの BWR プラントを対象としたレベル 1 地震 PSA の試解析では、地震動高による原子炉スクラム後、地震損傷による起因事象の発生がない事象を過渡事象として扱っている。地震動が相対的に低いサイトを想定したレベル 1 地震 PSA の試解析では、過渡事象発生後、内的要因（ランダムな機器故障事象及び人的過誤事象、以下、「内的要因」という。）のみによる緩和機能喪失により炉心損傷に至るシナリオが低加速度領域において炉心損傷頻度に大きく寄与する結果が得られている。

本感度解析では、これらのシナリオを地震 PSA の対象から除いた場合の炉心損傷頻度に与える影響を評価する。

2.1.1 解析手順と解析条件

(1) 解析手順

過渡事象発生後に内的要因のみによる緩和機能喪失によって炉心損傷に至るシナリオを取り除いた炉心損傷頻度を算出するためには、当該シナリオの地震動レベルごとの炉心損傷頻度への寄与割合を求める必要がある。当該シナリオの地震動レベルごとの炉心損傷頻度への寄与割合は、地震 PSA コードの寄与因子の分析機能を用いることによって可能である。なお、地震 PSA コードにおける寄与因子分析機能とは、地震動レベルごとの炉心損傷頻度に対する各要因（内的要因のみ、内的要因＋地震損傷、地震損傷のみ）の寄与割合を算出する機能のことである。

本感度解析では、過渡事象のみを評価対象起因事象として、起因事象発生確率を 1.0 とした解

析を実施し、寄与因子の分析結果から地震動レベルごとの過渡事象発生後の内的要因のみによる炉心損傷頻度を算出して、寄与割合を求め、全起因事象を評価対象とした場合の過渡事象の炉心損傷頻度からその寄与割合分の炉心損傷頻度を差し引くことにより、過渡事象発生後に内的要因のみによる緩和機能喪失によって炉心損傷に至るシナリオを取り除いた炉心損傷頻度を算出した。

(2) 解析条件

解析は、平成 17 年度に構築した BWR4 及び BWR5 の各プラントの解析モデル⁽¹⁾を用いて実施した。以下に、各プラントの解析条件を示す。

① BWR4 型プラント

- ・評価対象地震動レベル

300、450、600、750、900、1100 及び 1300gal の 7 地震動レベル

- ・ランダム故障率、耐力及び機器応答データ

平成 17 年度に用いた各データ

- ・地震ハザードデータ

平成 17 年度のサイト A (高地震動サイト) の地震ハザードデータを使用する。ここで、300gal における年超過地震動発生頻度を 1 として規格化して用いた。したがって、これ以降に示す炉心損傷頻度 (相対値) は相対的な数値を示すものである。

- ・ミニマルカットセット

平成 17 年度に生成したミニマルカットセット (450 及び 900gal の 2 地震動レベルでミニマルカットセットを生成し、地震 PSA コードの機能を用いてマージ処理)

② BWR5 型プラント

- ・評価対象地震動レベル

300、450、600、750、900、1100 及び 1300gal の 7 地震動レベル

- ・ランダム故障率、耐力及び機器応答データ

平成 17 年度に用いた各データ

- ・地震ハザードデータ

平成 17 年度のサイト B (低地震動サイト) の地震ハザードデータを使用する。ここで、BWR4 の説明同様に、300gal において年超過地震動発生頻度を 1 として規格化して用いた。

- ・ミニマルカットセット

平成 17 年度に生成したミニマルカットセット (450 及び 1300gal の 2 地震動レベルでミニマルカットセットを生成し、地震 PSA コードの機能を用いてマージ処理)

2.1.2 BWR4 型プラントの解析結果

(1) 全炉心損傷頻度に対する内的要因の寄与割合

平成 17 年度の解析結果⁽¹⁾に基づき、BWR4 型プラント (サイト A) の内的要因の炉心損傷頻度 (相対値) に対する寄与を分析した。

表 2.1 に、BWR4 型プラントの地震動レベルごとの各要因 (内的要因のみ、内的要因と地震損傷の組合せ及び地震損傷のみ) の寄与割合を示す。

(2) 過渡事象時の内的要因のみを取り除いた場合の解析結果

表 2.2 に、BWR4 型プラントの過渡事象のみを対象とした場合の寄与因子の解析結果を示す。過渡事象時に内的要因のみで炉心損傷に至るものの炉心損傷頻度 (相対値) に対する寄与割合は、300gal で約 91%、450gal で約 45% と寄与が大きいが、地震動レベルが大きくなるとともに低下し、600gal では約 5.5% となり、750gal 以上では 1% 未満となった。

表 2.3 に、上記の結果に基づいて全起因事象を対象とした解析結果から過渡事象における内的要因の寄与を削除した場合の起因事象別の炉心損傷頻度 (相対値) を示す。

BWR4 型プラントの過渡事象に起因する炉心損傷頻度から内的要因の寄与を取り除いた場合の炉心損傷頻度 (相対値) は 2.5×10^{-2} /炉年となり、ベースケース (2.6×10^{-2} /炉年) の約 0.97 倍である。

図 2.1~図 2.4 に、炉心損傷頻度 (相対値) に対する起因事象別の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) を示す。また、図 2.5 及び図 2.6 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値) を示す。

過渡事象に起因する炉心損傷頻度から内的要因の寄与を取り除いた場合の炉心損傷頻度（相対値）への起因事象別の寄与をベースケースと比較した場合には、過渡事象の寄与が約 10.4%から約 7.9%へ減少し、他の起因事象の寄与は 1%程度ずつ大きくなる。地震動レベルごとに見た場合には、低地震動領域（300～600gal 付近）の過渡事象の寄与が小さくなり、ベースケースで見られる 300gal～400gal の範囲での炉心損傷頻度（相対値）の減少傾向がなくなる。

地震 PSA コードにおける寄与因子分析は、地震動レベルごとの炉心損傷頻度（相対値）に対する各要因の寄与割合を算出する機能はあるが、個々の事故シーケンスにおける各因子の寄与割合を算出できるようになっていないため、本感度解析では過渡事象から内的要因の寄与を取り除いた場合の主要な事故シーケンスの分析は実施していない（以下、各感度解析ケースも同様である）。

表 2.4 及び表 2.5 に、ベースケース及び過渡事象から内的要因を取り除いた場合の機器カテゴリーごとの FV 重要度及び RAW（リスク増加価値）の上位カテゴリーの一覧を示す。なお、過渡事象から内的要因を取り除いた場合のケースの FV 重要度及び RAW の算出手順は、付録に示す手順に基づいている。

過渡事象から内的要因を取り除いた場合の FV 重要度及び RAW の上位の機器カテゴリーは、どちらの重要度指標においても順位は変わらないが、値が若干大きくなる。これは、FV 重要度については付録の式(1)～(3)、RW については付録の式(7)、(8)から過渡事象の内的要因を削除すると相対的に分母より分子が大きくなるため FV 重要度、RAW とも大きくなることによる。

2.1.3 BWR5 型プラントの解析結果

(1) 全炉心損傷頻度に対する内的要因の寄与割合

平成 17 年度の解析結果⁽¹⁾に基づき、BWR5 型プラント（サイト B）の内的要因の炉心損傷頻度（相対値）に対する寄与を分析した。

表 2.6 に、BWR5 型プラントの地震動レベルごとの各要因の寄与割合を示す。

(2) 過渡事象時の内的要因のみを取り除いた場合の解析結果

表 2.7 に、BWR5 型プラントの過渡事象のみを対象とした場合の寄与因子の解析結果を示す。炉心損傷頻度（相対値）に対する過渡事象の内的要因の寄与割合は、300gal～600gal まではほぼ 100%であり、750gal で約 80.4%と寄与が大きいですが、これ以上の地震動レベルでは急速に低下し 900gal で約 6.5%、1100gal 及び 1300gal では 1%未満となった。

表 2.8 に、上記の結果に基づいて全起因事象を対象とした解析結果から過渡事象に起因する炉

心損傷頻度から内的要因の寄与を削除した場合の起因事象別の炉心損傷頻度（相対値）を示す。

BWR5 型プラントの過渡事象から内的要因を取り除いた場合の炉心損傷頻度（相対値）は 1.6×10^{-4} /炉年となり、ベースケース（ 2.8×10^{-4} /炉年）の約 0.6 倍である。

図 2.7～図 2.10 に、炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象別の寄与割合及び単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.11 及び図 2.12 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

過渡事象に起因する炉心損傷頻度から内的要因の寄与を取り除いた場合の炉心損傷頻度（相対値）への起因事象別の寄与をベースケースと比較した場合には、過渡事象の寄与が約 50% から約 12.4% へ大幅に低下し、外部電源喪失の寄与が約 44.5% から 77.7% へ大幅に増加する。また、原子炉建屋（R/B）、原子炉格納容器（PCV）、原子炉圧力容器（RPV）破損の寄与が約 5.6% から約 9.8% へ増加する。LOCA の寄与はいずれのケースでも 1% 未満である。地震動レベルごとに見た場合には、炉心損傷頻度（相対値）に対する過渡事象の寄与が大きい 300gal～750gal の領域で過渡事象の寄与がほぼなくなることが分かる。

表 2.9 及び表 2.10 に、ベースケース及び過渡事象から内的要因を取り除いた場合の機器カテゴリごとの FV 重要度及び RAW の上位カテゴリの一覧を示す。

過渡事象に起因する炉心損傷頻度から内的要因の寄与を取り除いた場合の FV 重要度及び RAW の上位の機器カテゴリは、どちらの重要度指標においても順位は変わらないが、値が大きくなる。これは、2.1.2 項に示した BWR4 型プラントと同様の理由によるが、BWR4 型プラントより炉心損傷頻度における過渡事象に起因する内的要因の寄与が大きいため、FV 重要度及び RAW とも増加割合が大きくなっている。

2.2 対象とする地震動の範囲

これまでの BWR プラントを対象としたレベル 1 地震 PSA の試解析では、地震動が相対的に低いサイトを想定したプラントの損傷確率が評価対象範囲の地震加速度の最大値 1300gal においても 1.0 近くに達しない状態となっている（図 2.27 参照）。

このため、評価対象の地震動レベルの範囲を 1300gal を超えた高地震動領域に拡張した感度解析を実施した。解析に必要な機器応答値は 1300gal を超えるたある値以上で線形からはずれる可能性もあるが、ここでは線形と仮定して外挿し設定した。また、感度解析の対象とした地震動レベルの上限値は、1500gal 及び 2000gal の 2 ケースとした。

さらに、地震動レベルの上限値を変更した各ケースについて、耐震設計審査指針改訂を受けて

新基準地震動 S_s の値を想定した残余のリスクの試解析を実施した。

ベースとする解析は、従来の解析ケース（過渡事象時の内的要因のみによるシナリオも含む）及び 2.1 節で評価した過渡事象時から内的要因を削除した解析ケースの 2 ケースとした。2.2.1 項以降では、従来の解析ケースを「ベースケース」、過渡事象時から内的要因を削除したケースを「内的要因削除ケース」として、解析条件及び解析結果を説明する。

2.2.1 解析条件

(1) 評価対象地震動レベル

評価対象地震動レベルを高地震動領域へ拡張した解析では、以下の地震動レベルを評価対象とした。

① 上限 1500gal のケース

- ・ 300、450、600、750、900、1100、1300 及び 1500gal の 8 地震動レベル
(1500gal を追加)

② 上限 2000gal のケース

- ・ 300、450、600、750、900、1100、1300、1500、1700、1900 及び 2000 の 11 地震動レベル
(1500、1700、1900、2000gal を追加)

(2) 地震ハザードデータ

2.1.1(2)に記載した地震ハザードデータには 1500gal までのデータが存在する。1500gal よりも大きい領域の地震ハザードデータは MS-Excel 上で 1450gal 及び 1500gal のデータから対数補間によって設定し、地震 PSA コードへの入力データとした。

図 2.13 に、サイト A (BWR4 用) とサイト B (BWR5 用) の地震ハザード曲線を示す。

(3) その他の解析条件

評価対象地震動レベル以外の解析条件（ランダム故障率、耐力及びミニマルカットセット等）は、2.1 節で実施した過渡事象から内的要因を取り除いた感度解析と同様とした。

また、機器応答については、拡張した各地震動レベルに対して、1300gal のデータを直線外挿した値を用いた。

2.2.2 BWR4 型プラントの解析結果

(1) ベースケース

図 2.14 に、評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合の BWR4 型プラントのプラント損傷確率曲線（条件付炉心損傷確率曲線）を示す。BWR4 型プラントのプラント損傷確率は約 1100gal 以上の地震動レベルで 1.0 となる。

以下に、BWR4 型プラント（サイト A）のベースケースの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

BWR4 型プラント（サイト A）の炉心損傷頻度（相対値）（ベースケース）

解析ケース	炉心損傷頻度（/炉年） （相対値）	1300galまでの ケースとの比
1300galまでのケース	2.6×10^{-2}	-----
1500galまで拡張ケース	2.7×10^{-2}	1.1
2000galまで拡張ケース	2.9×10^{-2}	1.1

評価対象地震動レベルを高地震動領域へ拡張した場合の BWR4 型プラントの炉心損傷頻度（相対値）は、1500gal まで拡張した場合には 2.7×10^{-2} /炉年となり、1300gal までの場合の約 1.1 倍、2000gal まで拡張した場合には 2.9×10^{-2} /炉年となり、1300gal までの場合の約 1.1 倍となった。

図 2.15 及び図 2.16 に、評価対象地震動レベルを 1500gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.17 に、内的要因及び地震損傷要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

図 2.18 及び図 2.19 に、評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.20 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

評価対象地震動レベルを高地震動領域まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）への影響を起因事象別の寄与で見た場合には、「LOCA」及び「建屋、PCV、RPV 破損」の寄与が高地震動側へ評価対象地震動レベルを拡張するとともに増加していくのに対して、「外部電源喪失」及び「過渡事象」の寄与は低下していく。また、地震動レベルごとに見た場合には、図 2.19 から約 1700gal 以上の領域では、「LOCA」の寄与も非常に小さくなり、炉心損傷頻度（相対値）のほとんどが「建

屋、PCV、RPV 破損」で占められていることが分かる。

表 2.11 に、各ケースのドミナントシーケンスの比較表を示す。また、表 2.12 に、表 2.11 に示した BWR4 型プラントのシーケンス構成の記号の一覧を示す。

評価対象地震動レベルを高地震動領域まで拡張した場合のドミナントシーケンスは、1300gal までの場合とほぼ同様の構成であるが、「建屋、PCV、RPV 破損」に係るシーケンス（C001、B001 及び V001）や LOCA シーケンスの順位が高くなっている。

(2) 過渡事象から内的要因のみを削除したケース

以下に、BWR4 型プラント（サイト A）の過渡事象から内的要因のみを削除したケースの炉心損傷頻度（相対値）を示す

BWR4 型プラント（サイト A）の炉心損傷頻度（相対値）（内的要因削除ケース）

解析ケース	炉心損傷頻度（/炉年） （相対値）	1300galまでの ケースとの比
1300galまでのケース	2.5×10^{-2}	-----
1500galまで拡張ケース	2.7×10^{-2}	1.1
2000galまで拡張ケース	2.8×10^{-2}	1.1

評価対象地震動レベルを高地震動領域へ拡張した場合の BWR4 型プラントの炉心損傷頻度（相対値）は、1500gal まで拡張した場合には 2.7×10^{-2} /炉年となり 1300gal までの場合の約 1.1 倍、2000gal まで拡張した場合には 2.8×10^{-2} /炉年となり 1300gal までの場合の約 1.1 倍となった。1300gal までのケースに対する炉心損傷頻度（相対値）の変化は、(1)に示したベースケースと同様である。

図 2.21 及び図 2.22 に、過渡事象から内的要因のみを削除したケースについて、評価対象地震動レベルを 1500gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.23 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

図 2.24 及び図 2.25 に、過渡事象から内的要因のみを削除したケースの評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの起因事象別の炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.26 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

評価対象地震動レベルを高地震動領域まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）への影響を起因事象別の寄与で見た場合も(1)に示したベースケースと同様の傾向であり、「LOCA」及び「建屋、PCV、RPV 破損」の寄与が高地震動側へ評価対象地震動レベルを拡張するとともに増加していくのに対して、「外部電源喪失」及び「過渡事象」の寄与は低下していく。また、地震動レベルごとに見た場合には、図 2.25 から約 1700gal 以上の領域では、「LOCA」の寄与も非常に小さくなり、炉心損傷頻度（相対値）のほとんどが「建屋、PCV、RPV 破損」で占められていることが分かる。

表 2.13～表 2.16 に、各ケースの機器カテゴリごとの FV 重要度及び RAW の上位カテゴリの一覧を(1)に示したケースと合わせて示す。

評価対象地震動レベルを高地震動領域まで拡張した場合の FV 重要度及び RAW は、ベースケース及び内的要因削除ケースともに、表 2.4 及び表 2.5 に示した評価対象地震動レベルが 1300gal までのケースと順位は同じであり、値もほとんど変わらない。これは、BWR4 型プラントの場合、炉心損傷頻度に占める内的要因の寄与が小さく、過渡事象に起因する炉心損傷頻度（相対値）から内的要因を取り除いても炉心損傷頻度（相対値）に対する影響が少ないことによる。

(3) 残余のリスクの試解析

平成 18 年 9 月に改訂された耐震設計審査指針⁽²⁾では、残余のリスクとして、「策定された地震動を上回る地震動の影響が施設に及ぶことにより、施設に重大な損傷事象が発生すること、施設から大量の放射性物質が放散される事象が発生すること、あるいはそれらの結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすことのリスク」と定義している。

この定義を受けて、(2)までに説明した各ケースに対して、新基準地震動 Ss の値を想定しそれを超える地震動に対するリスク（残余のリスク）の試解析を実施した。BWR4 型プラントの Ss は 700gal 及び 1000gal の 2 レベルを想定し、各レベル以上の炉心損傷頻度（相対値）を残余のリスクとした。なお、基準地震動 Ss は地盤特性等を考慮し適切に設定され、それに対応したプラントの耐震向上策が実施されるものである。

表 2.17 に、BWR4 型プラントの残余のリスクの試解析の結果を示す。

表 2.17 に示した BWR4 型プラントの残余のリスクの試解析の結果は、想定条件の下での試算であるが、基準地震動を 700gal とした場合と 1000gal とした場合では残余のリスクに約 40%の差がある。また、過渡事象時の内的要因の有無は、残余のリスクにはあまり影響しないという結果を得た。

2.2.3 BWR5 型プラントの解析結果

(1) ベースケース

図 2.27 に、評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合の BWR5 型プラントのプラント損傷確率曲線（条件付炉心損傷確率曲線）を示す。BWR5 型プラントのプラント損傷確率は約 1900gal 付近の地震動レベルで 1.0 となる。

以下に、BWR5 型プラント（サイト B）のベースケースの炉心損傷頻度（相対値）を示す

BWR5 型プラント（サイト B）の炉心損傷頻度（相対値）

解析ケース	炉心損傷頻度（/炉年） （相対値）	1300galまでの ケースとの比
1300galまでのケース	2.8×10^{-4}	-----
1500galまで拡張ケース	3.3×10^{-4}	1.2
2000galまで拡張ケース	4.1×10^{-4}	1.5

評価対象地震動レベルを高地震動領域へ拡張した場合の BWR5 型プラントの炉心損傷頻度（相対値）は、1500gal まで拡張した場合には 3.3×10^{-4} /炉年となり 1300gal までの場合の約 1.2 倍、2000gal まで拡張した場合には 4.1×10^{-4} /炉年となり 1300gal までの場合の約 1.5 倍となった。

図 2.28 及び図 2.29 に、評価対象地震動レベルを 1500gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.30 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

図 2.31 及び図 2.32 に、評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.33 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。図 2.32、図 2.33 からわかるように、2000gal 付近で炉心損傷頻度（相対値）の増加は極めて小さくなっている。

評価対象地震動レベルを高地震動領域まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）への影響を起因事象別の寄与で見た場合には、「外部電源喪失」及び「建屋、PCV、RPV 破損」の寄与が高地震動側へ評価対象地震動レベルを拡張するとともに増加していくのに対して、「過渡事象」の寄与は低下していく。「LOCA」の寄与は評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合でも 1%

未満である。また、地震動レベルごとに見た場合には、図 2.32 から約 1700gal 以上の領域では、「過渡事象」の寄与が非常に小さくなり、炉心損傷頻度（相対値）のほとんどが「外部電源喪失」及び「建屋、PCV、RPV 破損」で占められていることが分かる。

表 2.18 に、各ケースのドミナントシーケンスの比較表を示す。また、表 2.19 に、表 2.18 に示した BWR5 型プラントのシーケンス構成の記号の一覧を示す。

評価対象地震動レベルを高地震動領域まで拡張した場合のドミナントシーケンスは、1300gal までの場合とほぼ同様の構成である。

(2) 過渡事象から内的要因のみを削除したケース

BWR5 型プラント（サイト B）の過渡事象に起因する炉心損傷頻度から内的要因の寄与のみを削除したケースの炉心損傷頻度（相対値）を以下に示す。

BWR5 型プラント（サイト B）の炉心損傷頻度（相対値）（内的要因削除ケース）

解析ケース	炉心損傷頻度（/炉年） （相対値）	1300gal までの ケースとの比
1300gal までのケース	1.6×10^{-4}	-----
1500gal まで拡張ケース	2.1×10^{-4}	1.3
2000gal まで拡張ケース	2.9×10^{-4}	1.8

評価対象地震動レベルを高地震動領域へ拡張した場合の BWR5 型プラントの炉心損傷頻度（相対値）は、1500gal まで拡張した場合には 2.1×10^{-4} /炉年となり 1300gal までの場合の約 1.3 倍、2000gal まで拡張した場合には 2.9×10^{-4} /炉年となり 1300gal までの場合の約 1.8 倍となった。1300gal までのケースに対する炉心損傷頻度の変化は、(1)に示したベースケースよりも大きい。

図 2.34 及び図 2.35 に、評価対象地震動レベルを 1500gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.36 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

図 2.37 及び図 2.38 に、評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象の寄与割合及び地震動レベルごとの単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.39 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

炉心損傷頻度（相対値）への影響を起因事象別の寄与で見た場合には、(1)に示したベースケー

スと同様に「外部電源喪失」及び「建屋、PCV、RPV 破損」の寄与が高地震動側へ評価対象地震動レベルを拡張するとともに増加していくのに対して、「過渡事象」の寄与は低下していく。

「LOCA」の寄与は評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合には約 1%程度となる。また、地震動レベルごとに見た場合には、図 2.39 から約 1700gal 以上の領域では、「過渡事象」の寄与が非常に小さくなり、炉心損傷頻度（相対値）のほとんどが「外部電源喪失」及び「建屋、PCV、RPV 破損」で占められていることが分かる。

表 2.20～表 2.23 に、各ケースの機器カテゴリーごとの FV 重要度及び RAW の上位カテゴリーの一覧を(1)に示したケースと合わせて示す。

評価対象地震動レベルを高地震動領域まで拡張した場合の FV 重要度及び RAW は、ベースケース及び内的要因削除ケースとともに、表 2.9 及び表 2.10 に示した評価対象地震動レベルが 1300gal までのケースと機器カテゴリーの構成は同様であるが順位は若干異なっている。また、内的要因を削除したためベースケースに対して内的要因削除ケースの重要度指標の値は若干大きくなっている。

(3) 残余のリスクの試解析

2.2.2 項で説明した BWR4 型プラントと同様に、(2)までに説明した各ケースに対して、残余のリスクの試解析を実施した。BWR5 型プラントの新基準地震動 S_s は、BWR4 型プラントと同様に 700gal 及び 1000gal の 2 レベルを想定し、各レベル以上の炉心損傷頻度（相対値）を残余のリスクとした。なお、基準地震動 S_s は地盤特性等を考慮し適切に設定され、それに対応したプラントの耐震向上策が実施されるものである。

表 2.24 に、BWR5 型プラントの残余のリスクの試解析の結果を示す。試解析の結果は、表 2.17 に示した BWR4 型プラントの結果とは異なる傾向を示しており、基準地震動を 700gal とした場合と 1000gal とした場合の差は約 10%程度であった。また、残余のリスクに対する過渡事象時の内的要因の有無は、BWR4 型プラントではあまり影響がなかったが、BWR5 型プラントでは影響が大きいという結果を得た。

2.3 国内機器故障率

これまでの当機構の地震 PSA における機器のランダム故障率には、当機構の内的事象 PSA で使用しているものと同様の米国故障率を使用している⁽³⁾。一般に、国内機器のランダム故障率は米国故障率より小さいため国内故障率を使えば、炉心損傷頻度（相対値）に対する内的要因の寄

与は小さくなることが予想される。この効果を見るため、米国故障率に替えて最新の国内故障率（2009年5月の原子力技術協会データ）⁽⁴⁾を使用した感度解析を実施した。

2.3.1 ランダム故障率の設定

BWR4型プラント及びBWR5型プラントのそれぞれのランダム故障データに対して、これまでの米国故障率に替えて、最新の国内故障率を適用した。

以下に、故障率設定のための仮定を示す。

- ・米国故障率と国内故障率で、機器及び故障モードが同一の場合は、故障率を置き換えることで設定する。
- ・一つの機器及び故障モードに対してデマンド故障率と時間故障率が並存する場合には、内的事象PSA⁽³⁾と同様に α モデルを用いてデマンド故障率に α 、時間故障率に $(1-\alpha)$ の重みをかけて故障率を設定する。合成した故障確率のエラーファクターには、時間故障率のエラーファクターを適用する。
- ・電動ポンプ、電動弁等の制御回路故障としては、内的事象PSAと同様に遮断器の機能喪失を仮定する。
- ・コントロールセンター及びパワーセンターの機能喪失に対しては、米国故障率と同様に母線の機能喪失の故障率を適用する。

表 2.25 に、米国故障率及び国内故障率を適用した BWR プラントの地震 PSA で用いるランダム故障率の一覧を示す。

2.3.2 解析ケースと解析条件

以下に、国内故障率を用いた解析の条件及び解析ケースの内容を説明する。

(1) 解析条件

国内故障率の解析の条件は、2.1 節及び 2.2 節に示した内的要因の解析及び高地震動領域の解析と同様の条件で実施した。すなわち、ベースケースに対し米国故障率に替えて国内故障率を適用した以外の条件（地震動レベル、ミニマルカットセット等）は、2.2 節までの解析の条件と同様である。

(2) 解析ケース

国内故障率を用いた解析のケースは、BWR4 型プラント及び BWR5 型プラントのそれぞれに対して、ベースケースと同様の地震動レベルの領域（300～1300gal）及び高地震動領域まで拡張したケース（300～1500gal 及び 300～2000gal）を実施した。

2.3.3 BWR4 型プラントの解析結果

以下に、BWR4 型プラント（サイト A）に対して米国故障率を国内故障率に替えた場合の炉心損傷頻度（相対値）の変化を示す。

BWR4 型プラント（サイト A）の炉心損傷頻度（相対値）

解析ケース	炉心損傷頻度 (/炉年) (相対値) (米国故障率)	炉心損傷頻度 (/炉年) (相対値) (国内故障率)	比率 (国内/米国)
1300galまでのケース	2.6×10^{-2}	2.3×10^{-2}	0.9
1500galまで拡張ケース	2.7×10^{-2}	2.4×10^{-2}	0.9
2000galまで拡張ケース	2.9×10^{-2}	2.6×10^{-2}	0.9

ランダム故障率に国内故障率を用いた場合のベースケースの BWR4 型プラントの炉心損傷頻度（相対値）は、いずれのケースにおいても米国故障率を用いた場合に対して約 0.9 倍となった。

図 2.40 及び図 2.41 に、評価対象地震動領域を 1300gal までとしたケースの炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象別の寄与割合及び地震動レベルごとの起因事象別の炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.42 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

図 2.43 及び図 2.44 に、評価対象地震動領域を 1500gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象別の寄与割合及び地震動レベルごとの起因事象別の炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.45 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

図 2.46 及び図 2.47 に、評価対象地震動領域を 2000gal まで拡張した場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象別の寄与割合及び地震動レベルごとの起因事象別の炉心損傷頻度（相対値）を示す。また、図 2.48 に、要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）を示す。

国内故障率を用いた場合の炉心損傷頻度（相対値）に対する起因事象別の寄与で見た場合には、

評価対象地震動レベルを 1300gal までとしたケース、1500gal まで拡張したケース及び 2000gal まで拡張したケースのいずれのケースにおいても、「建屋、PCV、RPV 破損」及び「LOCA」の寄与割合は米国故障率を用いたケースに対して国内故障率を用いたケースの方が大きくなり、「外部電源喪失」及び「過渡事象」は国内故障率を用いたケースの方が小さくなる。また、地震動レベルごとに見た場合には、低地震動領域（300～600gal 付近）の「外部電源喪失」及び「過渡事象」の寄与が小さくなり、ベースケース（図 2.19 等を参照）で見られる 300gal～400gal の範囲での炉心損傷頻度（相対値）の減少傾向がなくなる。

表 2.26 に、各ケースのドミナントシーケンスの比較表を示す。国内故障率を用いた場合のドミナントシーケンスは、米国故障率を用いた場合とほぼ同様の構成である。

表 2.27～表 2.32 に、各ケースの機器カテゴリごとの FV 重要度及び RAW の上位カテゴリの一覧を示す。国内故障率を用いた場合の FV 重要度及び RAW は、いずれのケースについても米国故障率を用いた場合と順位はほぼ同じであるが、ランダム故障率が低下していることから米国故障率を用いた場合に対して重要度指標の値は若干大きくなっている。

2.3.4 BWR5 型プラントの解析結果

BWR5 型プラント（サイト B）の過渡事象時に内的要因を考慮したケースの炉心損傷頻度（相対値）を以下に示す。

BWR5 型プラント（サイト B）の炉心損傷頻度（相対値）

解析ケース	炉心損傷頻度(/炉年) (相対値) (米国故障率)	炉心損傷頻度(/炉年) (相対値) (国内故障率)	比率 (国内/米国)
1300galまでのケース	2.8×10^{-4}	8.6×10^{-5}	0.3
1500galまで拡張ケース	3.3×10^{-4}	1.4×10^{-4}	0.4
2000galまで拡張ケース	4.1×10^{-4}	2.1×10^{-4}	0.5

ランダム故障率に国内故障率を用いた場合の BWR5 型プラントの炉心損傷頻度（相対値）は、米国故障率を用いた場合に対して、評価対象地震動レベルを 1300gal までとした場合には約 0.3 倍、1500gal とした場合には約 0.4 倍、2000gal までとした場合には約 0.5 倍となり、評価対象地震動レベルが高地震動領域まで拡張するとともに、炉心損傷頻度（相対値）の低減割合が小さくなるという結果を得た。

各評価対象地震動領域における炉心損傷頻度の起因事別象別の寄与割合、地震動レベルごとの単位加速度あたりの起因事象別及び要因別の炉心損傷頻度（相対値）を以下の図に示す。

炉心損傷頻度の起因事象別及び要因別の寄与

解析ケース	炉心損傷頻度の起因事別象別の寄与割合	地震動レベルごとの起因事象別の炉心損傷頻度 ^(*)	地震動レベルごとの要因別の炉心損傷頻度 ^(*)
1300galまでのケース	図 2.49	図 2.50	図2.51
1500galまで拡張ケース	図 2.52	図 2.53	図2.54
2000galまで拡張ケース	図 2.55	図 2.56	図2.57

(*) 単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (/炉年) (相対値)

国内故障率を用いた場合の炉心損傷頻度(相対値)に対する起因事象別の寄与で見た場合には、評価対象地震動レベルを 1300gal までとしたケース、1500gal まで拡張したケース及び 2000gal まで拡張したケースのいずれのケースにおいても、「建屋、PCV、RPV 破損」及び「外部電源喪失」の寄与割合は米国故障率を用いたケースに対して国内故障率を用いたケースの方が大きくなり、「過渡事象」は国内故障率を用いたケースの方が小さくなる。「LOCA」の寄与割合は評価対象地震動レベルを 2000gal まで拡張した場合に約 1%となり、米国故障率を用いた場合よりも増加した。

地震動レベルごとに見た場合には、いずれのケースでも 800gal 付近までの領域の炉心損傷頻度(相対値)への寄与が非常に小さくなり、米国故障率を用いたケースで見られた低地震動領域における炉心損傷頻度(相対値)への大幅な寄与がほぼなくなっている。

さらに、表 2.33 に、各ケースのドミナントシーケンスの比較表を示す。

国内故障率を用いた場合のドミナントシーケンスは、米国故障率を用いた場合とほぼ同様の構成であるが、米国故障率を用いた場合に対して過渡事象を起因事象とするシーケンスの順位が下がっている。

表 2.34～表 2.39 に、各ケースの機器カテゴリーごとの FV 重要度及び RAW の上位カテゴリーの一覧を示す。

国内故障率を用いた場合の FV 重要度及び RAW は、いずれのケースについても米国故障率を用いた場合とほぼ順位は同じであるが、ランダム故障率が低下していることから米国故障率を用いた場合に対して重要度指標の値は若干大きくなっている。

表 2.1 BWR4 型プラント (サイト A) の地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合

項目	要因	地震動レベル (gal)						
		300	450	600	750	900	1100	1300
炉心損傷頻度に対する寄与割合	内的要因のみ	90.4%	51.9%	15.4%	5.2%	4.4%	8.3%	17.5%
	内的要因と地震損傷の組合せ	6.6%	17.1%	26.4%	22.2%	16.0%	8.4%	6.2%
	地震損傷のみ	3.0%	31.1%	58.3%	72.6%	79.6%	83.3%	76.3%

表 2.2 BWR4 型プラント (サイト A) の過渡事象の地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合

項目	要因	地震動レベル (gal)						
		300	450	600	750	900	1100	1300
炉心損傷頻度に対する寄与割合	内的要因のみ	91.0%	45.3%	5.5%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%
	内的要因と地震損傷の組合せ	8.8%	43.0%	41.6%	25.8%	19.4%	14.9%	15.6%
	地震損傷のみ	0.2%	11.8%	53.0%	73.6%	80.4%	85.1%	84.3%

表 2.3 BWR4 型プラント（サイト A）の起因事象別炉心損傷頻度（相対値）（ベースケースと過渡事象の内的要因を削除したケース）

解析ケース	起因事象	地震動レベル (gal) (*)								CDF (*)
		300	450	600	750	900	1100	1300		
ベースケース	原子炉建屋損傷	0.0E+00	2.1E-14	4.2E-09	3.3E-07	5.5E-07	9.0E-07	1.2E-06	4.5E-04	
	格納容器破損	9.5E-11	7.4E-09	1.5E-07	5.1E-07	6.3E-07	1.1E-06	1.3E-06	5.5E-04	
	圧力容器損傷	1.4E-11	1.1E-09	1.0E-08	9.1E-08	3.1E-07	1.1E-06	1.1E-06	4.1E-04	
	ISLOCA	6.7E-14	9.1E-12	1.7E-10	2.2E-09	1.2E-08	4.7E-07	1.1E-06	1.9E-04	
	大LOCA	9.2E-11	1.8E-09	1.8E-08	1.5E-07	4.8E-07	1.1E-06	1.1E-06	4.5E-04	
	中LOCA	3.5E-09	2.6E-08	1.6E-07	1.3E-06	3.2E-06	5.9E-06	4.1E-06	2.4E-03	
	小LOCA	3.0E-09	2.8E-08	2.5E-07	1.8E-06	4.6E-06	9.9E-06	4.7E-06	3.5E-03	
	外部電源喪失	3.2E-06	7.6E-06	1.3E-05	2.6E-05	2.8E-05	1.4E-05	1.9E-06	1.5E-02	
	過渡事象	8.6E-06	2.9E-06	3.3E-06	4.4E-06	2.5E-06	6.1E-07	3.4E-08	2.7E-03	
	CDF	1.2E-05	1.1E-05	1.7E-05	3.5E-05	4.0E-05	3.5E-05	1.6E-05	2.6E-02	
過渡事象から 内的要因を 削除したケース	原子炉建屋損傷	0.0E+00	2.1E-14	4.2E-09	3.3E-07	5.5E-07	9.0E-07	1.2E-06	4.5E-04	
	格納容器破損	9.5E-11	7.4E-09	1.5E-07	5.1E-07	6.3E-07	1.1E-06	1.3E-06	5.5E-04	
	圧力容器損傷	1.4E-11	1.1E-09	1.0E-08	9.1E-08	3.1E-07	1.1E-06	1.1E-06	4.1E-04	
	ISLOCA	6.7E-14	9.1E-12	1.7E-10	2.2E-09	1.2E-08	4.7E-07	1.1E-06	1.9E-04	
	大LOCA	9.2E-11	1.8E-09	1.8E-08	1.5E-07	4.8E-07	1.1E-06	1.1E-06	4.5E-04	
	中LOCA	3.5E-09	2.6E-08	1.6E-07	1.3E-06	3.2E-06	5.9E-06	4.1E-06	2.4E-03	
	小LOCA	3.0E-09	2.8E-08	2.5E-07	1.8E-06	4.6E-06	9.9E-06	4.7E-06	3.5E-03	
	外部電源喪失	3.2E-06	7.6E-06	1.3E-05	2.6E-05	2.8E-05	1.4E-05	1.9E-06	1.5E-02	
	過渡事象	7.8E-07	1.6E-06	3.1E-06	4.4E-06	2.5E-06	6.1E-07	3.4E-08	2.0E-03	
	CDF	4.0E-06	9.3E-06	1.7E-05	3.5E-05	4.0E-05	3.5E-05	1.6E-05	2.5E-02	

(*)表中の 300~1300gal の値は当該地震動レベルにおける単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）、右欄の CDF は評価対象地震動レベルの全範囲での積分値

表 2.4 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント)

順位	機器カテゴリー	FV重要度	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	地震による制御棒挿入不能	0.38	0.39
2	メタクラ	0.18	0.18
3	起動用変圧器	0.16	0.16
4	ファン	0.15	0.16
5	海水ポンプ取水ピット	0.11	0.11
6	ポンプ駆動用蒸気タービン	0.09	0.10
7	軽油タンク	0.09	0.10
8	大型平底縦形タンク	0.05	0.05
9	電動弁	0.03	0.03
10	パワーセンター	0.02	0.02

表 2.5 RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント)

順位	機器カテゴリー	RAW	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	原子炉圧力容器	40	41
2	空気作動弁	40	41
3	小型電動弁	40	41
4	メタクラ	40	41
5	論理回路制御盤	40	41
6	ファン	40	41
7	原子炉格納容器(D/W)	40	41
8	原子炉格納容器(S/P)	40	41
9	原子炉建屋	40	41
10	配管(CRD)	40	41
11	パワーセンター	40	41
12	配管(ELC)	40	41
13	制御棒	40	41
14	サージタンク	40	41
15	逆止弁	28	29
16	非常用ディーゼル発電機	16	16
17	海水ポンプ取水ピット	15	15
18	配管 (RHR)	13	13
19	主蒸気隔離弁	13	13
20	配管 (RCWS)	12	12

表 2.6 BWR5 型プラント (サイト B) の地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合

項目	要因	地震動レベル (gal)						
		300	450	600	750	900	1100	1300
炉心損傷頻度に対する寄与割合	内的要因のみ	100.0%	100.0%	99.4%	95.4%	40.3%	6.8%	0.7%
	内的要因と地震損傷の組合せ	0.0%	0.0%	0.6%	3.5%	7.1%	14.0%	22.1%
	地震損傷のみ	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	52.6%	79.3%	77.3%

表 2.7 BWR5 型プラント (サイト B) の過渡事象の地震動レベルごとの各要因の炉心損傷頻度に対する寄与割合

項目	要因	地震動レベル (gal)						
		300	450	600	750	900	1100	1300
炉心損傷頻度に対する寄与割合	内的要因のみ	100.0%	99.9%	98.5%	80.4%	6.5%	0.6%	0.1%
	内的要因と地震損傷の組合せ	0.0%	0.1%	1.5%	13.9%	6.6%	4.7%	5.3%
	地震損傷のみ	0.0%	0.0%	0.0%	5.7%	86.9%	94.6%	94.6%

表 2.8 BWR5 型プラント（サイト B）の起因事象別炉心損傷頻度（相対値）（ベースケースと過渡事象の内的要因を削除したケース）

解析ケース	起因事象	地震動レベル (gal) (*)								CDF (*)
		300	450	600	750	900	1100	1300		
ベースケース	原子炉建屋損傷	0.0E+00	0.0E+00	6.3E-18	1.1E-13	5.9E-11	1.2E-09	8.3E-09	9.1E-07	
	格納容器破損	4.2E-15	6.7E-12	1.7E-10	4.0E-09	1.7E-08	2.8E-08	5.2E-08	1.5E-05	
	圧力容器損傷	4.3E-14	2.0E-12	1.1E-11	3.0E-11	6.0E-11	1.6E-10	6.4E-10	1.1E-07	
	ISLOCA	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-20	2.1E-18	2.3E-16	6.9E-15	4.5E-13	
	大LOCA	1.8E-18	1.4E-16	3.2E-15	3.4E-14	3.2E-13	3.5E-12	4.2E-11	3.8E-09	
	中LOCA	0.0E+00	0.0E+00	1.4E-17	1.5E-15	5.4E-14	3.4E-12	1.6E-10	9.8E-09	
	小LOCA	0.0E+00	4.9E-18	9.1E-17	3.2E-15	8.9E-14	7.8E-12	2.8E-10	1.9E-08	
	外部電源喪失	6.9E-08	1.6E-07	1.4E-07	8.0E-08	6.7E-08	1.3E-07	2.3E-07	1.2E-04	
	過渡事象	1.5E-06	2.1E-07	4.0E-08	1.0E-08	2.6E-08	3.8E-08	3.4E-08	1.4E-04	
	CDF	1.6E-06	3.8E-07	1.8E-07	9.4E-08	1.1E-07	1.9E-07	3.2E-07	2.8E-04	
過渡事象から内的要因を削除したケース	原子炉建屋損傷	0.0E+00	0.0E+00	6.3E-18	1.1E-13	5.9E-11	1.2E-09	8.3E-09	9.1E-07	
	格納容器破損	4.2E-15	6.7E-12	1.7E-10	4.0E-09	1.7E-08	2.8E-08	5.2E-08	1.5E-05	
	圧力容器損傷	4.3E-14	2.0E-12	1.1E-11	3.0E-11	6.0E-11	1.6E-10	6.4E-10	1.1E-07	
	ISLOCA	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-20	2.1E-18	2.3E-16	6.9E-15	4.5E-13	
	大LOCA	1.8E-18	1.4E-16	3.2E-15	3.4E-14	3.2E-13	3.5E-12	4.2E-11	3.8E-09	
	中LOCA	0.0E+00	0.0E+00	1.4E-17	1.5E-15	5.4E-14	3.4E-12	1.6E-10	9.8E-09	
	小LOCA	0.0E+00	4.9E-18	9.1E-17	3.2E-15	8.9E-14	7.8E-12	2.8E-10	1.9E-08	
	外部電源喪失	6.9E-08	1.6E-07	1.4E-07	8.0E-08	6.7E-08	1.3E-07	2.3E-07	1.2E-04	
	過渡事象	2.7E-11	1.1E-10	5.8E-10	2.0E-09	2.5E-08	3.8E-08	3.4E-08	2.0E-05	
	CDF	6.9E-08	1.6E-07	1.5E-07	8.6E-08	1.1E-07	1.9E-07	3.2E-07	1.6E-04	

(*)表中の 300~1300gal の値は当該地震動レベルにおける単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）、右欄の CDF は評価対象地震動レベルの全範囲での積分値

表 2.9 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント)

順位	機器カテゴリー	FV重要度	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	起動用変圧器	0.30	0.52
2	海水ポンプ取水ピット	0.19	0.34
3	格納容器	0.05	0.08
4	メタクラ	0.01	0.02
5	ファン	0.01	0.02
6	制御棒	0.01	0.02
7	遮断器	0.01	0.02
8	軽油タンク	0.004	0.008
9	非常用ディーゼル発電機	0.004	0.006
10	原子炉建屋	0.003	0.005

表 2.10 RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント)

順位	機器カテゴリー	RAW	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	原子炉圧力容器	3700	6500
2	大型縦形ポンプ	3700	6500
3	非常用ディーゼル発電機	3700	6500
4	メタクラ	3700	6500
5	原子炉建屋	3700	6500
6	格納容器	3700	6500
7	パワーセンター	3700	6500
8	海水ポンプ取水ピット	3600	6400
9	主蒸気隔離弁	1100	2000
10	RHR 配管	1100	2000
11	制御棒	1100	1900
12	ファン	270	470
13	遮断器	250	440
14	空調ユニット	140	250
15	軽油タンク	120	220
16	空気作動弁	26	45
17	モータコントロールセンタ	17	29
18	大型横形容器／熱交換器	12	20
19	起動用変圧器	9	14
20	逃がし安全弁	7	12

表 2.11 ドミナントシークエンス一覧 (BWR4 型プラント)

シークエンス構成 ^{(*)1}	1300galまで			1500galまで			2000galまで		
	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与
TEBIB2	1	22.5%	22.5%	1	21.4%	21.4%	1	20.5%	20.5%
TECIU1	2	8.8%	31.2%	2	8.2%	29.6%	2	7.9%	28.4%
S2TEC1	3	5.9%	37.2%	3	6.8%	36.4%	3	6.7%	35.1%
S2TEB1B2	4	4.9%	42.1%	4	5.3%	41.7%	4	5.2%	40.3%
TECIC3	5	4.5%	46.6%	6	4.2%	45.9%	6	4.1%	44.4%
SITEC1	6	4.0%	50.6%	5	4.9%	50.9%	5	5.1%	49.5%
TEUIU2V1V2	7	3.6%	54.2%	8	3.4%	54.3%	10	3.3%	52.8%
TUSUIU2V1V2	8	3.3%	57.5%	10	3.1%	57.4%	12	3.0%	55.8%
TECIB1B2	9	3.3%	60.7%	9	3.4%	60.7%	11	3.2%	59.0%
SITEB1B2	10	3.2%	64.0%	7	3.7%	64.5%	9	3.7%	62.7%
TEBIUIV1V2	11	2.9%	66.9%	12	2.8%	67.3%	13	2.7%	65.4%
TEB2U2V1V2	12	2.5%	69.4%	14	2.4%	69.7%	15	2.3%	67.7%
TUACIU1	13	2.5%	71.9%	15	2.3%	72.0%	16	2.2%	70.0%
C001	14	2.2%	74.1%	11	2.9%	74.9%	8	3.8%	73.7%
TECIB2	15	1.9%	76.0%	17	1.8%	76.7%	17	1.7%	75.5%
B001	16	1.8%	77.7%	13	2.5%	79.3%	7	3.8%	79.3%
V001	17	1.6%	79.3%	16	2.2%	81.5%	14	2.7%	82.0%
TUACIC3	18	1.5%	80.8%	19	1.4%	82.9%	20	1.3%	83.4%
TECIBIU1	19	1.5%	82.3%	18	1.4%	84.3%	19	1.3%	84.7%
TUSW24W5	20	1.3%	83.6%	20	1.2%	85.5%	22	1.2%	85.9%

(*)1)シークエンス構成記号は表 2.12 参照 (*2)「寄与割合」及び「累積寄与」は、全炉心損傷頻度に対する寄与割合と累積寄与割合

表 2.12 シーケンス構成記号一覧 (BWR4 型プラント)

区分	記号	内容	
起因事象	B001	原子炉建屋損傷	
	C001	格納容器破損	
	V001	圧力容器損傷	
	Vb	インターフェースLOCA	
	A	大LOCA	
	S1	中LOCA	
	S2	小LOCA	
	TE	外部電源喪失事象	
	TUA	過渡事象 (スクラム失敗時)	
	TUS	過渡事象 (スクラム成功時)	
緩和システム等	反応度制御	C1	スクラム系による原子炉未臨界失敗
		C2	再循環ポンプトリップによる出力低下失敗
		C3	ほう酸水注入系による原子炉未臨界失敗
	原子炉過圧防止	M	逃がし安全弁の開動作失敗
		P3	逃がし安全弁3弁の再閉失敗
		P2	逃がし安全弁2弁の再閉失敗
		P1	逃がし安全弁1弁の再閉失敗
	炉心冷却	U1	高圧注入系による原子炉への給水失敗
		U2	原子炉隔離時冷却系による原子炉への給水失敗
		X1	自動減圧系による自動減圧失敗
		X12	自動または手動による原子炉減圧失敗
		X3	原子炉手動減圧失敗
		V1	炉心スプレイ系による原子炉への給水失敗
	V2	低圧注入系による原子炉への給水失敗	
	格納容器熱除去	W24	残留熱除去系による格納容器熱除去失敗
		W5	格納容器ベントによる格納容器熱除去失敗
	非常用電源	B1	非常用ディーゼル発電機A系機能喪失
		B2	非常用ディーゼル発電機B系機能喪失

表 2.13 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント、1500gal まで）

順位	機器カテゴリー	FV重要度	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	地震による制御棒挿入不能	0.37	0.38
2	メタクラ	0.16	0.17
3	起動用変圧器	0.15	0.15
4	ファン	0.14	0.14
5	海水ポンプ取水ピット	0.10	0.10
6	ポンプ駆動用蒸気タービン	0.09	0.09
7	軽油タンク	0.09	0.09
8	大型平底縦形タンク	0.05	0.05
9	電動弁	0.03	0.03
10	パワーセンター	0.02	0.02

表 2.14 RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、1500gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	原子炉圧力容器	37	38
2	空気作動弁	37	38
3	電動弁	37	38
4	メタクラ	37	38
5	論理回路制御盤	37	38
6	ファン	37	38
7	原子炉格納容器(D/W)	37	38
8	原子炉格納容器(S/P)	37	38
9	原子炉建屋	37	38
10	配管(CRD)	37	38
11	パワーセンター	37	38
12	配管(ELC)	37	38
13	制御棒	37	38
14	サージタンク	37	38
15	逆止弁	26	27
16	非常用ディーゼル発電機	15	15
17	海水ポンプ取水ピット	14	15
18	配管 (RHR)	12	12
19	主蒸気隔離弁	12	12
20	配管 (RCWS)	11	12

表 2.15 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR4 型プラント、2000gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	地震による制御棒挿入不能	0.37	0.37
2	メタクラ	0.15	0.16
3	起動用変圧器	0.14	0.15
4	ファン	0.13	0.14
5	海水ポンプ取水ピット	0.10	0.10
6	ポンプ駆動用蒸気タービン	0.08	0.09
7	軽油タンク	0.08	0.08
8	大型平底縦形タンク	0.05	0.05
9	電動弁	0.03	0.03
10	パワーセンター	0.02	0.02

表 2.16 RAW の上位機器カテゴリー一覧（BWR4 型プラント、2000gal まで）

順位	機器カテゴリー	RAW	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	原子炉圧力容器	36	37
2	空気作動弁	36	37
3	電動弁	36	37
4	メタクラ	36	37
5	論理回路制御盤	36	37
6	ファン	36	37
7	原子炉格納容器(D/W)	36	37
8	原子炉格納容器(S/P)	36	37
9	原子炉建屋	36	37
10	配管(CRD)	36	37
11	パワーセンター	36	37
12	配管(ELC)	36	37
13	地震による制御棒挿入不能	36	37
14	サージタンク	36	37
15	逆止弁	25	26
16	非常用ディーゼル発電機	14	15
17	海水ポンプ取水ピット	14	14
18	配管 (RHR)	12	12
19	主蒸気隔離弁	12	12
20	配管 (RCWS)	11	11

表 2.17 残余のリスクの試解析結果 (BWR4 型プラント)

解析ケース	評価対象 地震動レベル	想定基準地震動	CDF (相対値)	寄与割合 (残余のリスク/ 全炉心損傷頻度)
ベースケース	300～1300gal	----	2.6×10^{-2}	----
		700gal	2.1×10^{-2}	0.80
		1000gal	9.4×10^{-3}	0.37
	300～1500gal	----	2.7×10^{-2}	----
		700gal	2.3×10^{-2}	0.85
		1000gal	1.2×10^{-2}	0.44
	300～2000gal	----	2.9×10^{-2}	----
		700gal	2.5×10^{-2}	0.86
		1000gal	1.3×10^{-2}	0.47
過渡事象時の 内的要因 削除ケース	300～1300gal	----	2.5×10^{-2}	----
		700gal	2.1×10^{-2}	0.83
		1000gal	9.4×10^{-3}	0.38
	300～1500gal	----	2.7×10^{-2}	----
		700gal	2.3×10^{-2}	0.87
		1000gal	1.2×10^{-2}	0.45
	300～2000gal	----	2.8×10^{-2}	----
		700gal	2.5×10^{-2}	0.88
		1000gal	1.3×10^{-2}	0.48

表 2.18 ドミナントシークエンス一覧 (BWR5 型プラント)

シークエンス構成 ^{(*)1}	1300galまで			1500galまで			1500galまで		
	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与
TRW24W5	1	32.0%	32.0%	1	27.0%	27.0%	2	22.2%	22.2%
TEBIB2B3O1U2	2	14.0%	45.9%	2	19.6%	46.6%	1	24.3%	46.4%
TEBIB2O1O3	3	12.6%	58.6%	3	11.3%	58.0%	4	9.6%	56.0%
TR1U1U2V1V2	4	11.9%	70.4%	4	11.2%	69.2%	3	9.7%	65.8%
TEB1O1O3W24	5	6.1%	76.5%	6	5.4%	74.6%	6	4.5%	70.3%
TEB2O1O3W24	6	6.0%	82.5%	7	5.3%	79.9%	7	4.4%	74.7%
PCVR	7	5.1%	87.6%	5	6.9%	86.8%	5	9.1%	83.8%
TRU1W24W5	8	1.7%	89.3%	8	1.4%	88.2%	10	1.2%	85.0%
TRU1U2X2	9	1.5%	90.7%	10	1.2%	89.5%	11	1.0%	86.0%
TEBIB2B3O1O2	10	1.0%	91.7%	9	1.4%	90.9%	8	3.2%	89.2%
TRPIW24W5	11	0.9%	92.6%	12	0.7%	91.6%	14	0.6%	89.8%
TEO1O3W24W5	12	0.7%	93.3%	13	0.7%	92.3%	15	0.6%	90.4%
TEC1C3	13	0.4%	93.7%	15	0.4%	92.8%	17	0.4%	90.8%
TEBIB2B3P1O1U2	14	0.4%	94.1%	14	0.5%	93.3%	13	0.7%	91.4%
TEBIB2P1O1O3	15	0.3%	94.5%	18	0.3%	93.6%	21	0.3%	91.7%
TRC1C3	16	0.3%	94.8%	17	0.3%	94.0%	19	0.3%	92.0%
RBR	17	0.3%	95.1%	11	0.8%	94.7%	9	1.6%	93.6%
TEB2B3O1O2O3W24	18	0.3%	95.4%	16	0.4%	95.1%	16	0.5%	94.1%
TEBIP1O1O3W24	19	0.2%	95.5%	22	0.1%	95.3%	26	0.1%	94.2%
TEB2P1O1O3W24	20	0.2%	95.7%	23	0.1%	95.4%	27	0.1%	94.3%

(*)1)シークエンス構成記号は表 2.19 参照 (*2)「寄与割合」及び「累積寄与」は、全炉心損傷頻度に対する寄与割合と累積寄与割合

表 2.19 シーケンス構成記号一覧 (BWR5 型プラント)

区分	記号	内容	
起因事象	RBR	原子炉建屋損傷	
	PCVR	格納容器破損	
	RVR	圧力容器損傷	
	V	インターフェースLOCA	
	Ai	大LOCA	
	S1	中LOCA	
	S2	小LOCA	
	TE	外部電源喪失	
	TR	過渡事象	
緩和系	反応度制御	C1	制御棒駆動水圧系による原子炉未臨界失敗
		C2	再循環ポンプトリップによる出力低下失敗
		C3	ほう酸水注入系による原子炉未臨界失敗
	原子炉過圧防止	M	逃がし安全弁の開動作失敗
		P3	逃がし安全弁3弁の再開失敗
		P2	逃がし安全弁2弁の再開失敗
		P1	逃がし安全弁1弁の再開失敗
	炉心冷却	U1	高圧炉心スプレイ系による原子炉への給水失敗
		U2	原子炉隔離時冷却系による原子炉への給水失敗
		X1	自動減圧系による自動減圧失敗
		X2	原子炉手動減圧による手動減圧失敗
		V1	低圧炉心スプレイ系原子炉への給水失敗
		V2	低圧注水系による原子炉への給水失敗
	格納容器熱除去	W24	残留熱除去系による格納容器熱除去失敗
		W5	格納容器ベントによる格納容器熱除去失敗
	非常用電源及び外部電源復帰等	B1	非常用ディーゼル発電機A系機能喪失
		B2	非常用ディーゼル発電機B系機能喪失
		B3	非常用ディーゼル発電機HPCS系機能喪失
		O1	スクラム成功後の炉心冷却に対する許容時間(30分)以内の外部電源復帰に失敗
		O2	原子炉隔離時冷却系制御用バッテリーの枯渇時間(8時間)以内の外部電源復帰及び非常用ディーゼル発電機復帰に失敗
		O3	スクラム成功後の格納容器熱除去に対する許容時間(24時間)以内の外部電源復帰及び非常用ディーゼル発電機復帰に失敗

(注) O1、O2 及び O3 は、イベントツリー上では存在するが分岐確率=1.0 としている。

表 2.20 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、1500gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	起動用変圧器	0.27	0.43
2	海水ポンプ取水ピット	0.25	0.40
3	格納容器	0.06	0.10
4	ファン	0.03	0.04
5	メタクラ	0.02	0.04
6	遮断器	0.02	0.04
7	制御棒	0.02	0.02
8	非常用ディーゼル発電機	0.008	0.01
9	原子炉建屋	0.006	0.01
10	軽油タンク	0.005	0.01

表 2.21 RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、1500gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	原子炉圧力容器	3100	5000
2	大型縦形ポンプ	3100	5000
3	非常用ディーゼル発電機	3100	5000
4	メタクラ	3100	5000
5	原子炉建屋	3100	5000
6	格納容器	3100	5000
7	パワーセンター	3100	5000
8	海水ポンプ取水ピット	3100	5000
9	主蒸気隔離弁	940	1500
10	RHR 配管	940	1500
11	制御棒	930	1500
12	ファン	230	360
13	遮断器	210	340
14	空調ユニット	120	190
15	軽油タンク	110	170
16	空気作動弁	22	35
17	モータコントロールセンタ	15	23
18	大型横形容器／熱交換器	10	16
19	起動用変圧器	8	11
20	逃がし安全弁	7	10

表 2.22 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、2000gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	海水ポンプ取水ピット	0.28	0.40
2	起動用変圧器	0.25	0.36
3	格納容器	0.06	0.088
4	ファン	0.06	0.078
5	遮断器	0.04	0.059
6	メタクラ	0.03	0.040
7	制御棒	0.02	0.032
8	非常用ディーゼル発電機	0.02	0.029
9	原子炉建屋	0.008	0.011
10	軽油タンク	0.005	0.008

表 2.23 RAW の上位機器カテゴリー一覧 (BWR5 型プラント、2000gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW	
		ベースケース	内的要因削除ケース
1	原子炉圧力容器	2600	3700
2	大型縦形ポンプ	2600	3700
3	非常用ディーゼル発電機	2600	3700
4	メタクラ	2600	3700
5	原子炉建屋	2600	3700
6	格納容器	2600	3700
7	パワーセンター	2600	3700
8	海水ポンプ取水ピット	2500	3600
9	主蒸気隔離弁	770	1100
10	RHR 配管	770	1100
11	制御棒	760	1100
12	ファン	190	270
13	遮断器	180	250
14	空調ユニット	100	140
15	軽油タンク	86	120
16	空気作動弁	18	260
17	モータコントロールセンタ	12	17
18	大型横形容器／熱交換器	9	12
19	起動用変圧器	6	9
20	逃がし安全弁	6	8

表 2.24 残余のリスクの試解析結果 (BWR5 型プラント)

解析ケース	評価対象 地震動レベル	想定基準地震動	CDF (相対値)	寄与割合 (残余のリスク/ 全炉心損傷頻度)
ベースケース	300～1300gal	----	2.8×10^{-4}	----
		700gal	9.7×10^{-5}	0.35
		1000gal	6.7×10^{-5}	0.24
	300～1500gal	----	3.3×10^{-4}	----
		700gal	1.6×10^{-4}	0.47
		1000gal	1.2×10^{-4}	0.37
	300～2000gal	----	4.1×10^{-4}	----
		700gal	2.3×10^{-4}	0.57
		1000gal	2.0×10^{-4}	0.49
過渡事象時の 内的要因 削除ケース	300～1300gal	----	1.6×10^{-4}	----
		700gal	9.5×10^{-5}	0.60
		1000gal	6.7×10^{-5}	0.42
	300～1500gal	----	2.1×10^{-4}	----
		700gal	1.5×10^{-4}	0.73
		1000gal	1.2×10^{-4}	0.59
	300～2000gal	----	2.8×10^{-4}	----
		700gal	2.3×10^{-4}	0.80
		1000gal	2.0×10^{-4}	0.70

表 2.25 ランダム故障率 (1/7)

機器カテゴリー	故障モード	米国故障率			国内故障率			備考
		平均値	中央値	EF	平均値	中央値	EF	
非常用DG	起動失敗 (1ヶ月)	6.0E-04	4.8E-04	3	1.5E-03	8.0E-04	7	
非常用DG	継続運転失敗	3.4E-03	1.3E-03	10	2.3E-03	2.0E-03	2	
電動ポンプ	起動失敗 (1ヶ月)	4.4E-04	1.6E-04	10	6.3E-05	1.4E-05	17	
電動ポンプ	起動失敗 (2ヶ月)	6.2E-04	2.3E-04	10	8.7E-05	1.9E-05	17	
電動ポンプ	起動失敗 (1年)	2.4E-03	9.2E-04	10	3.2E-04	7.2E-05	17	
電動ポンプ	継続運転失敗	3.4E-04	1.3E-04	10	2.6E-05	8.6E-06	12	
電動ポンプMCC	機能喪失 (1ヶ月)	2.2E-03	8.1E-04	10	2.8E-05	4.0E-06	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
電動ポンプMCC	機能喪失 (2ヶ月)	3.1E-03	1.1E-03	10	3.6E-05	5.3E-06	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
電動ポンプMCC	機能喪失 (1年)	1.2E-02	4.6E-03	10	1.2E-04	1.8E-05	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
タービン駆動ポンプ	起動失敗	8.2E-03	3.1E-03	10	1.5E-03	9.9E-05	47	
タービン駆動ポンプ	継続運転失敗	2.4E-03	9.0E-04	10	7.0E-05	4.7E-05	4	
タービン駆動ポンプ (サポート部)	機能喪失 (1ヶ月)	1.3E-02	5.0E-03	10	2.8E-05	4.0E-06	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用

(注) () は定期試験間隔

表 2.25 ランダム故障率 (2/7)

機器カテゴリー	故障モード	米国故障率			国内故障率			備考
		平均値	中央値	EF	平均値	中央値	EF	
電動弁	作動失敗 (1ヶ月)	3.5E-03	1.3E-03	10	4.1E-05	1.9E-06	60	
電動弁	作動失敗 (3ヶ月)	3.8E-03	1.4E-03	10	4.8E-05	2.2E-06	60	
電動弁	作動失敗 (1年)	5.0E-03	1.9E-03	10	8.0E-05	3.6E-06	60	
電動弁	閉塞 (1ヶ月)	1.2E-05	9.2E-06	3	3.5E-06	8.5E-07	16	
電動弁	閉塞 (1年)	1.4E-04	1.1E-04	3	4.2E-05	1.0E-05	16	
電動弁	閉塞 [24時間]	7.7E-07	6.1E-07	3	2.3E-07	5.7E-08	16	
電動弁MCC	機能喪失 (1ヶ月)	1.3E-03	4.7E-04	10	3.4E-05	4.9E-06	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
電動弁MCC	機能喪失 (3ヶ月)	1.4E-03	5.1E-04	10	4.1E-05	6.0E-06	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
電動弁MCC	機能喪失 (1年)	1.8E-03	6.8E-04	10	7.2E-05	1.1E-05	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
空気作動弁	作動失敗 (1ヶ月)	7.5E-04	6.0E-04	3	4.2E-05	2.2E-05	6	
空気作動弁	作動失敗 (1年)	1.1E-03	8.6E-04	3	1.3E-04	6.9E-05	6	

(注) () は定期試験間隔、[] は使用時間

表 2.25 ランダム故障率 (3/7)

機器カテゴリー	故障モード	米国故障率			国内故障率			備考
		平均値	中央値	EF	平均値	中央値	EF	
空気作動弁	内部リーク (1ヶ月)	3.6E-05	1.4E-05	10	1.0E-06	3.9E-07	10	
空気作動弁	内部リーク (1年)	4.4E-04	3.5E-04	3	1.3E-05	1.0E-05	3	
空気作動弁	誤作動	2.4E-06	9.0E-07	10	1.4E-07	5.2E-08	10	
空気作動弁	閉塞	2.4E-06	1.9E-06	3	2.4E-07	4.1E-08	22	
空気作動弁MCC	機能喪失 (1ヶ月)	1.2E-03	4.4E-04	10	3.4E-05	4.9E-06	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
空気作動弁MCC	機能喪失 (1年)	1.6E-03	1.3E-03	3	7.2E-05	1.1E-05	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
逆止弁	作動失敗 (1ヶ月)	5.3E-05	4.3E-05	3	8.3E-06	1.9E-06	17	
逆止弁	作動失敗 (1年)	7.7E-05	6.2E-05	3	1.4E-05	3.2E-06	17	
爆破弁	作動失敗 (1年)	5.0E-03	1.9E-03	10	8.0E-05	3.6E-06	60	
爆破弁MCC	機能喪失 (1年)	1.8E-03	6.8E-04	10	7.2E-05	1.1E-05	25	国内データは遮断器の機能喪失を適用
自圧式圧力制御弁	開失敗	1.0E-05	8.0E-06	3	3.4E-05	1.8E-05	6	
手動弁	作動失敗	5.2E-05	4.2E-05	3	9.7E-05	2.3E-05	16	

(注) () は定期試験間隔

表 2.25 ランダム故障率 (4/7)

機器カテゴリ	故障モード	米国故障率			国内故障率			備考
		平均値	中央値	EF	平均値	中央値	EF	
逃がし安全弁2弁再閉失敗	機能喪失	1.6E-01	1.3E-01	3	1.6E-01	1.3E-01	3	BWR5 (工学的判断により設定)
逃がし安全弁2弁再閉失敗	機能喪失	4.8E-02	3.8E-02	3	4.8E-02	3.8E-02	3	BWR5 (工学的判断により設定)
逃がし安全弁3弁再閉失敗	機能喪失	2.7E-02	2.2E-02	3	2.7E-02	2.2E-02	3	BWR5 (工学的判断により設定)
逃がし安全弁1弁再閉失敗	閉失敗	1.8E-02	1.4E-02	3	1.8E-02	1.4E-02	3	BWR4 (工学的判断により設定)
逃がし安全弁2弁再閉失敗	閉失敗	8.7E-04	3.3E-04	10	8.7E-04	3.3E-04	10	BWR4 (工学的判断により設定)
逃がし安全弁3弁再閉失敗	閉失敗	1.4E-04	5.3E-05	10	1.4E-04	5.3E-05	10	BWR4 (工学的判断により設定)
電磁弁	作動失敗 (1ヶ月)	7.5E-04	6.0E-04	3	2.8E-05	6.8E-06	16	
電磁弁	作動失敗 (1年)	1.1E-03	8.6E-04	3	4.1E-05	9.9E-06	16	
電磁弁	破損リーク (1ヶ月)	3.6E-05	1.4E-05	10	4.3E-07	1.4E-07	12	
電磁弁	破損リーク (1年)	4.4E-04	3.5E-04	3	5.3E-06	1.7E-06	12	
ファン	機能喪失 (1ヶ月)	1.7E-03	1.4E-03	3	3.7E-05	8.8E-06	17	
ダンパ	機能喪失 (1ヶ月)	4.3E-04	3.5E-04	3	1.4E-05	4.2E-06	13	

(注) () は定期試験間隔

表 2.25 ランダム故障率 (5/7)

機器カテゴリー	故障モード	米国故障率			国内故障率			備考
		平均値	中央値	EF	平均値	中央値	EF	
熱交換器	伝熱管破損 (1ヶ月)	2.1E-03	7.7E-04	10	9.4E-06	2.9E-06	12	
熱交換器	胴側破損リーク	7.2E-05	2.7E-05	10	6.2E-07	1.9E-07	12	
熱交換器	閉塞	2.1E-03	7.7E-04	10	2.6E-05	3.1E-06	29	
オリフイス	閉塞 (1ヶ月)	2.2E-04	1.7E-04	3	1.2E-06	3.6E-07	12	
オリフイス	閉塞 (1年)	2.6E-03	2.1E-03	3	1.4E-05	4.4E-06	12	
ストレーナ/フィルター	閉塞(1ヶ月)	4.3E-04	8.2E-05	20	3.6E-06	1.1E-06	12	
ストレーナ/フィルター	閉塞(1年)	5.3E-03	1.0E-03	20	4.3E-05	1.4E-05	12	
インバータ	機能喪失 [30時間]	2.9E-04	2.4E-04	3	1.1E-05	2.8E-06	16	
インバータ	機能喪失 (1ヶ月)	3.5E-03	2.8E-03	3	1.4E-04	3.4E-05	16	
遮断器	機能喪失 (1ヶ月)	1.4E-04	5.4E-05	10	2.8E-05	4.0E-06	25	
遮断器	機能喪失 (1年)	1.8E-03	6.6E-04	10	1.2E-04	1.8E-05	25	
変圧器	機能喪失 (1ヶ月)	2.2E-04	1.7E-04	3	9.4E-05	3.0E-05	12	
変圧器	機能喪失 (1年)	2.6E-03	2.1E-03	3	1.1E-03	3.7E-04	12	

(注) () は定期試験間隔、[] は使命時間

表 2.25 ランダム故障率 (6/7)

機器カテゴリ	故障モード	米国故障率			国内故障率			備考
		平均値	中央値	EF	平均値	中央値	EF	
変圧器	機能喪失 (30時間)	1.8E-05	1.4E-05	3	7.8E-06	2.5E-06	12	
バッテリー	機能喪失	9.6E-05	7.7E-05	3	7.6E-05	2.8E-05	10	
母線	機能喪失	7.2E-06	5.8E-06	3	9.3E-07	2.0E-07	18	
スイッチギア	機能喪失	7.2E-06	5.8E-06	3	9.3E-07	2.0E-07	18	母線の機能喪失を適用
コントローラセンタ	機能喪失	7.2E-06	5.8E-06	3	9.3E-07	2.0E-07	18	母線の機能喪失を適用
パワーセンタ	機能喪失	7.2E-06	5.8E-06	3	9.3E-07	2.0E-07	18	母線の機能喪失を適用
制御盤及びブック	機能喪失	3.0E-05	1.1E-05	10	4.8E-06	1.4E-06	14	手動スイッチの機能喪失を適用
配管	破損リーク (1年)	3.9E-05	4.6E-06	30	2.9E-06	6.0E-07	19	
非常用ガス処理装置	閉塞	4.3E-04	8.2E-05	20	3.6E-06	1.1E-06	12	
リレー	機能喪失 (1ヶ月)	3.6E-04	1.4E-04	10	5.4E-07	3.7E-08	45	
リレー	機能喪失 (1年)	4.4E-04	1.6E-04	10	6.6E-06	4.5E-07	45	
警報機	機能喪失 [30時間]	3.9E-05	1.5E-05	10	6.9E-08	2.1E-08	13	

(注) () 内は定期試験間隔

表 2.25 ランダム故障率 (7/7)

機器カテゴリ	故障モード	米国故障率			国内故障率			備考
		平均値	中央値	EF	平均値	中央値	EF	
流量トランスミッタ	機能喪失 [30時間]	9.0E-05	7.2E-05	3	8.3E-07	2.2E-07	15	
圧力トランスミッタ	機能喪失 [30時間]	5.7E-05	4.5E-05	3	1.1E-06	4.4E-07	10	
水位トランスミッタ	機能喪失 [30時間]	7.5E-05	6.0E-05	3	1.1E-06	3.1E-07	13	
温度トランスミッタ	機能喪失 [30時間]	5.9E-05	4.8E-05	3	4.2E-07	9.5E-08	17	
温度プロセススイッチ	機能喪失 (1年)	4.3E-03	3.5E-03	3	1.6E-04	2.5E-05	24	
圧力プロセススイッチ	機能喪失 (1ヶ月)	4.3E-04	3.5E-04	3	9.0E-06	1.1E-06	28	
圧力プロセススイッチ	機能喪失 (1年)	7.0E-03	5.6E-03	3	1.1E-04	1.4E-05	28	
流量プロセススイッチ	機能喪失 (1年)	9.5E-03	7.6E-03	3	6.2E-05	2.4E-05	10	
水位プロセススイッチ	機能喪失 (1年)	1.1E-02	9.0E-03	3	7.5E-05	8.9E-06	30	
リミットスイッチ	機能喪失 (1年)	1.0E-04	8.0E-05	3	2.4E-05	5.7E-06	16	
レベルスイッチ	機能喪失 (1ヶ月)	4.3E-04	3.5E-04	3	2.0E-06	4.7E-07	16	
サイリスタスイッチ	機能喪失 (1ヶ月)	1.8E-03	1.4E-03	3	1.4E-04	3.4E-05	16	

(注) () 内は定期試験間隔、[] は使用時間

表 2.26 ドミナントシークエンス一覧 (BWR4 型プラント、国内故障率)

シークエンス構成 ^{(*)1}	ベースケース			1500gal			2000gal		
	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与
TE1B1B2	1	21.3%	21.3%	1	20.2%	20.2%	1	19.2%	19.2%
TE4C1U1	2	10.6%	31.9%	2	9.8%	30.0%	2	9.3%	28.6%
S2TEC1	3	6.8%	38.7%	3	7.7%	37.6%	3	7.6%	36.2%
TE4C1C3	4	5.5%	44.1%	6	5.1%	54.1%	6	4.9%	52.5%
S2TEB1B2	5	5.3%	49.4%	4	5.8%	43.5%	5	5.7%	47.6%
SITEC1	6	4.6%	54.0%	5	5.6%	49.0%	4	5.8%	42.0%
TE1U1U2V1V2	7	4.0%	57.9%	8	3.7%	61.9%	10	3.5%	68.5%
SITEB1B2	8	3.5%	61.5%	7	4.1%	58.2%	9	4.0%	65.0%
TE4C1B1B2	9	3.5%	64.9%	9	3.6%	65.4%	11	3.4%	72.0%
TUAC1U1	10	2.7%	67.6%	12	2.5%	74.0%	13	2.4%	77.4%
C001	11	2.5%	70.1%	10	3.2%	68.7%	8	4.2%	61.0%
TE3B1U1V1V2	12	2.5%	72.6%	14	2.4%	78.9%	14	2.3%	79.7%
TUSU1U2V1V2	13	2.2%	74.7%	15	2.0%	81.0%	15	1.9%	81.6%
TE2B2U2V1V2	14	2.0%	76.8%	16	2.0%	82.9%	16	1.9%	83.5%
B001	15	2.0%	78.8%	11	2.8%	71.5%	7	4.3%	56.7%
V001	16	1.8%	80.6%	13	2.5%	76.5%	12	3.0%	75.0%
TUAC1C3	17	1.7%	82.3%	17	1.6%	84.5%	18	1.5%	86.5%
TE4C1B2	18	1.6%	83.9%	18	1.5%	86.0%	19	1.5%	88.0%
TE4C1B1U1	19	1.3%	85.2%	20	1.2%	88.4%	21	1.2%	90.5%
TE4C1P1U1	20	1.2%	86.4%	21	1.2%	89.6%	22	1.1%	91.6%

(*)1)シークエンス構成記号は表 2.12 参照 (*2)「寄与割合」及び「累積寄与」は、全炉心損傷頻度に対する寄与割合と累積寄与割合

表 2.27 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧
 (BWR4 型プラント、国内故障率、1300gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度
1	制御棒	0.43
2	メタクラ	0.19
3	ファン	0.16
4	起動用変圧器	0.13
5	海水ポンプ取水ピット	0.12
6	軽油タンク	0.11
7	ポンプ駆動用蒸気タービン	0.10
8	大型平底縦形タンク	0.06
9	電動弁	0.03
10	パワーセンター	0.02

表 2.28 RAW の上位機器カテゴリー一覧
 (BWR4 型プラント、国内故障率、1300gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW
1	原子炉圧力容器	45
2	空気作動弁	45
3	小型電動弁	45
4	メタクラ	45
5	論理回路制御盤	45
6	ファン	45
7	原子炉格納容器(D/W)	45
8	原子炉格納容器(S/P)	45
9	原子炉建屋	45
10	配管(CRD)	45
11	パワーセンター	45
12	配管(ELC)	45
13	制御棒	45
14	サージタンク	45
15	逆止弁	31
16	非常用ディーゼル発電機	17
17	海水ポンプ取水ピット	17
18	配管 (RHR)	15
19	主蒸気隔離弁	14
20	配管 (RCWS)	13

表 2.29 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧

(BWR4 型プラント、国内故障率、1500gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度
1	制御棒	0.42
2	メタクラ	0.17
3	ファン	0.14
4	起動用変圧器	0.12
5	海水ポンプ取水ピット	0.11
6	軽油タンク	0.10
7	ポンプ駆動用蒸気タービン	0.1
8	大型平底縦形タンク	0.05
9	電動弁	0.03
10	パワーセンター	0.02

表 2.30 RAW の上位機器カテゴリー一覧
 (BWR4 型プラント、国内故障率、1500gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW
1	原子炉圧力容器	42
2	空気作動弁	42
3	電動弁	42
4	メタクラ	42
5	論理回路制御盤	42
6	ファン	42
7	原子炉格納容器(D/W)	42
8	原子炉格納容器(S/P)	42
9	原子炉建屋	42
10	配管(CRD)	42
11	パワーセンター	42
12	配管(ELC)	42
13	制御棒	42
14	サージタンク	42
15	逆止弁	29
16	非常用ディーゼル発電機	16
17	海水ポンプ取水ピット	16
18	配管 (RHR)	14
19	主蒸気隔離弁	13
20	配管 (RCWS)	12

表 2.31 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧

(BWR4 型プラント、国内故障率、2000gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度
1	制御棒	0.41
2	メタクラ	0.17
3	ファン	0.14
4	起動用変圧器	0.11
5	海水ポンプ取水ピット	0.11
6	軽油タンク	0.09
7	ポンプ駆動用蒸気タービン	0.09
8	大型平底縦形タンク	0.05
9	小型電動弁 (<10in.)	0.03
10	パワーセンター	0.02

表 2.32 RAW の上位機器カテゴリー一覧
 (BWR4 型プラント、国内故障率、2000gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW
1	原子炉圧力容器	40
2	空気作動弁	40
3	小型電動弁 (<10in.)	40
4	メタクラ	40
5	論理回路制御盤	40
6	ファン	40
7	原子炉格納容器(D/W)	40
8	原子炉格納容器(S/P)	40
9	原子炉建屋	40
10	配管(CRD)	40
11	パワーセンター	40
12	配管(ELC)	40
13	制御棒	40
14	サージタンク	40
15	逆止弁	27
16	非常用ディーゼル発電機	15
17	海水ポンプ取水ピット	15
18	配管 (RHR)	13
19	主蒸気隔離弁	13
20	配管 (RCWS)	12

表 2.33 ドミナントシークエンス一覧 (BWR5 型プラント、国内故障率)

シークエンス構成 ^(*)	ベースケース			1500gal			2000gal		
	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与	順位	寄与割合	累積寄与
TEBIB2B3O1U2	1	44.7%	44.7%	1	46.9%	46.9%	1	46.1%	46.1%
TRU1U2V1V2	2	16.8%	61.4%	3	13.5%	77.1%	3	9.9%	73.6%
PCVR	3	16.5%	77.9%	2	16.7%	63.6%	2	17.6%	63.7%
TEBIB2O1O3	4	5.6%	83.5%	4	5.1%	82.1%	5	4.0%	83.3%
TRW24W5	5	4.1%	87.6%	5	2.8%	84.9%	7	1.9%	88.2%
TEBIB2B3O1O2	6	2.0%	89.6%	6	2.7%	87.5%	4	5.7%	79.3%
TECIC3	7	1.5%	91.0%	11	1.1%	94.3%	12	0.8%	94.0%
TEBIB2B3PIO1U2	8	1.2%	92.3%	8	1.3%	90.7%	9	1.3%	91.3%
TEBIO1O3W24	9	1.2%	93.5%	9	1.3%	92.0%	10	1.0%	92.3%
TEB2O1O3W24	10	1.1%	94.6%	10	1.2%	93.2%	11	0.9%	93.2%
TRCIC3	11	1.0%	95.7%	12	0.8%	95.1%	13	0.6%	94.6%
RBR	12	1.0%	96.7%	7	1.8%	89.4%	6	3.0%	86.3%
TEO1O3W24W5	13	0.7%	97.4%	13	0.7%	95.8%	16	0.5%	96.2%
TECIB1B2	14	0.2%	97.6%	14	0.6%	96.4%	8	1.8%	90.0%
TEB2B3O1O2O3W24	15	0.2%	97.8%	15	0.4%	96.8%	14	0.6%	95.2%
TEBIB2PIO1O3	16	0.2%	98.0%	20	0.1%	97.8%	28	0.1%	98.6%
TRP1W24W5	17	0.1%	98.1%	25	0.1%	98.3%	38	0.1%	99.5%
TECIB3O1	18	0.1%	98.2%	19	0.2%	97.7%	24	0.1%	98.1%
RVR	19	0.1%	98.3%	18	0.2%	97.5%	20	0.2%	97.5%
TEBIB3O1O2O3W24	20	0.1%	98.5%	16	0.3%	97.1%	17	0.4%	96.6%

(*)シークエンス構成記号は表 2.19 参照 (*2)「寄与割合」及び「累積寄与」は、全炉心損傷頻度に対する寄与割合と累積寄与割合

表 2.34 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧
 (BWR5 型プラント、国内故障率、1300gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度
1	海水ポンプ取水ピット	0.63
2	格納容器	0.16
3	起動用変圧器	0.12
4	メタクラ	0.04
5	制御棒	0.03
6	ファン	0.03
7	遮断器	0.03
8	原子炉建屋	0.01
9	非常用ディーゼル発電機	0.01
10	軽油タンク	0.008

表 2.35 RAW の上位機器カテゴリー一覧
(BWR5 型プラント、国内故障率、1300gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW
1	原子炉圧力容器	12000
2	大型縦形ポンプ	12000
3	非常用ディーゼル発電機	12000
4	メタクラ	12000
5	原子炉建屋	12000
6	格納容器	12000
7	パワーセンター	12000
8	海水ポンプ取水ピット	12000
9	主蒸気隔離弁	3600
10	RHR 配管	3600
11	制御棒	3300
12	ファン	730
13	遮断器	730
14	軽油タンク	370
15	空調ユニット	360
16	大型横形容器／熱交換器	13
17	モータコントロールセンタ	10
18	空気作動弁	7
19	大型電動弁 (>10in.)	6
20	EECW 系配管	5

表 2.36 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧
 (BWR5 型プラント、国内故障率、1500gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度
1	海水ポンプ取水ピット	0.62
2	格納容器	0.15
3	起動用変圧器	0.12
4	ファン	0.05
5	メタクラ	0.05
6	遮断器	0.05
7	制御棒	0.03
8	非常用ディーゼル発電機	0.02
9	原子炉建屋	0.02
10	軽油タンク	0.008

表 2.37 RAW の上位機器カテゴリー一覧
(BWR5 型プラント、国内故障率、1500gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW
1	原子炉圧力容器	7600
2	大型縦形ポンプ	7600
3	非常用ディーゼル発電機	7600
4	メタクラ	7600
5	原子炉建屋	7600
6	格納容器	7600
7	パワーセンター	7600
8	海水ポンプ取水ピット	7400
9	主蒸気隔離弁	2300
10	RHR 配管	2300
11	制御棒	2100
12	ファン	460
13	遮断器	460
14	軽油タンク	240
15	空調ユニット	220
16	大型横形容器／熱交換器	9
17	モータコントロールセンタ	7
18	空気作動弁	5
19	大型電動弁 (>10in.)	4
20	EECW 系配管	4

表 2.38 FV 重要度の上位機器カテゴリー一覧
 (BWR5 型プラント、国内故障率、2000gal まで)

順位	機器カテゴリー	FV重要度
1	海水ポンプ取水ピット	0.54
2	起動用変圧器	0.14
3	格納容器	0.12
4	ファン	0.01
5	遮断器	0.07
6	メタクラ	0.05
7	制御棒	0.04
8	非常用ディーゼル発電機	0.04
9	原子炉建屋	0.02
10	大型縦形ポンプ	0.008

表 2.39 RAW の上位機器カテゴリー一覧
(BWR5 型プラント、国内故障率、2000gal まで)

順位	機器カテゴリー	RAW
1	原子炉圧力容器	5000
2	大型縦形ポンプ	5000
3	非常用ディーゼル発電機	5000
4	メタクラ	5000
5	原子炉建屋	5000
6	格納容器	5000
7	パワーセンター	5000
8	海水ポンプ取水ピット	4800
9	主蒸気隔離弁	1500
10	RHR 配管	1500
11	制御棒	1400
12	ファン	300
13	遮断器	300
14	軽油タンク	160
15	空調ユニット	150
16	大型横形容器／熱交換器	7
17	モータコントロールセンタ	5
18	大型電動弁 (> 10in.)	3
19	空気作動弁	3
20	EECW 系配管	3

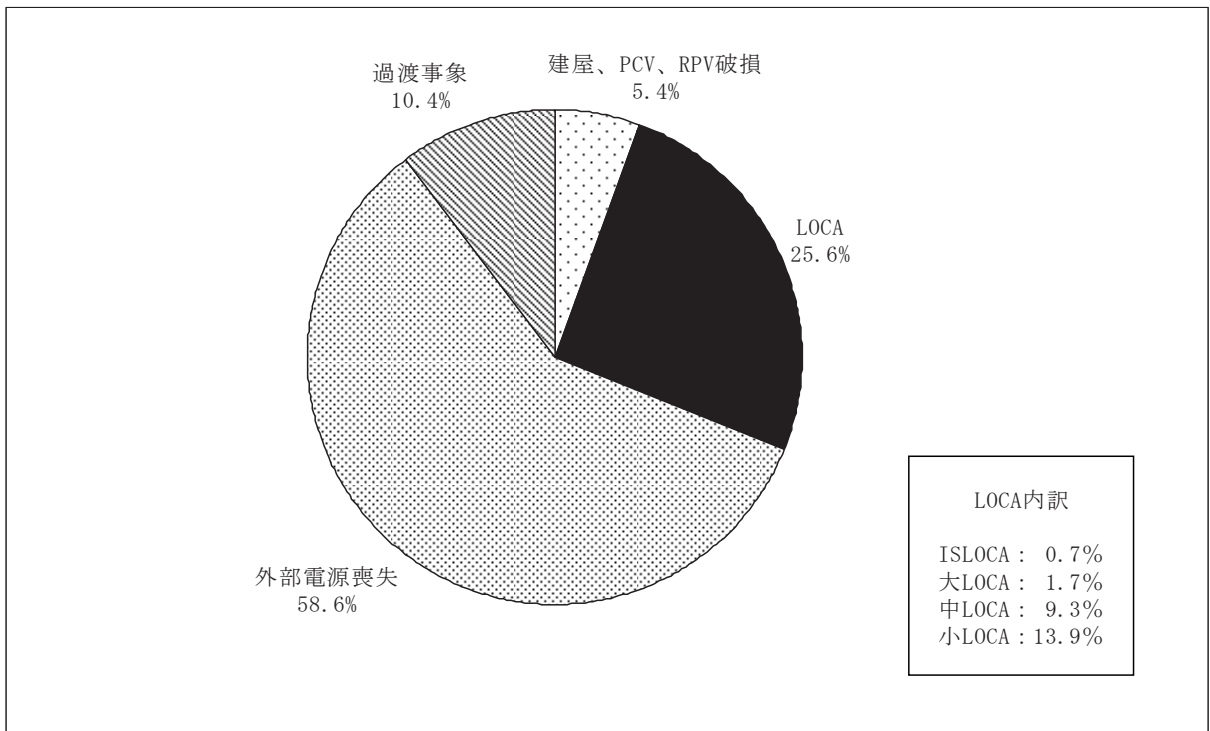


図 2.1 起因事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、ベースケース)

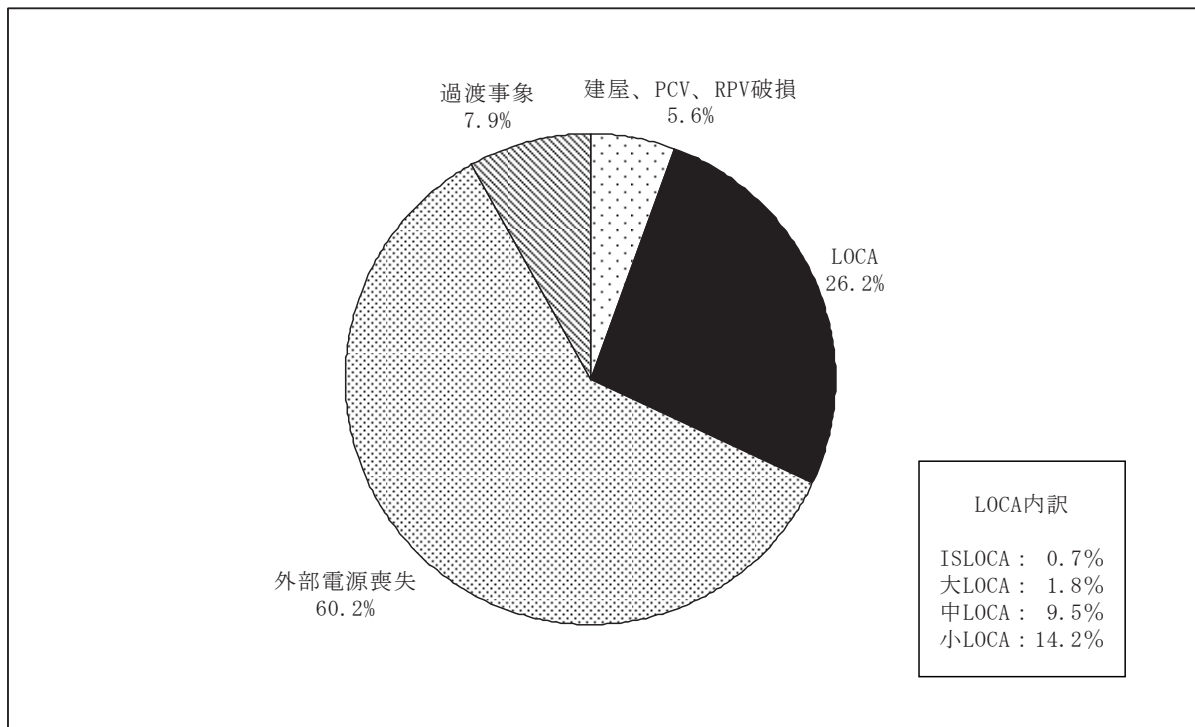


図 2.2 起因事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、過渡事象の内的要因を削除したケース)

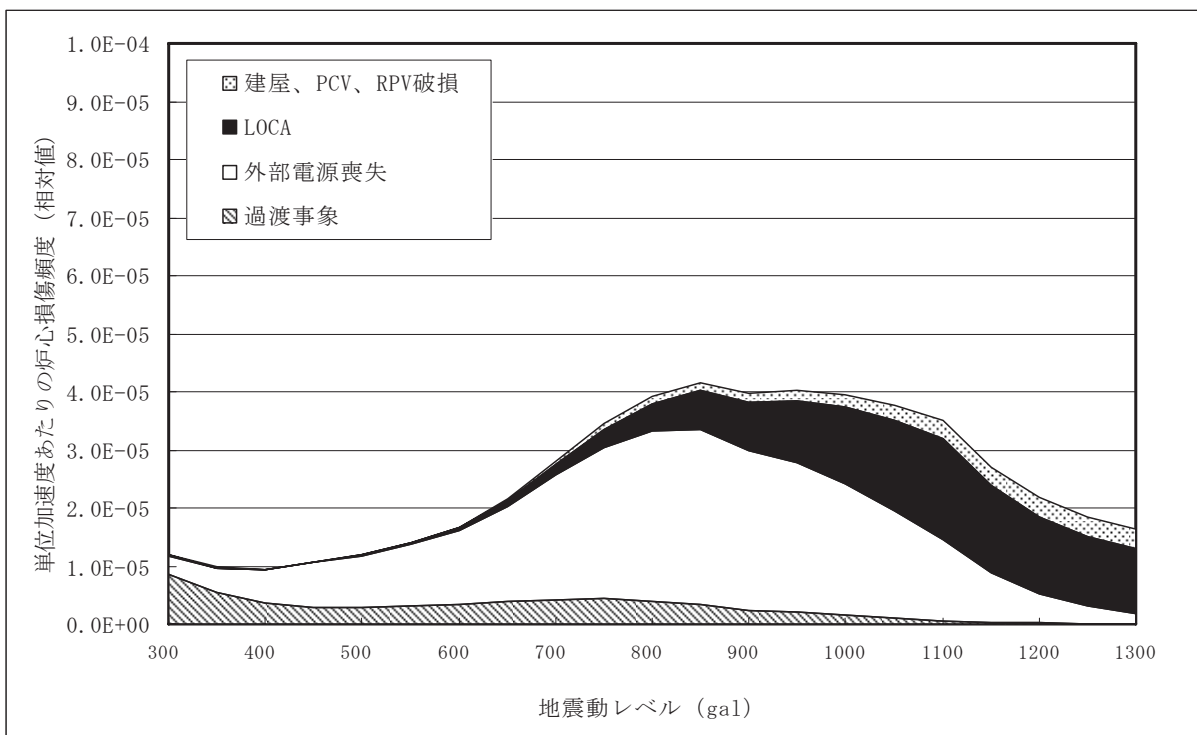


図 2.3 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）
（BWR4、サイト A、ベースケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

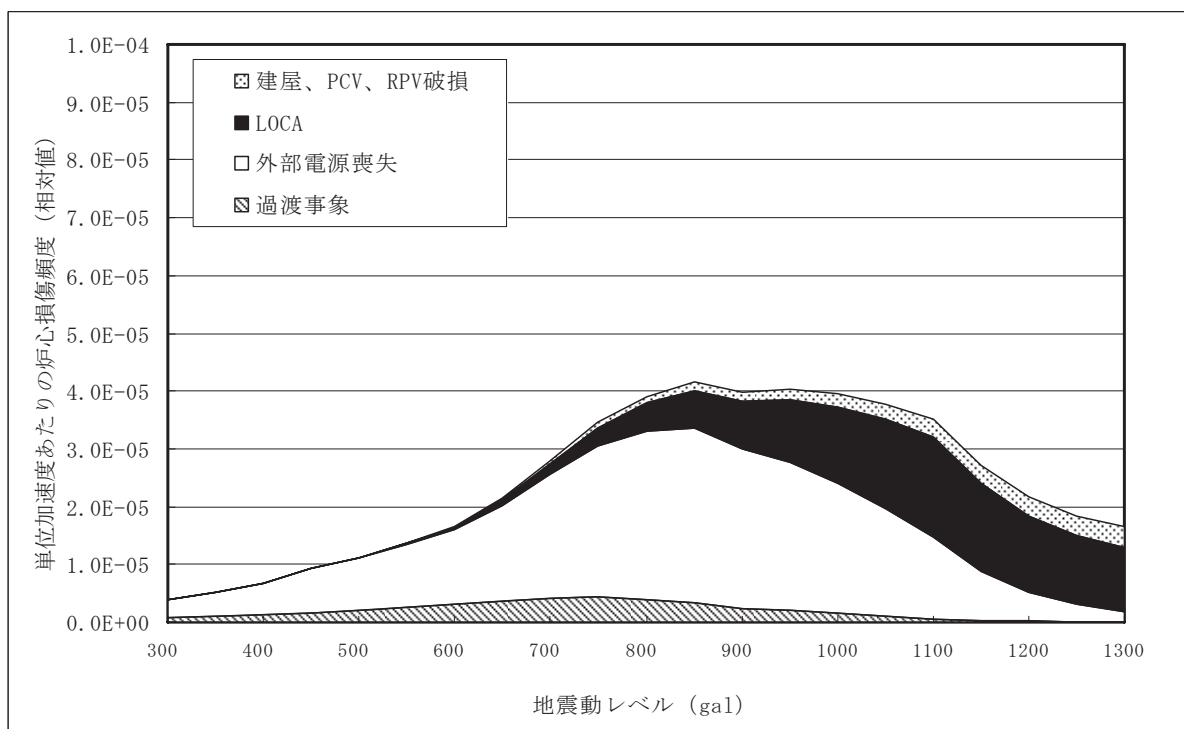


図 2.4 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、過渡事象 過渡事象の内的要因を削除したケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

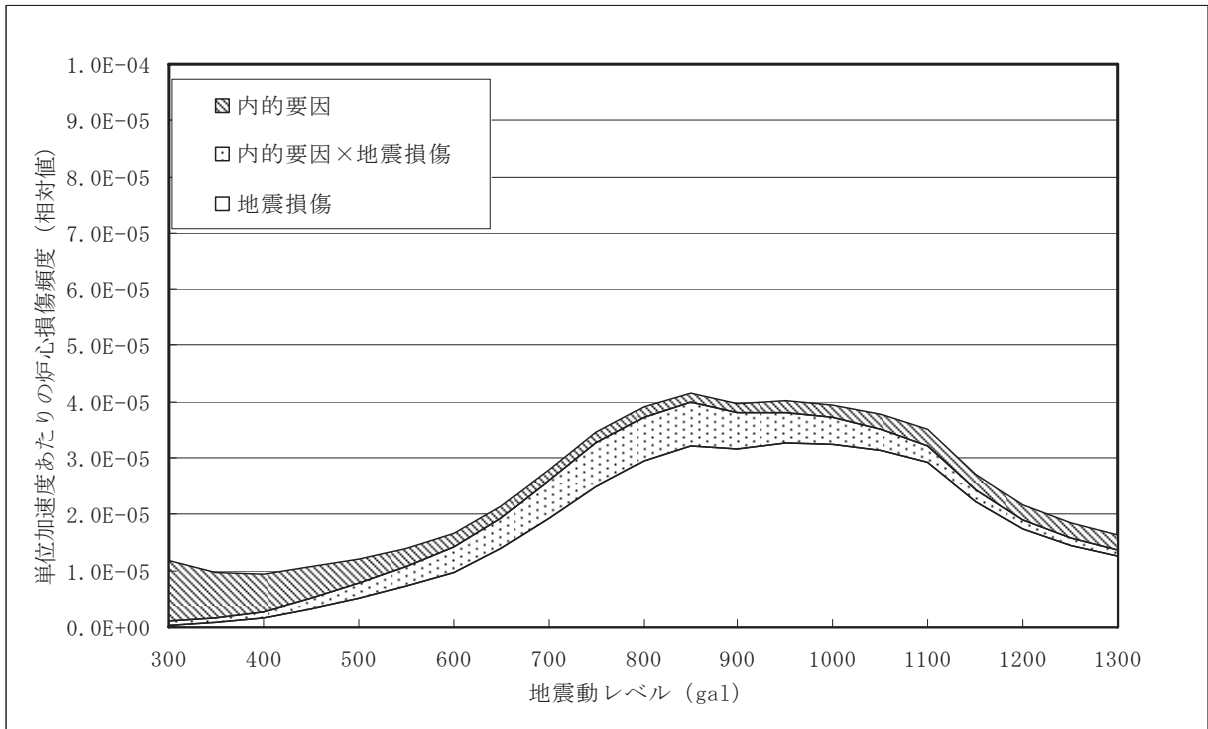


図 2.5 単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）（BWR4、サイト A、全要因）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

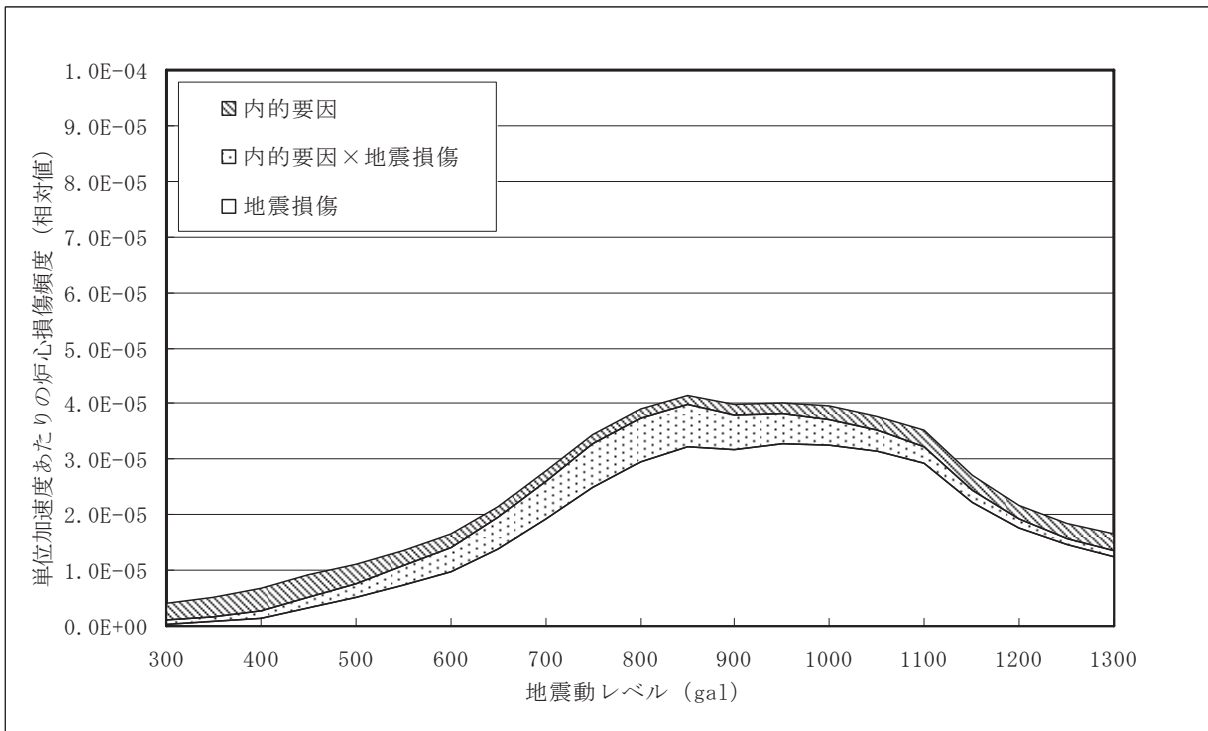


図 2.6 単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、過渡事象の内的要因を削除したケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

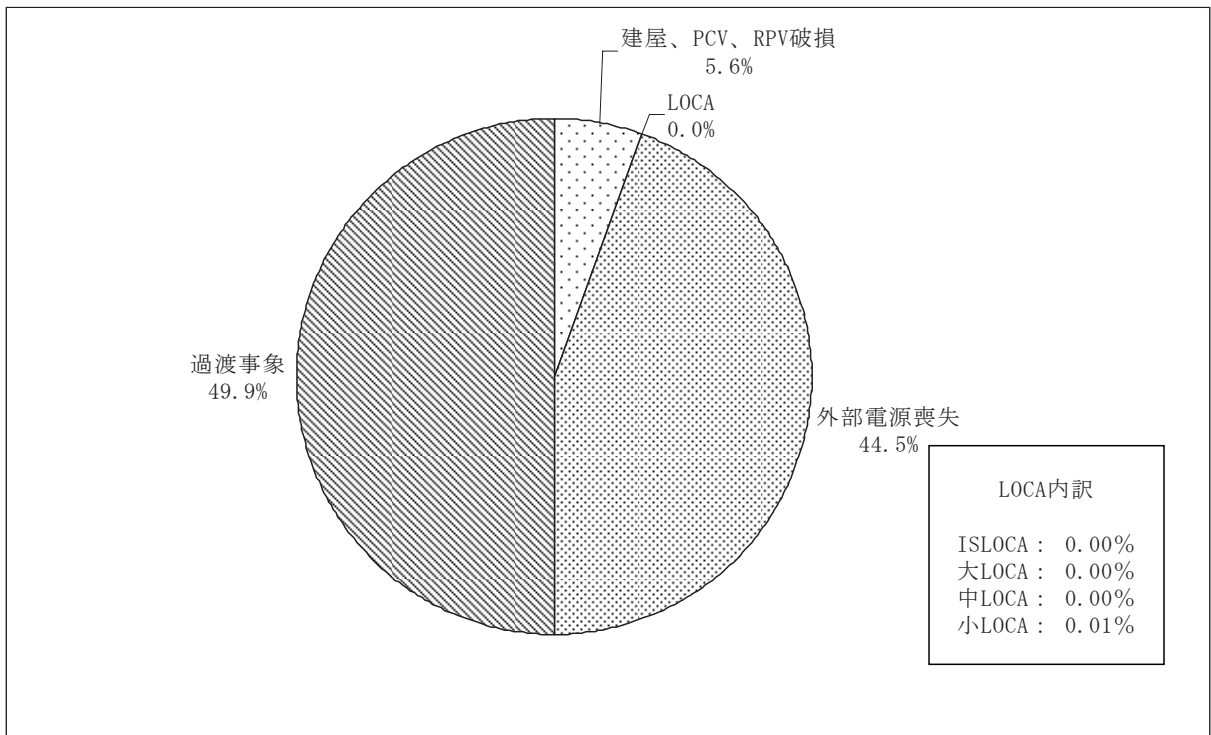


図 2.7 起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、ベースケース)

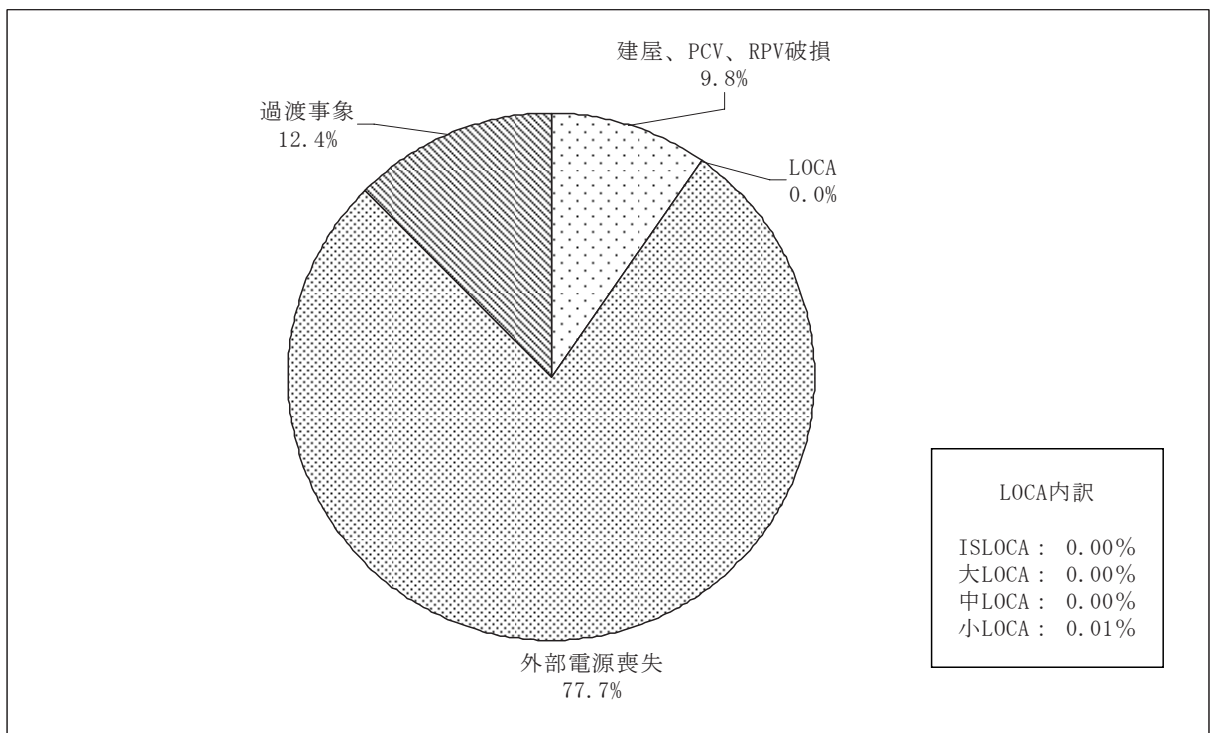


図 2.8 起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、過渡事象の内的要因を削除したケース)

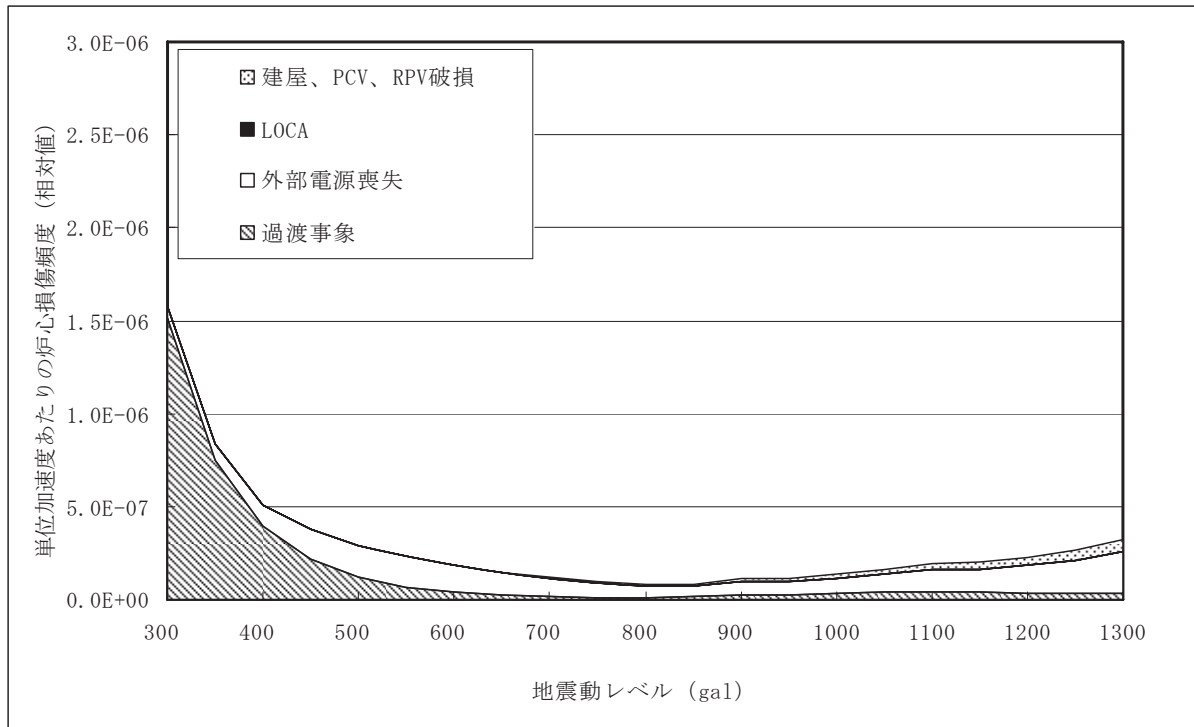


図 2.9 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR5、サイト B、ベースケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

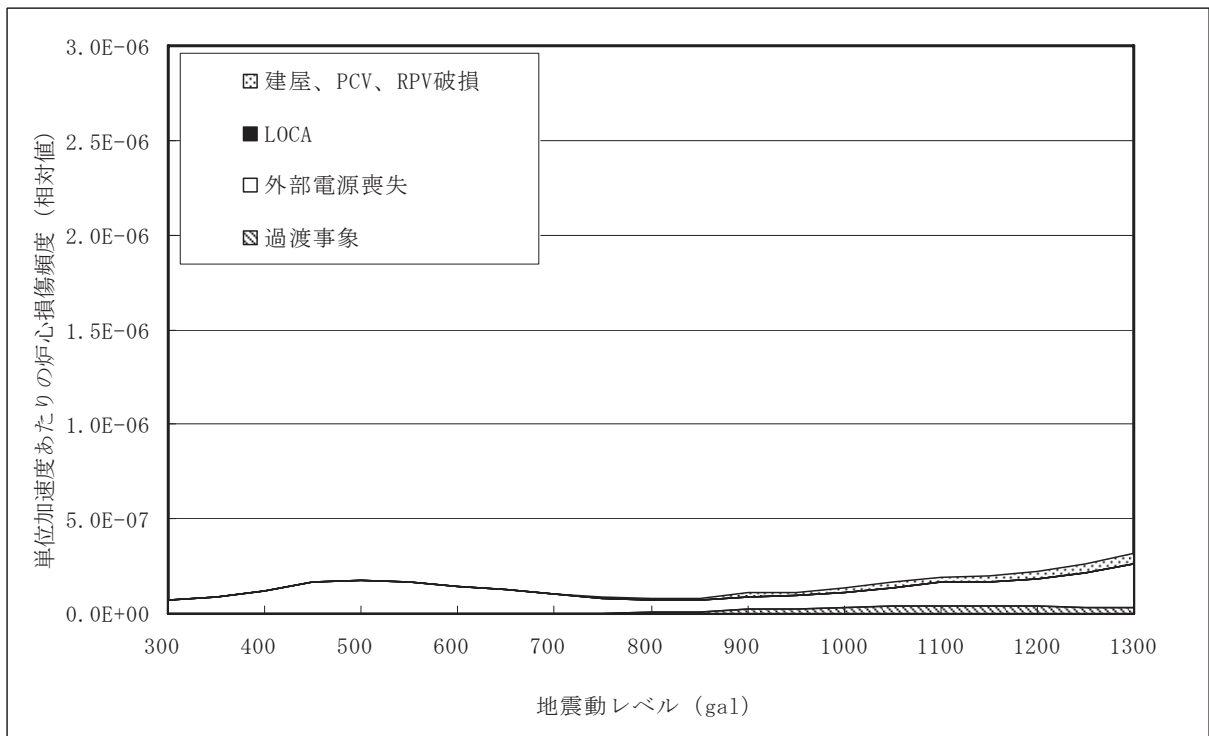


図 2.10 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR5、サイト B、過渡事象の内的要因を削除したケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

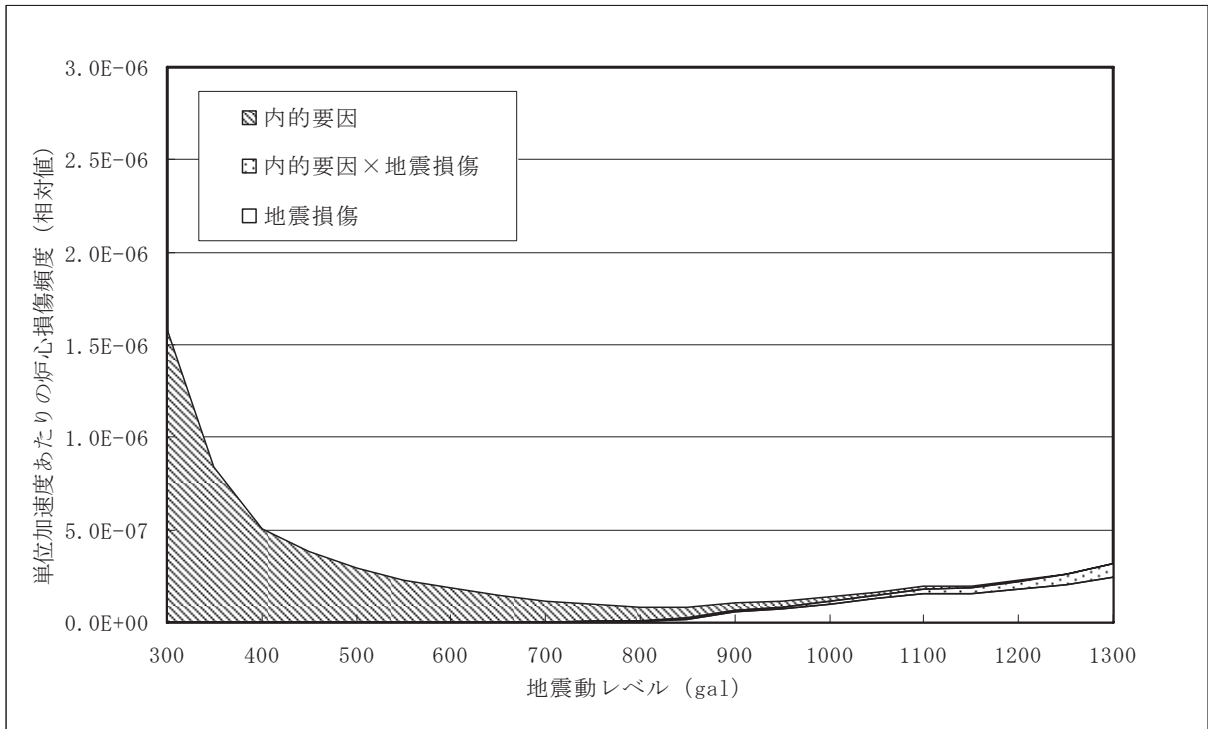


図 2.11 単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）（BWR5、サイト B、全要因）
 （注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

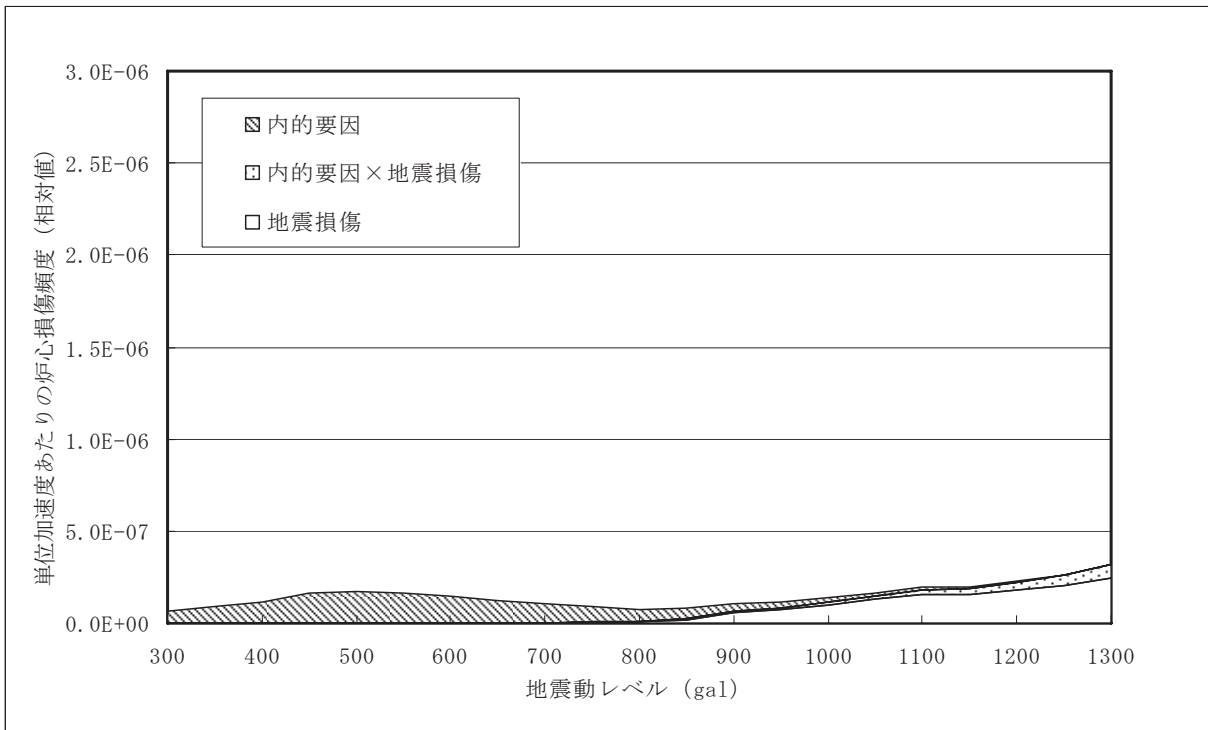


図 2.12 単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）
 （BWR5、サイト B、過渡事象の内的要因を削除したケース）
 （注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

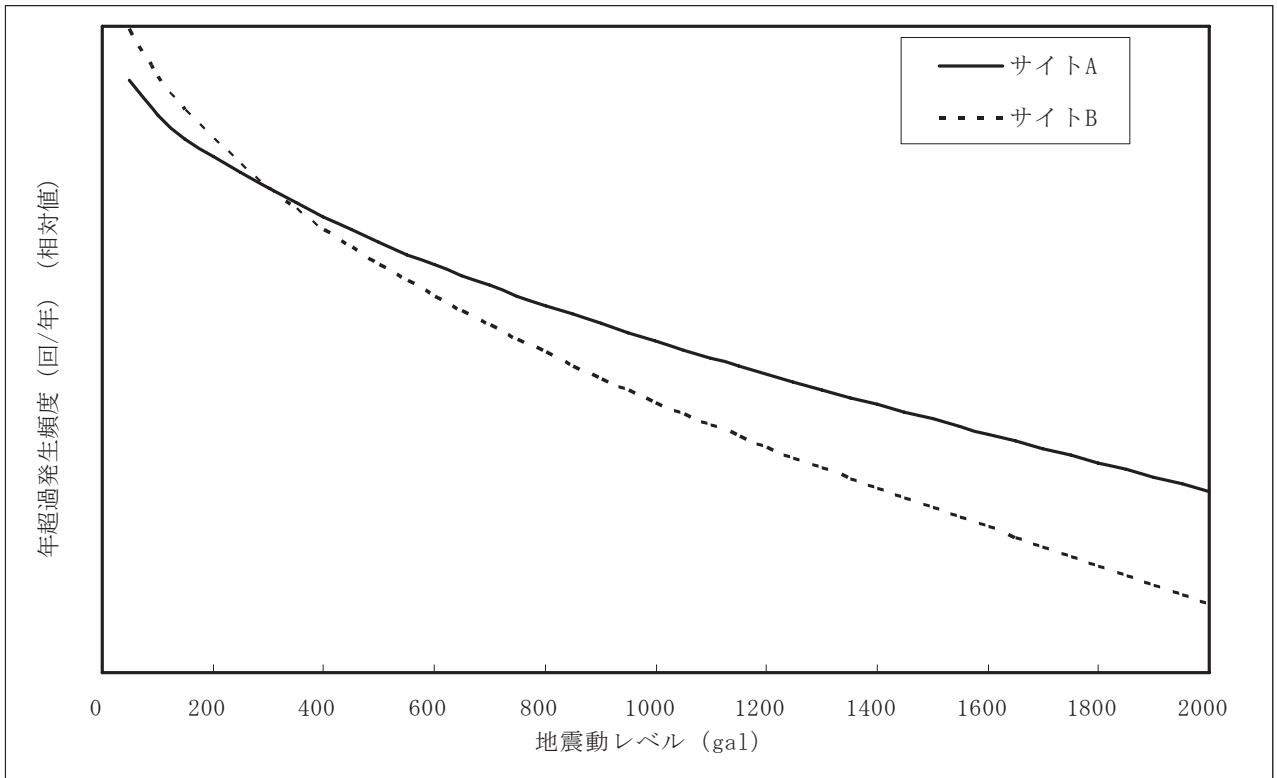


図 2.13 地震ハザード曲線 (サイト A 及びサイト B、2000gal まで領域拡張後)

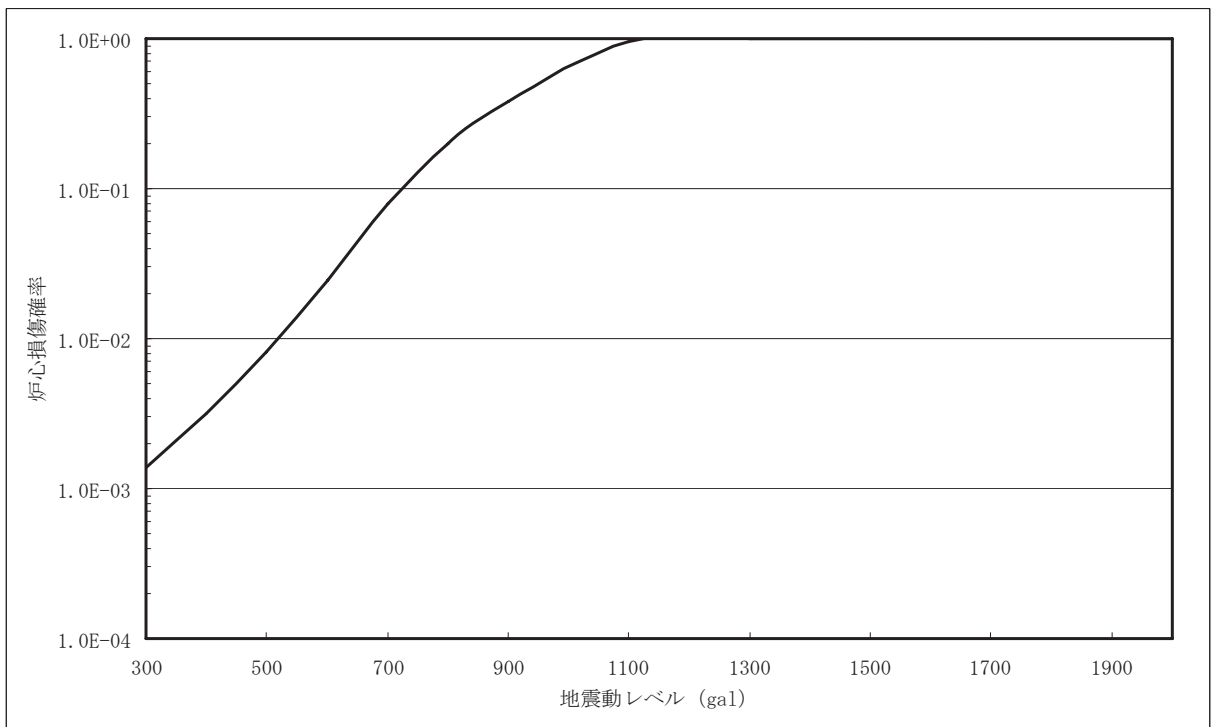


図 2.14 プラント損傷確率曲線 (BWR4、2000gal まで)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

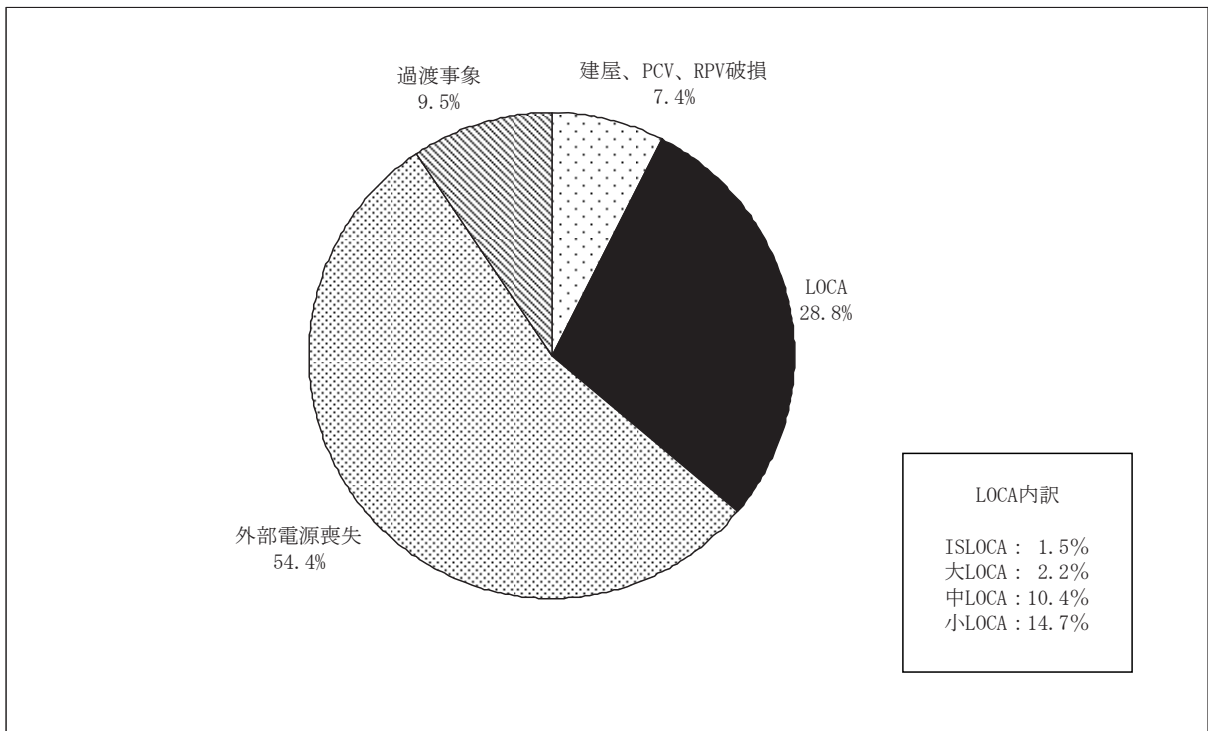


図 2.15 起因事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、1500gal まで、ベースケース)

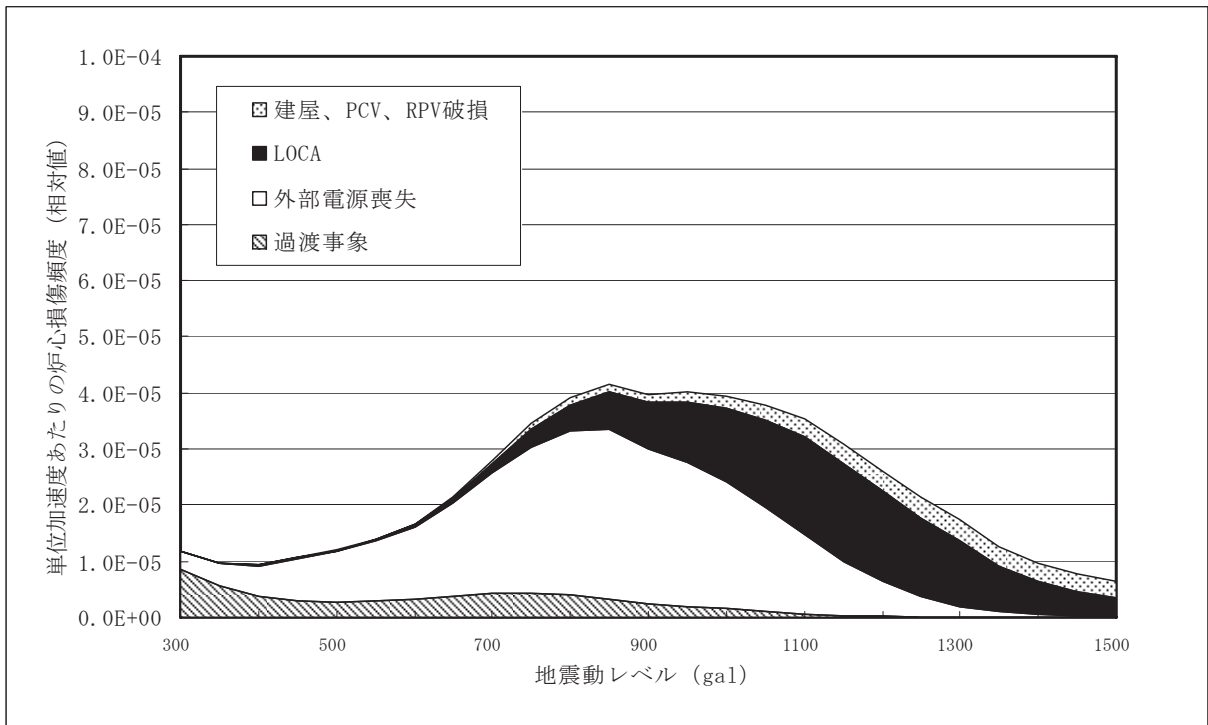


図 2.16 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR4、サイト A、1500gal まで、ベースケース)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

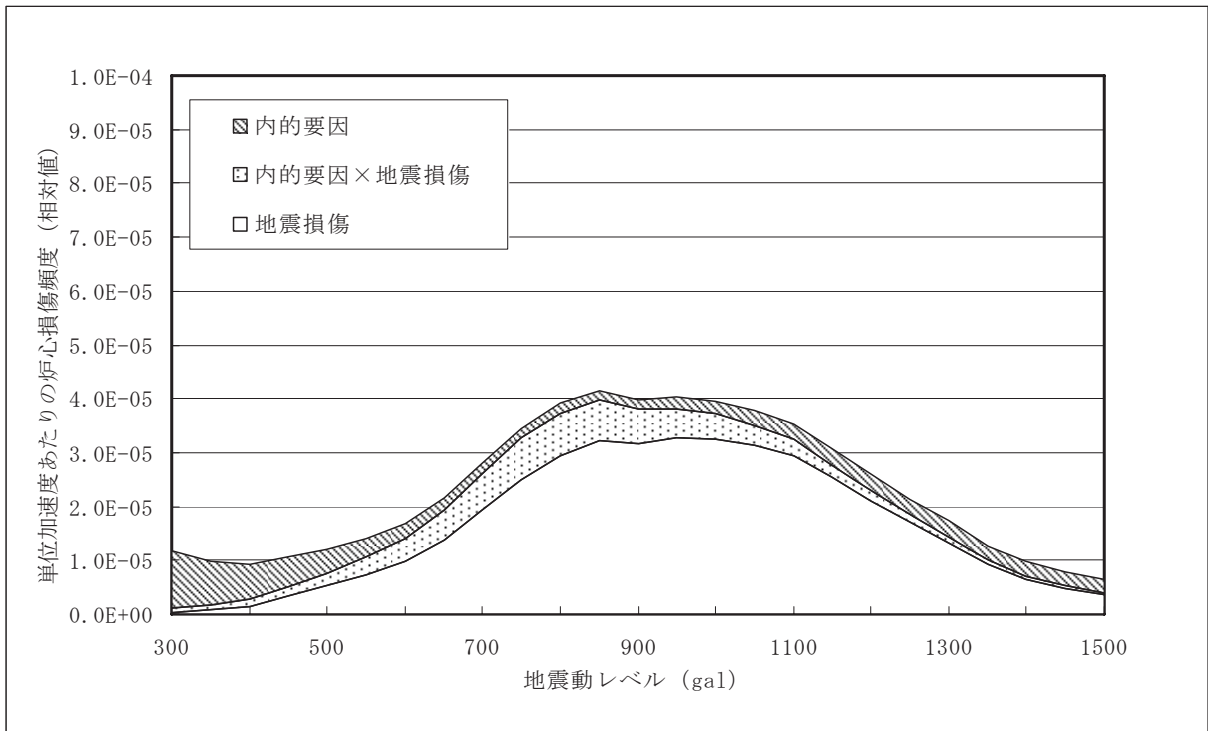


図 2.17 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、1500gal まで、ベースケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

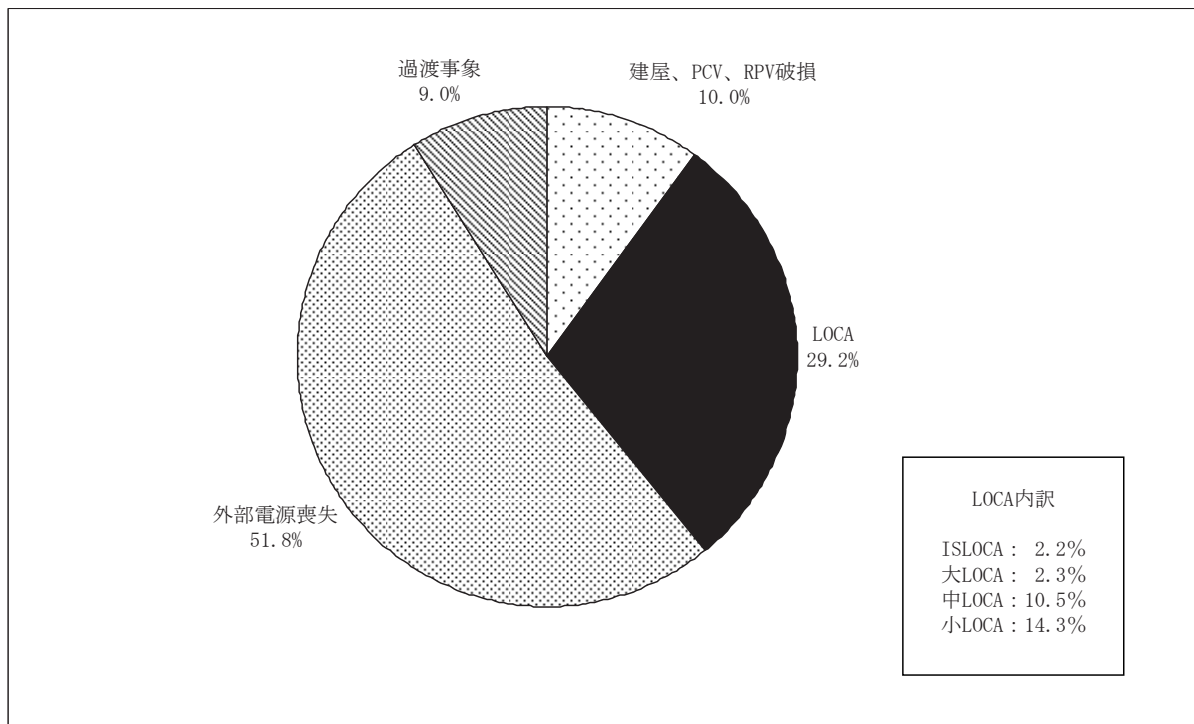


図 2.18 起因事象別寄与割合（BWR4、サイト A、2000gal まで、ベースケース）

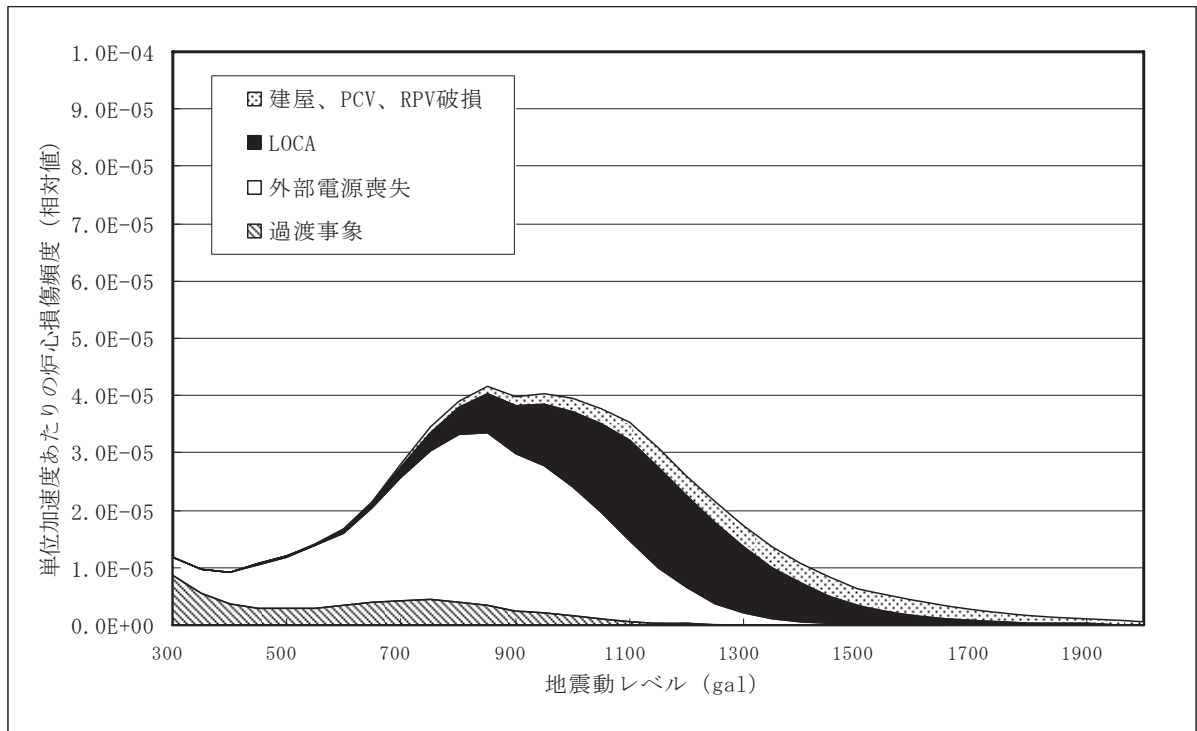


図 2.19 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、2000gal まで、ベースケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

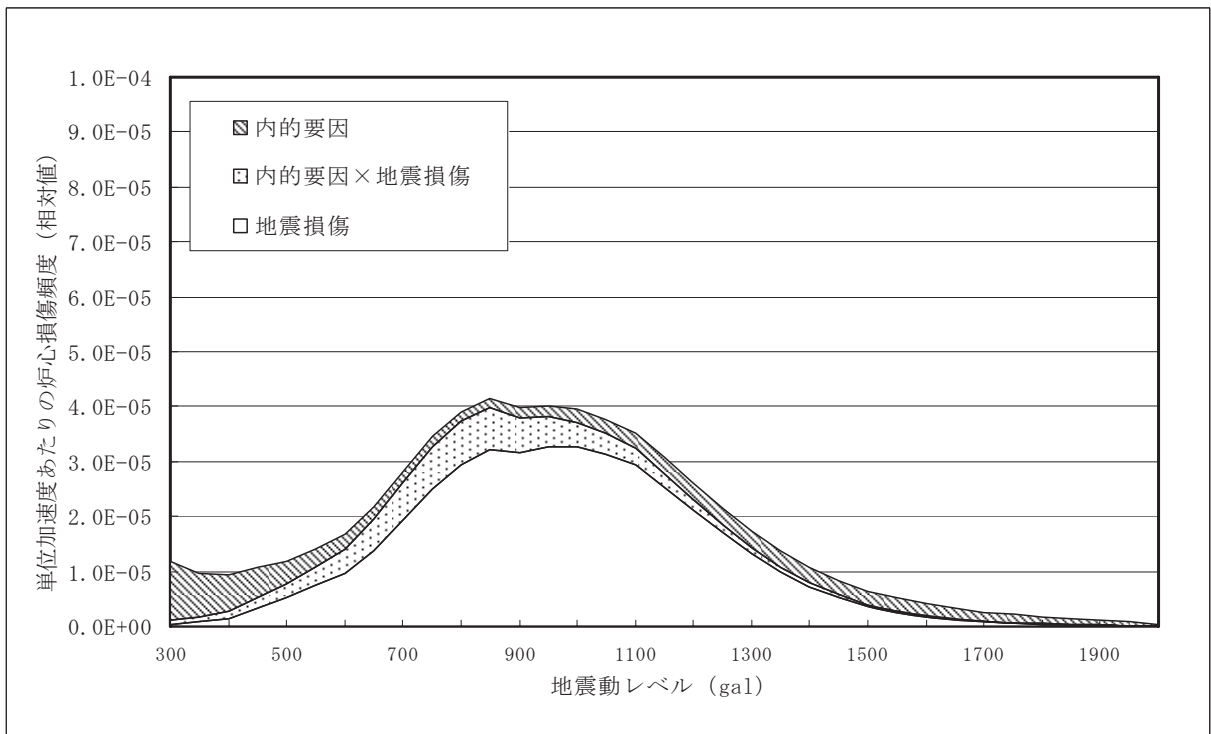


図 2.20 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、2000gal まで、ベースケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

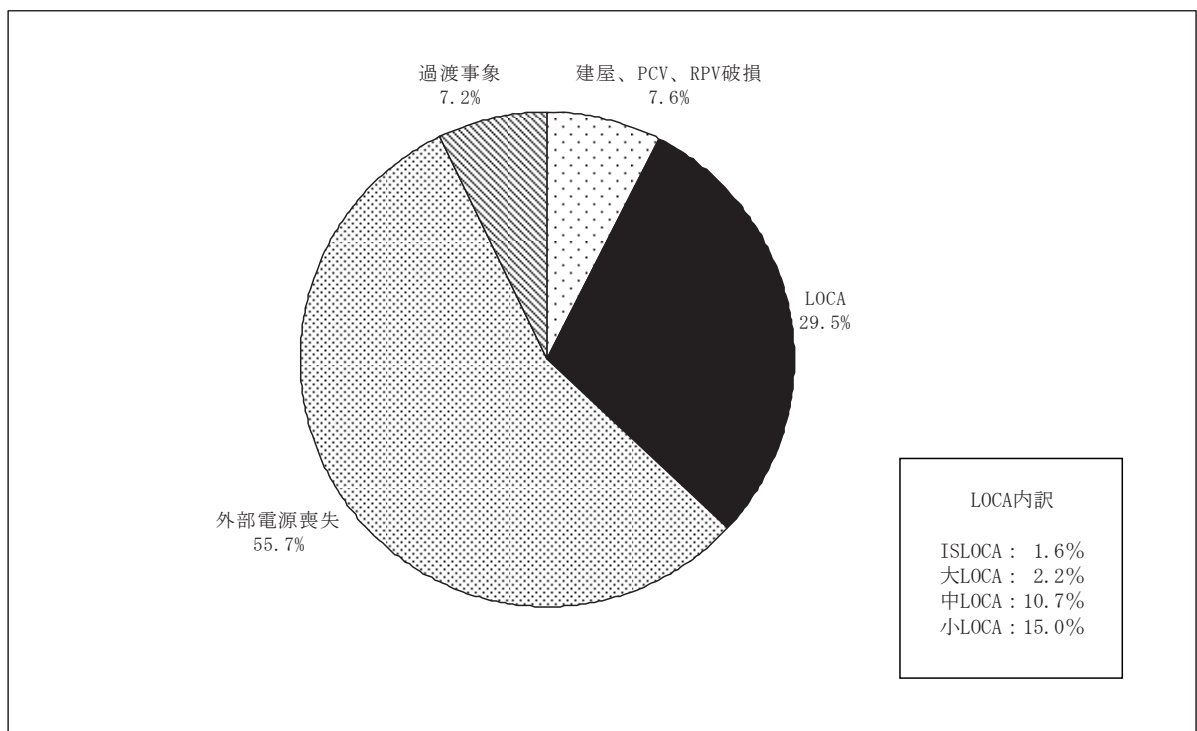


図 2.21 起因事象別寄与割合 (BWR4、サイト A、1500gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)

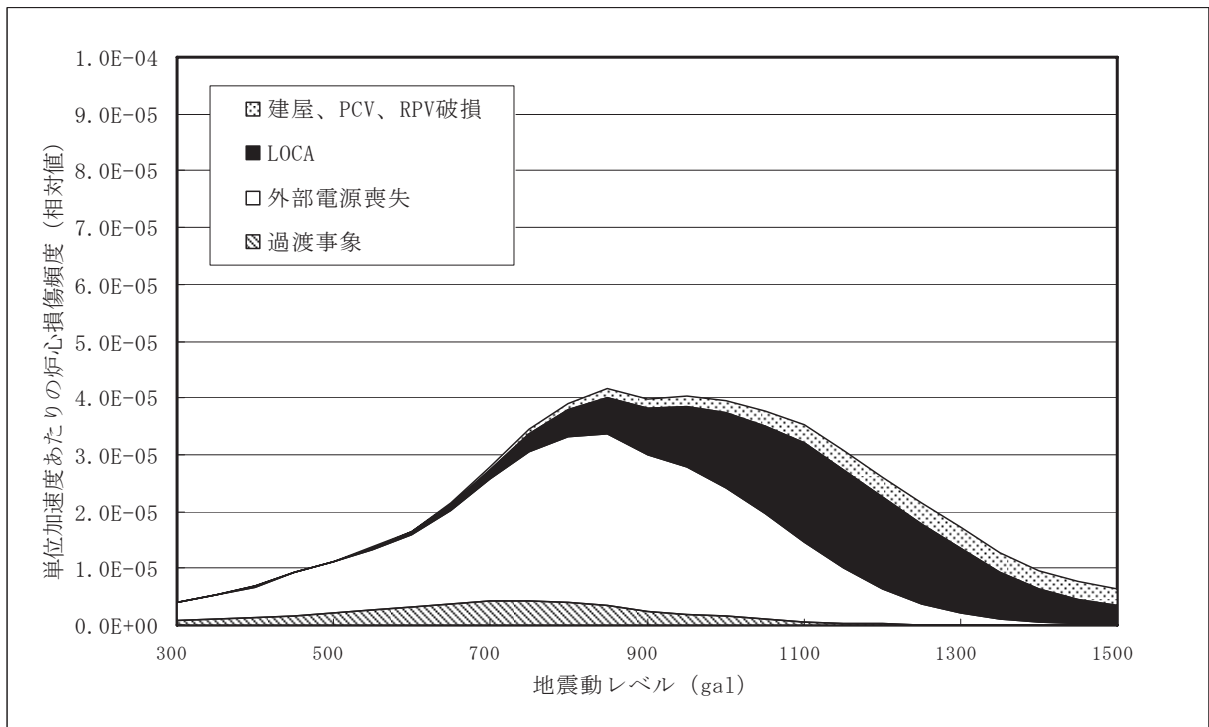


図 2.22 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR4、サイト A、1500gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

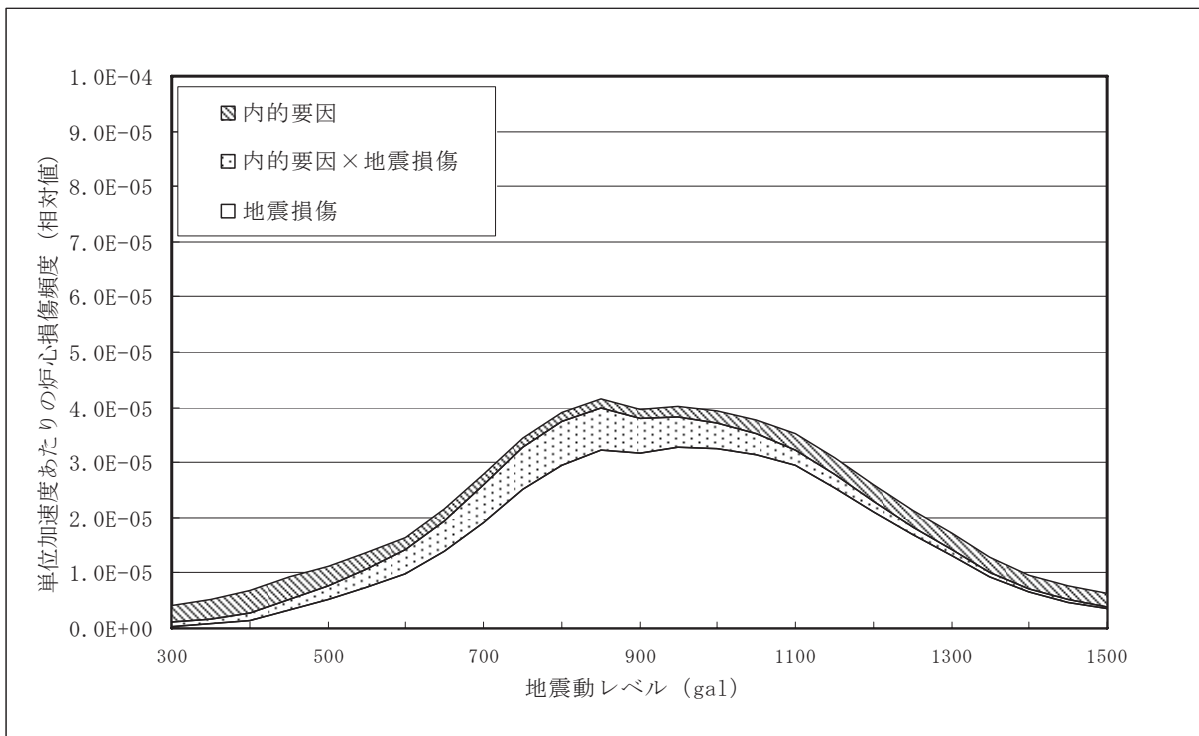


図 2.23 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）
 (BWR4、サイト A、1500gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)
 (注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

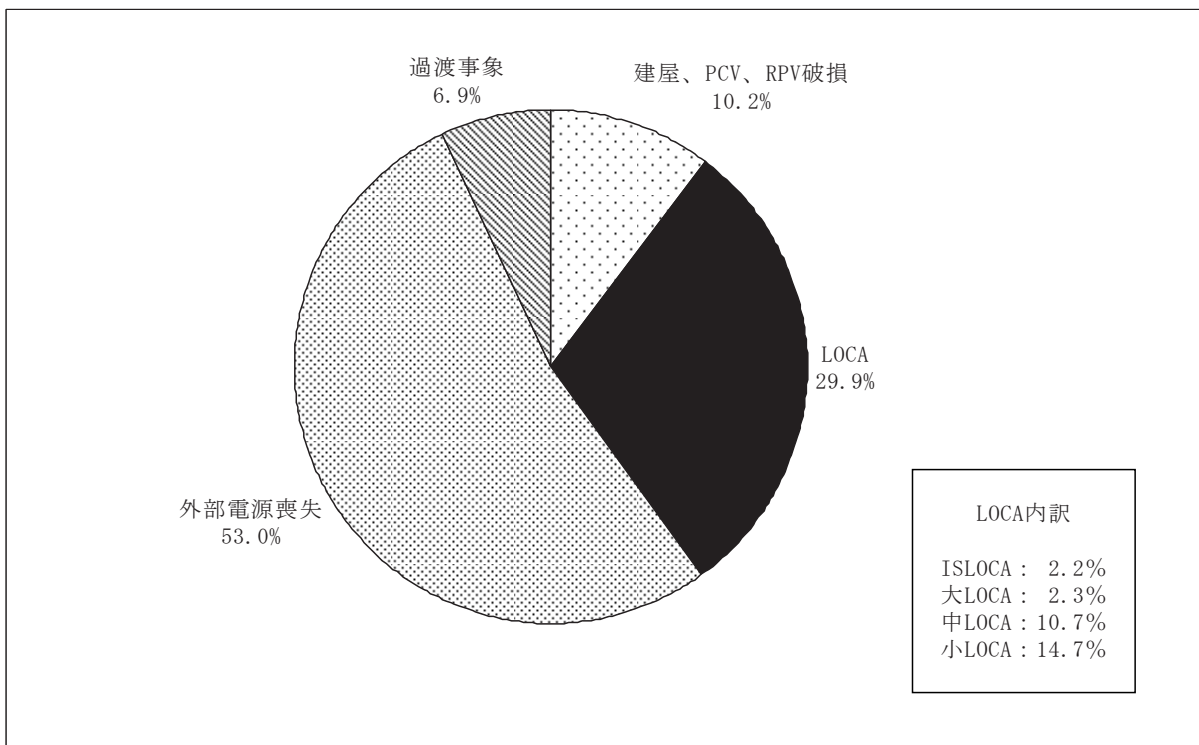


図 2.24 起因事象別寄与割合
 (BWR4、サイト A、2000gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)

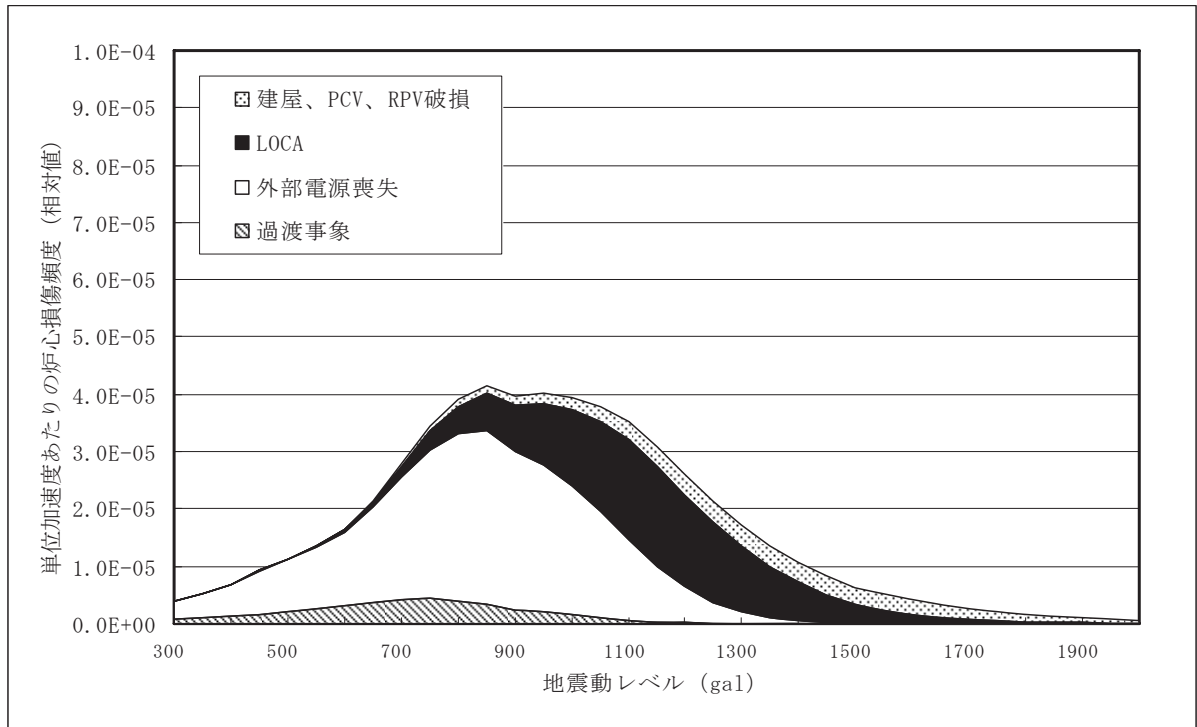


図 2.25 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）
 (BWR4、サイト A、2000gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)
 (注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

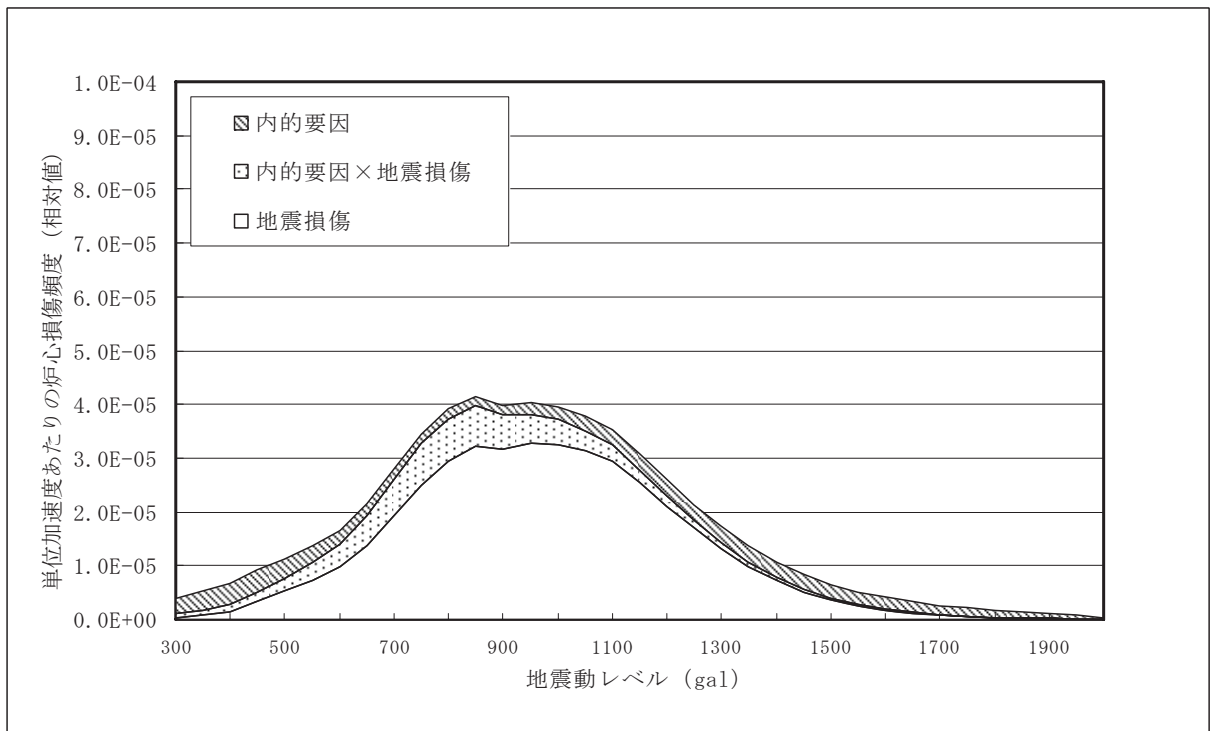


図 2.26 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）
 (BWR4、サイト A、2000gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)
 (注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

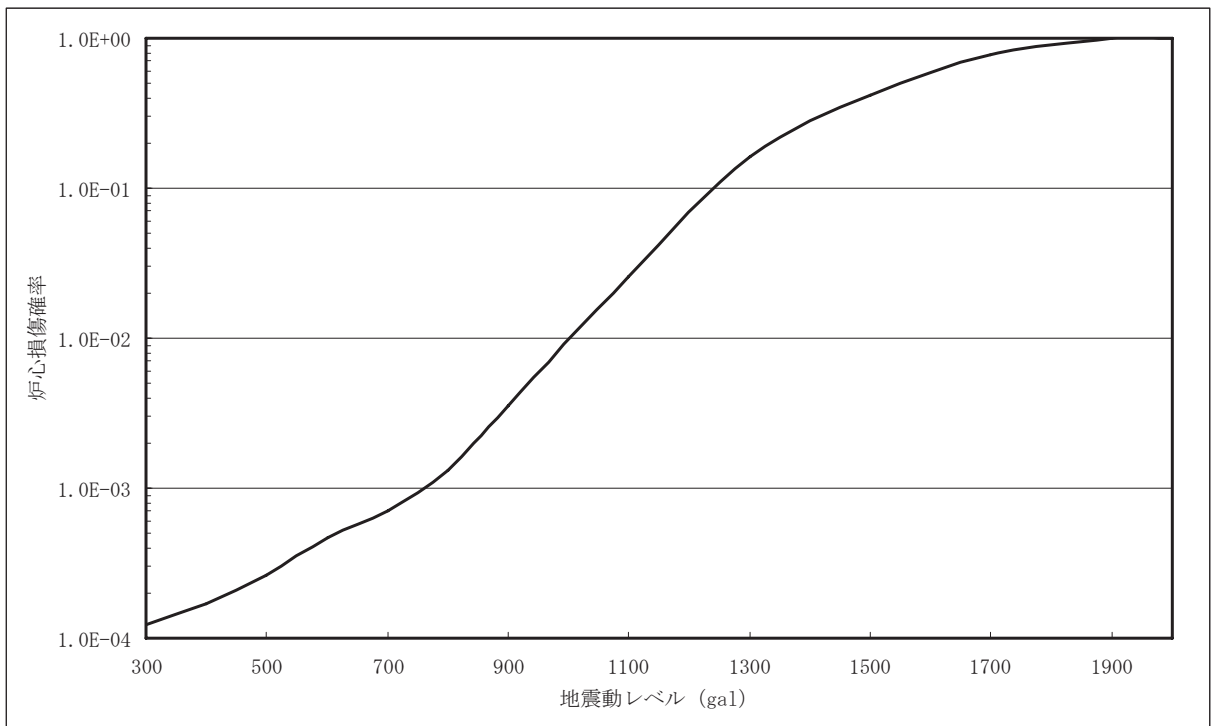


図 2.27 プラント損傷確率曲線 (BWR5、2000gal まで)

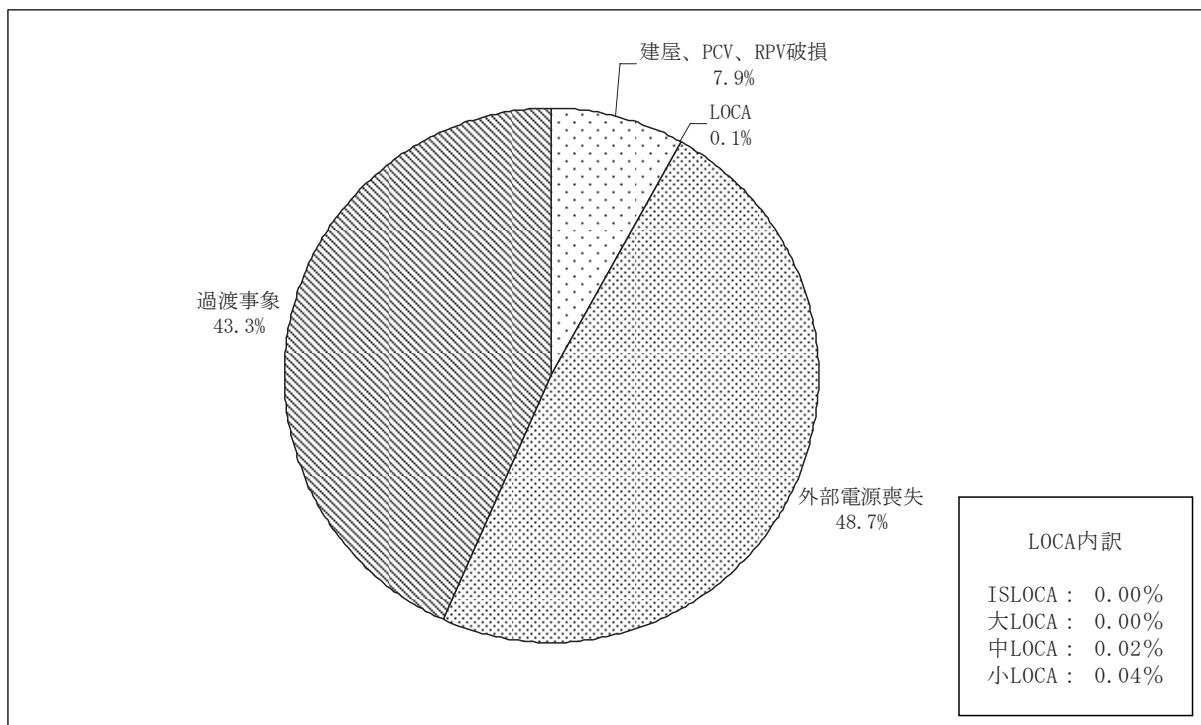


図 2.28 起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、1500gal まで、ベースケース)

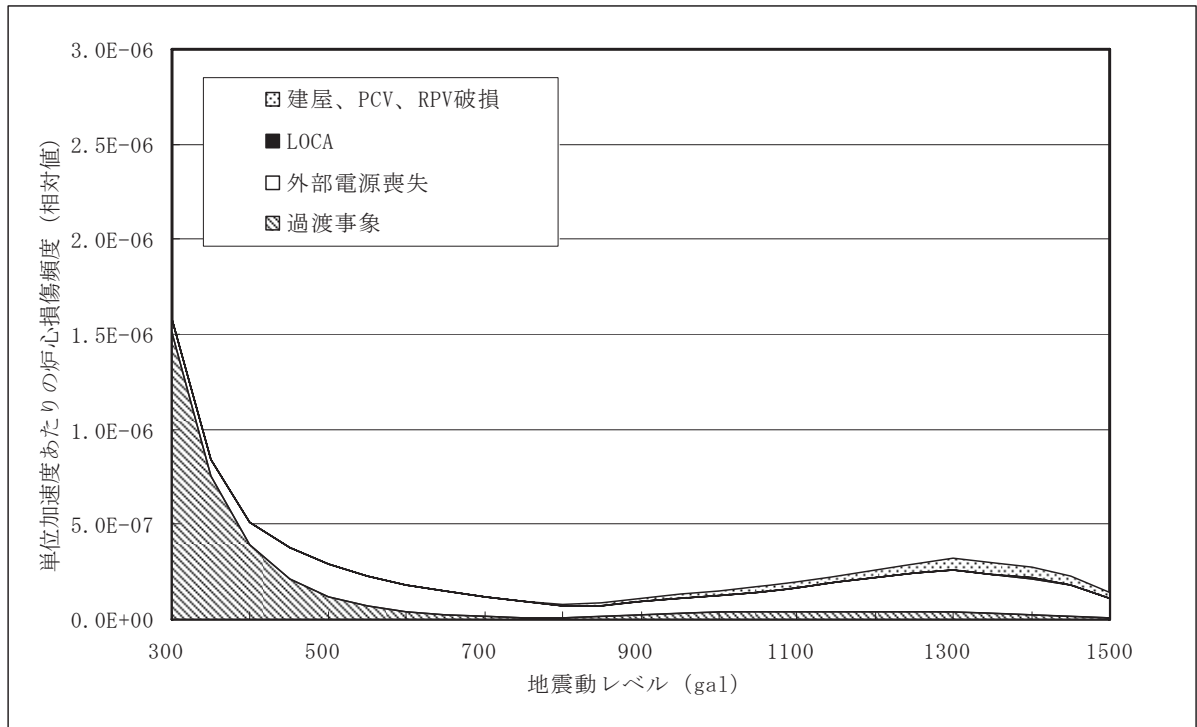


図 2.29 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR5、サイト B、1500gal まで、ベースケース)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

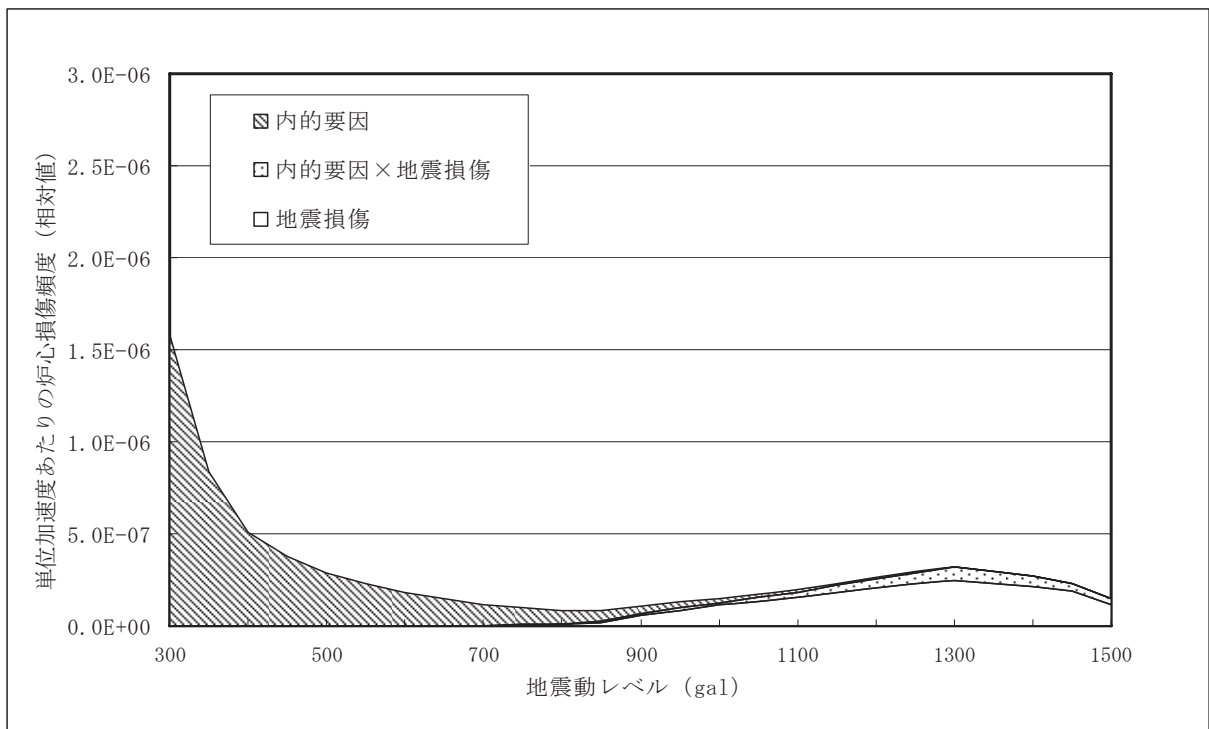


図 2.30 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR5、サイト B、1500gal まで、ベースケース)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

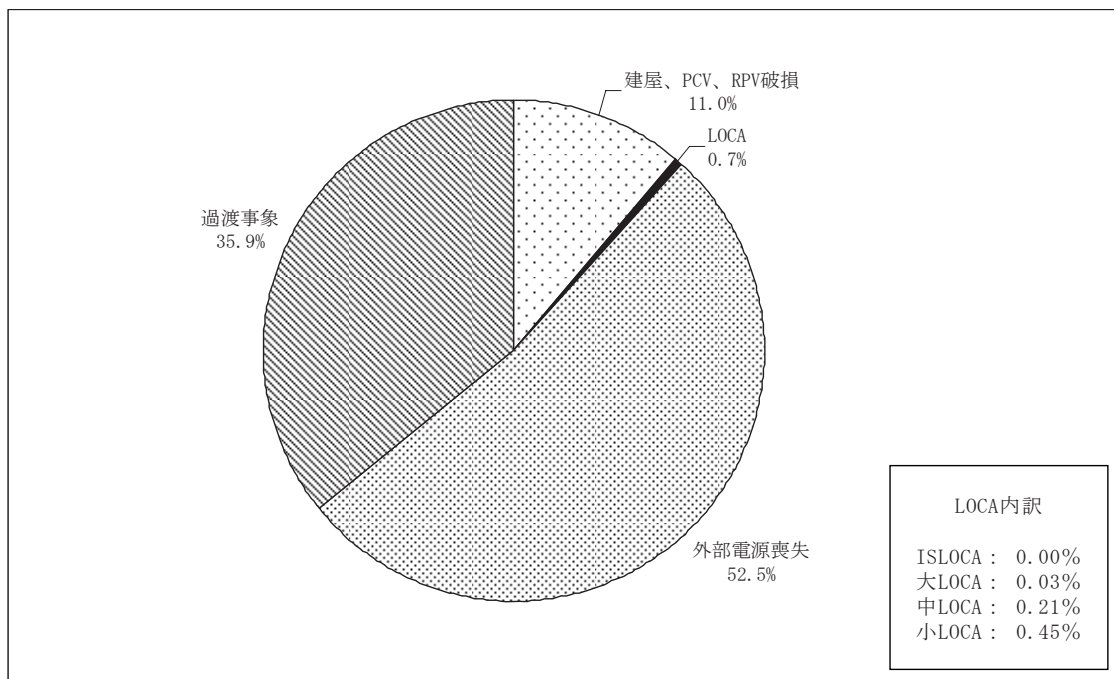


図 2.31 起因事象別寄与割合 (BWR5、サイト B、2000gal まで、ベースケース)

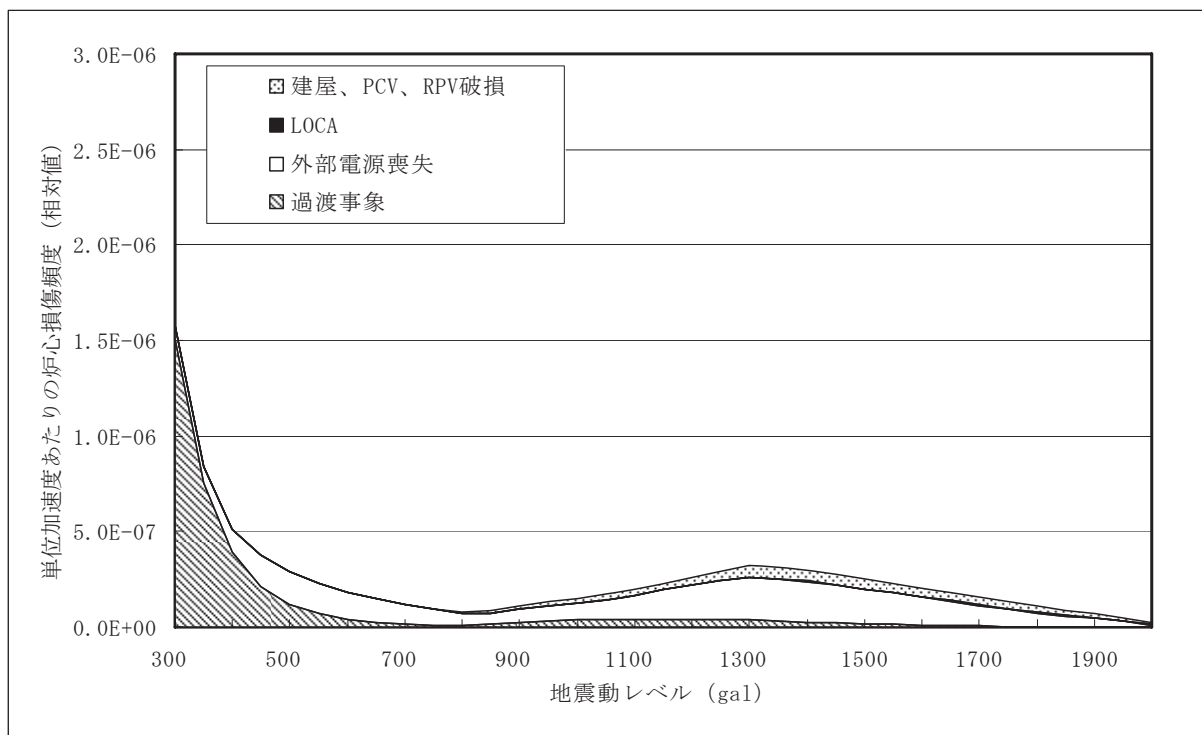


図 2.32 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR5、サイト B、2000gal まで、ベースケース)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

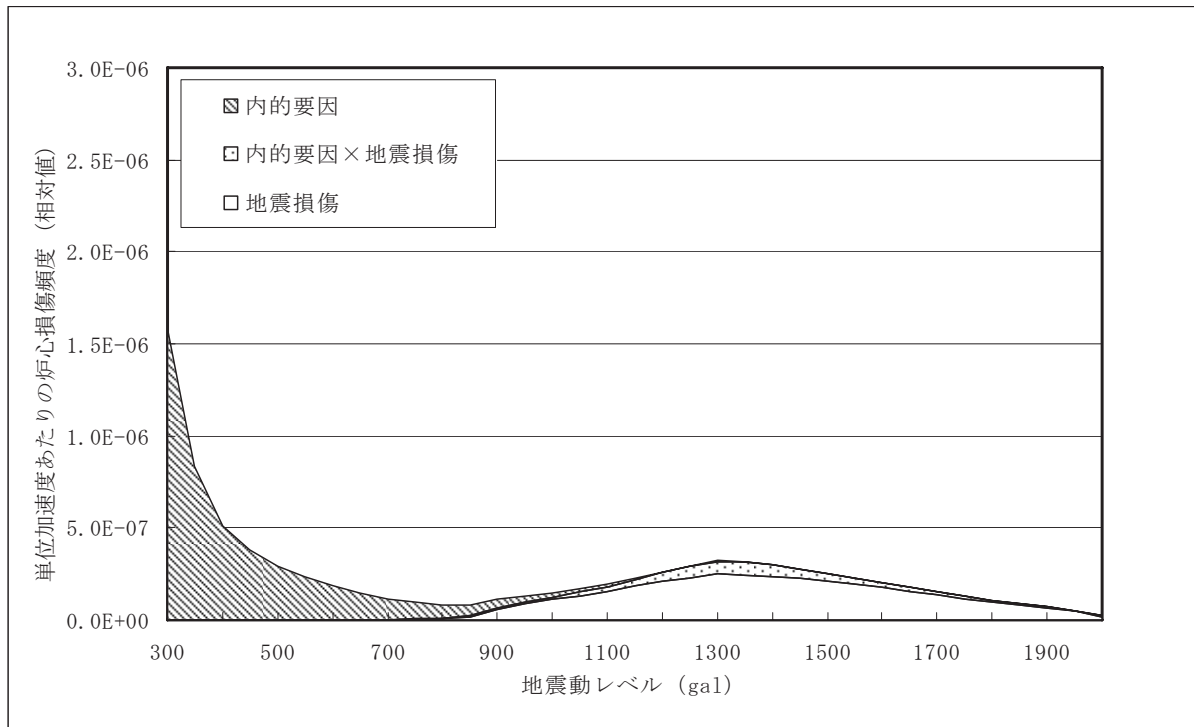


図 2.33 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR5、サイト B、2000gal まで、ベースケース）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

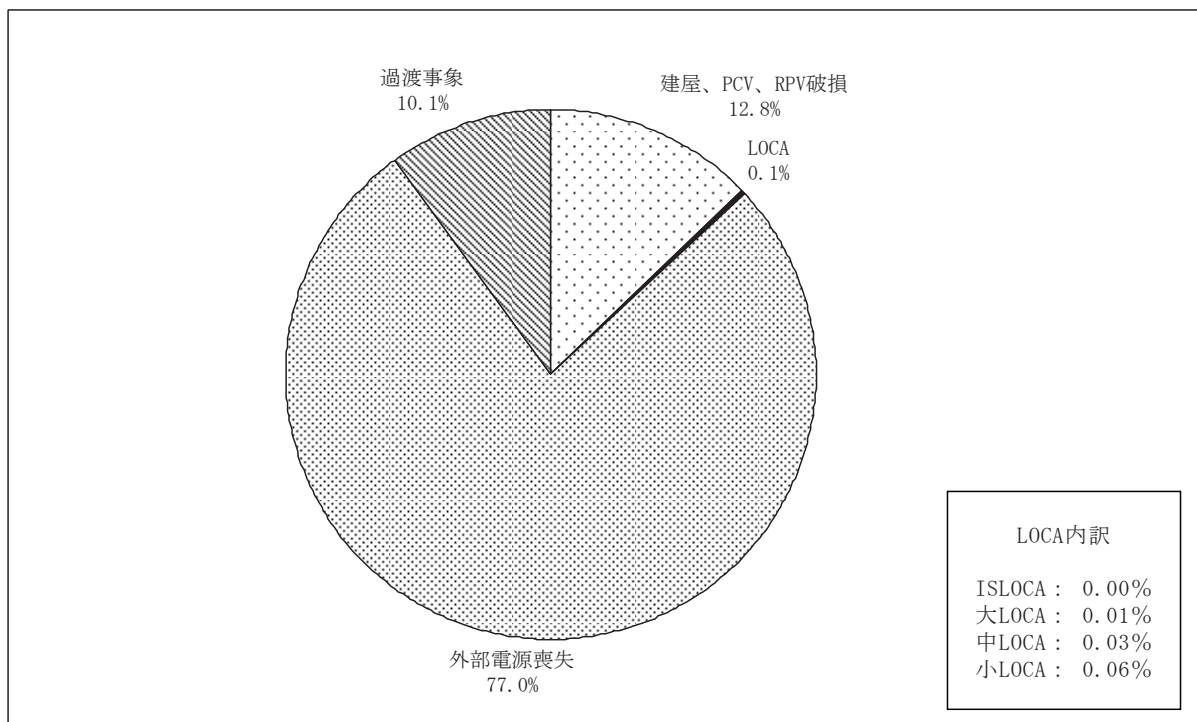


図 2.34 起因事象別寄与割合

（BWR5、サイト B、1500gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース）

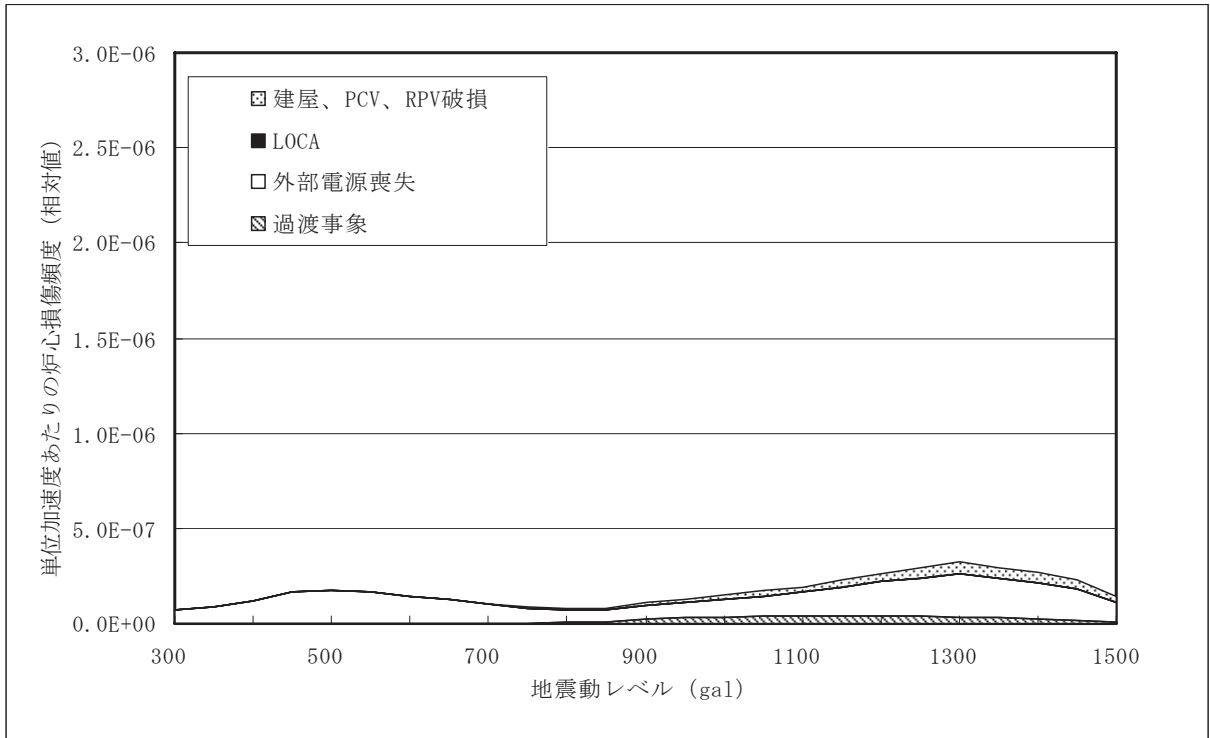


図 2.35 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
 (BWR5、サイト B、1500gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)
 (注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

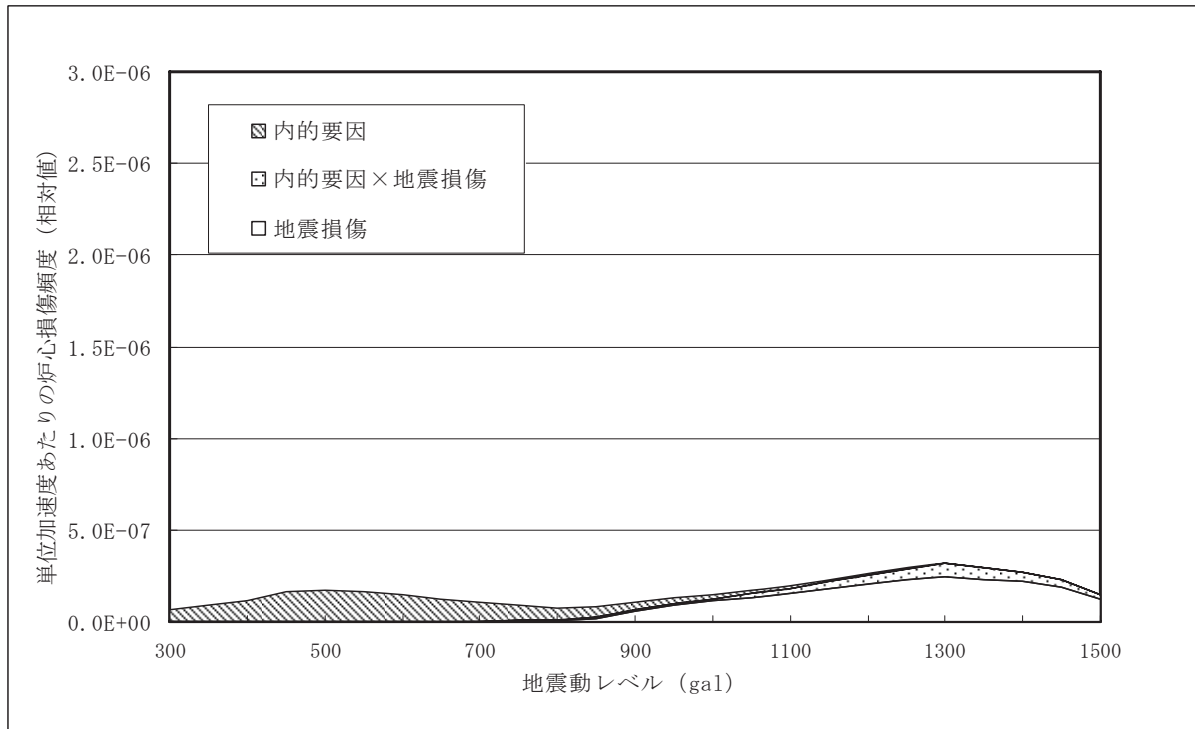


図 2.36 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
 (BWR5、サイト B、1500gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)
 (注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

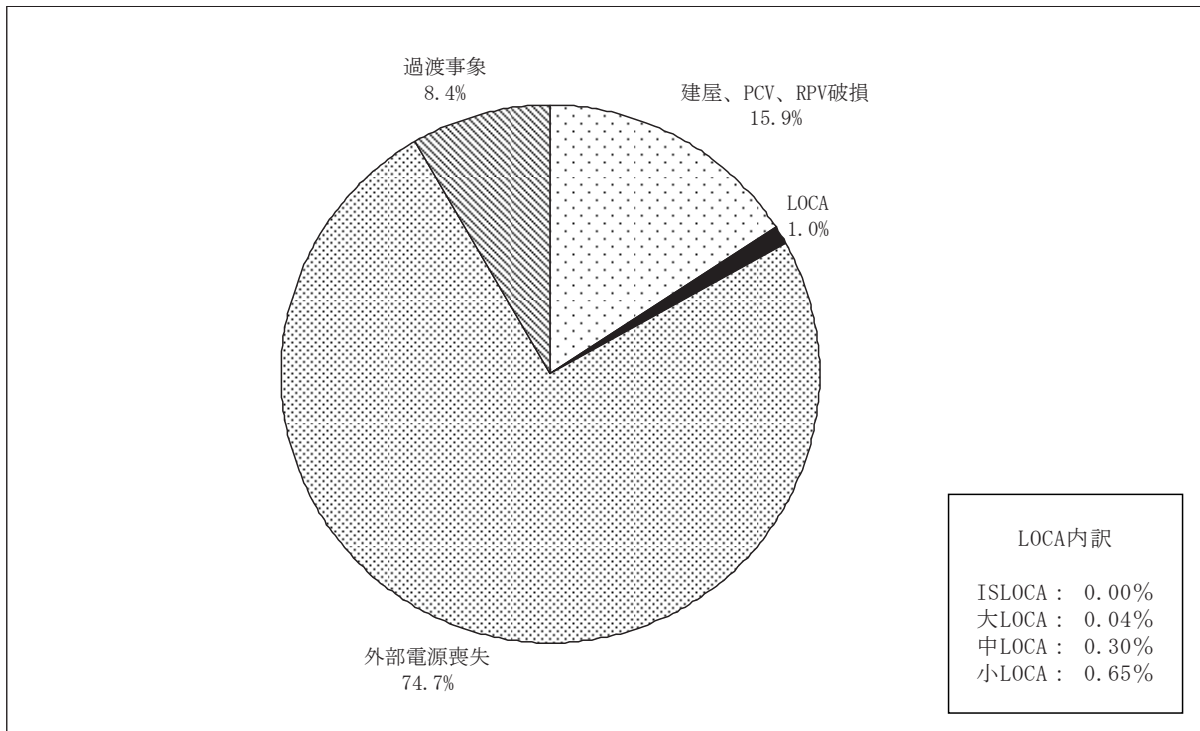


図 2.37 起因事象別寄与割合
(BWR5、サイト B、2000gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)

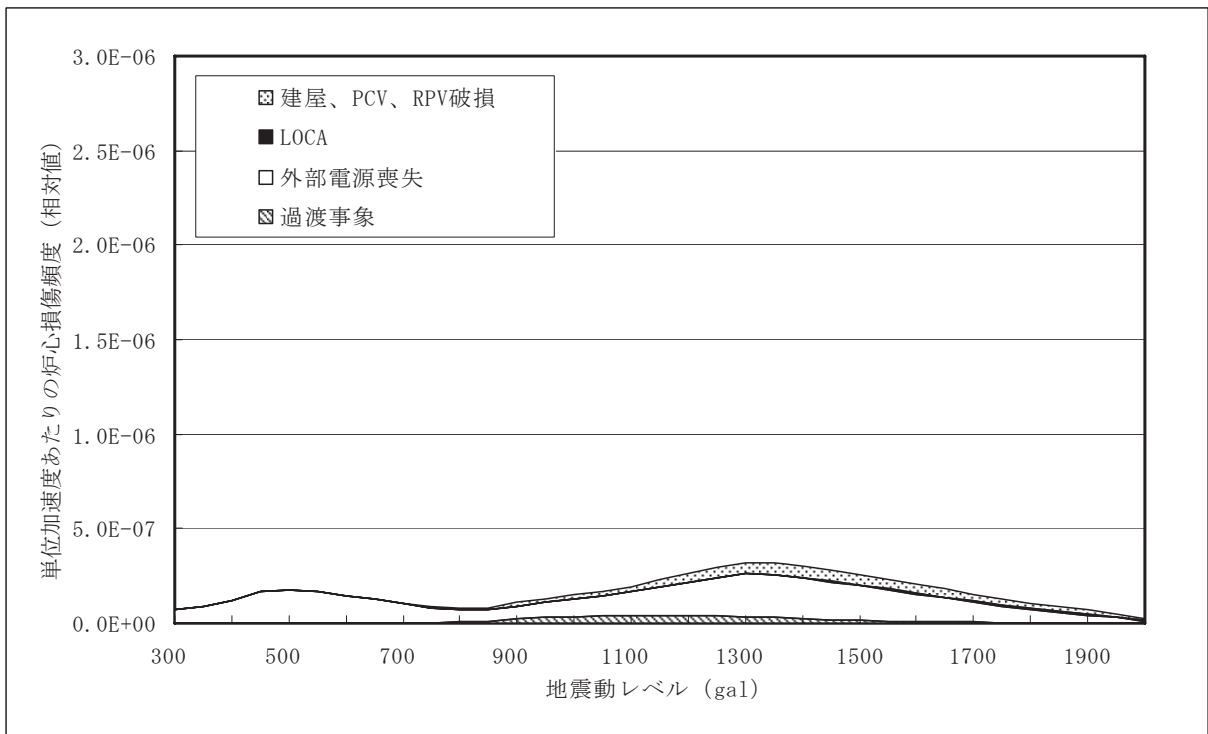


図 2.38 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR5、サイト B、2000gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

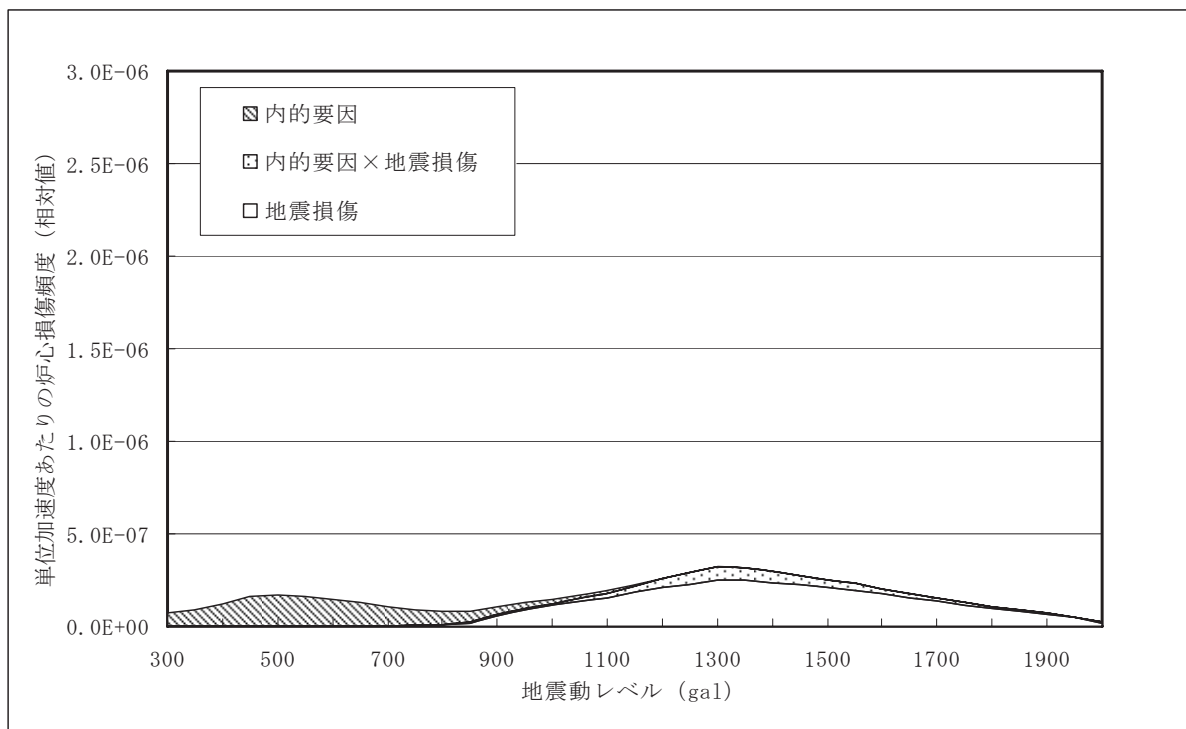


図 2.39 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）
 （BWR5、サイト B、2000gal まで、過渡事象 内的要因削除ケース）
 （注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

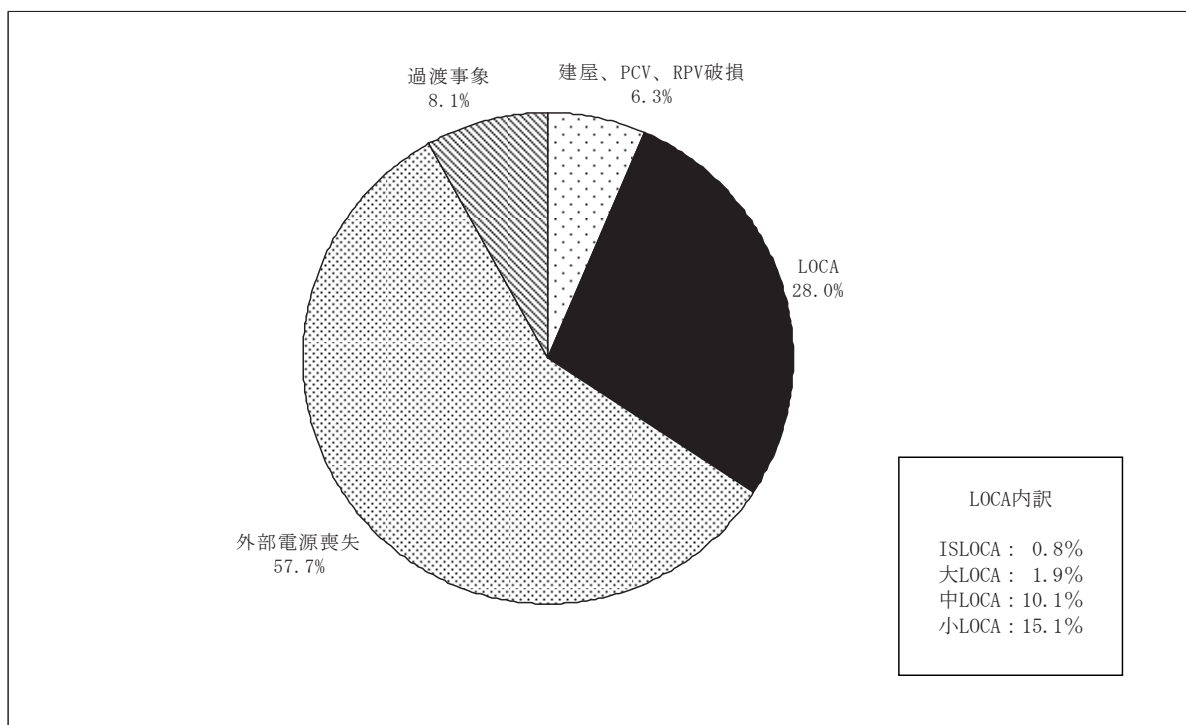


図 2.40 起因事象別寄与割合
 （BWR4、サイト A、国内故障率、1300gal まで）

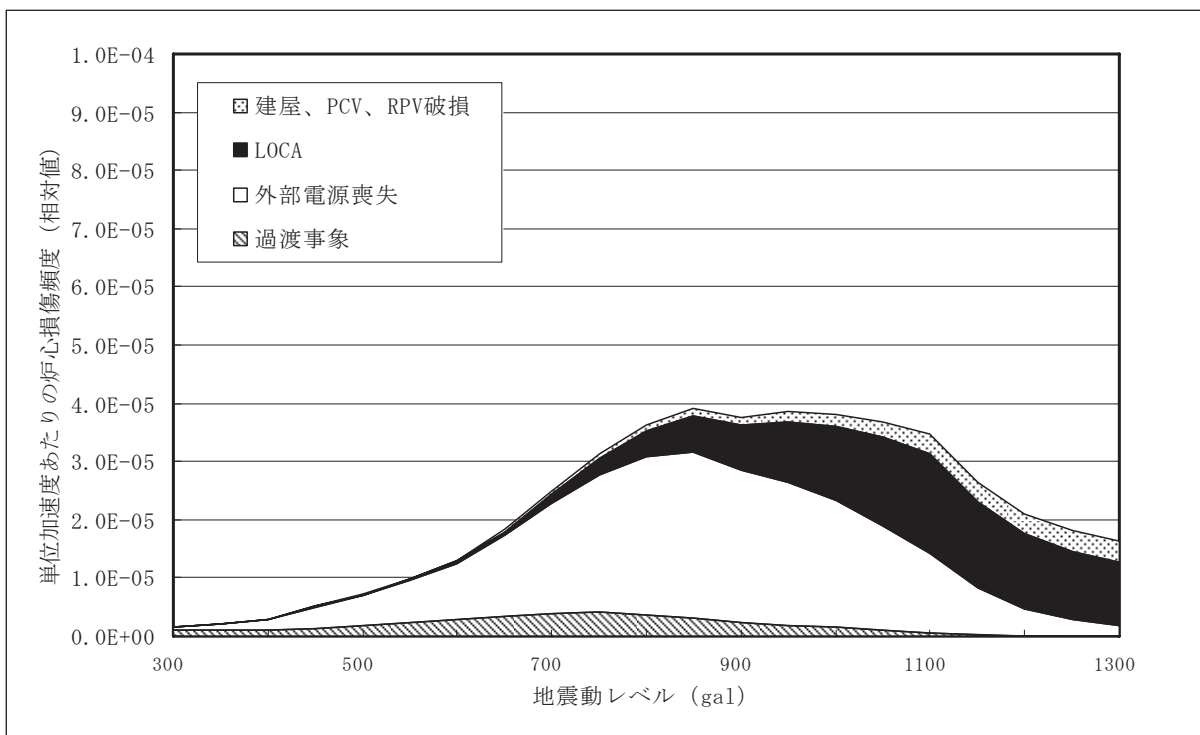


図 2.41 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、国内故障率、1300gal まで）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

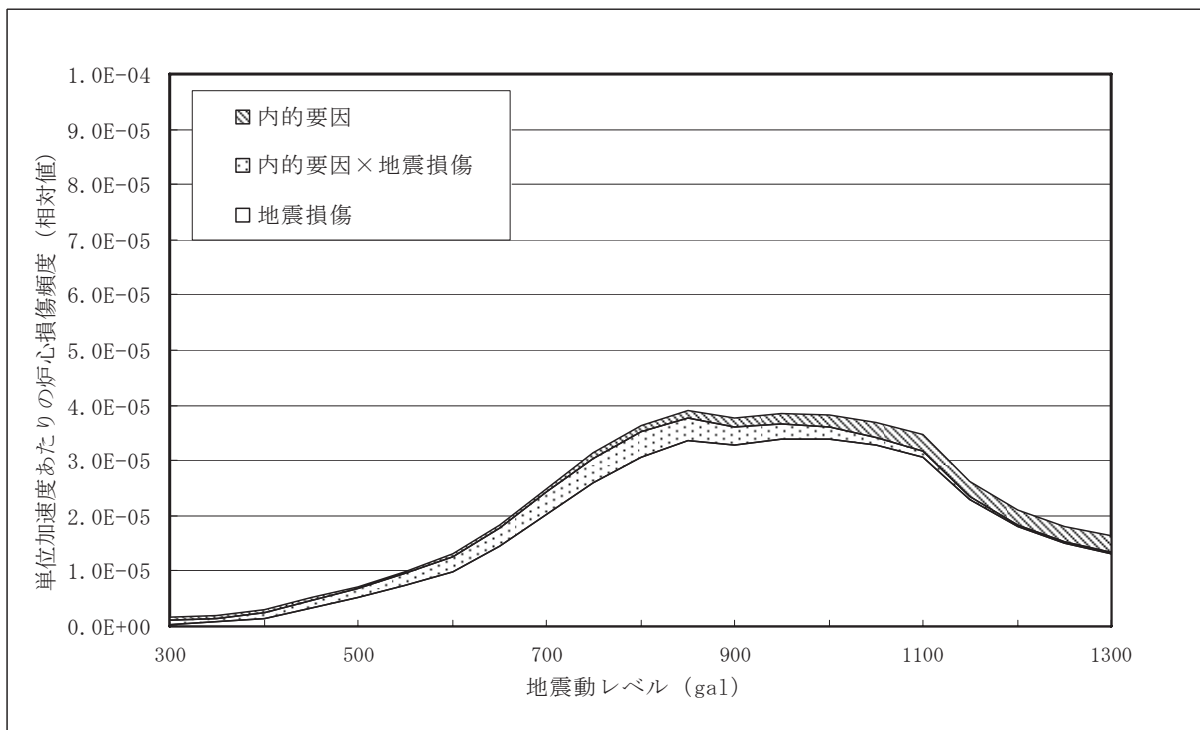


図 2.42 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、国内故障率、1300gal まで）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

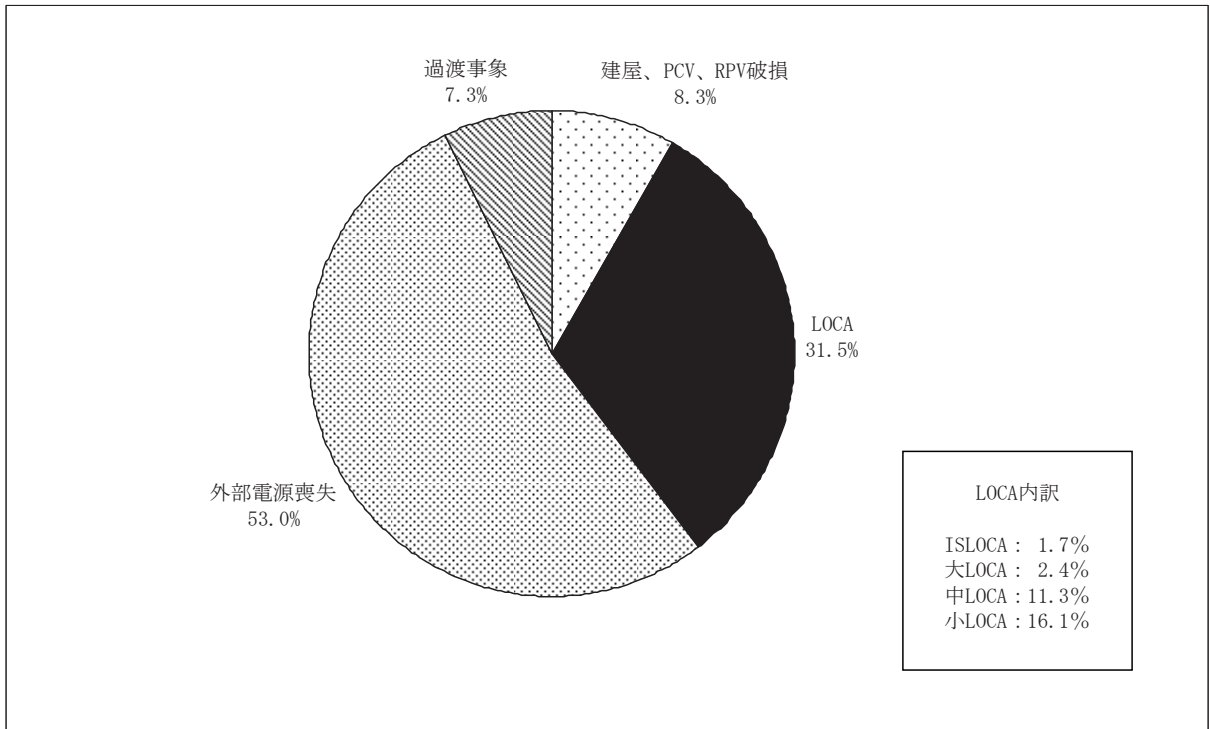


図 2.43 起因事象別寄与割合
(BWR4、サイト A、国内故障率、1500gal まで)

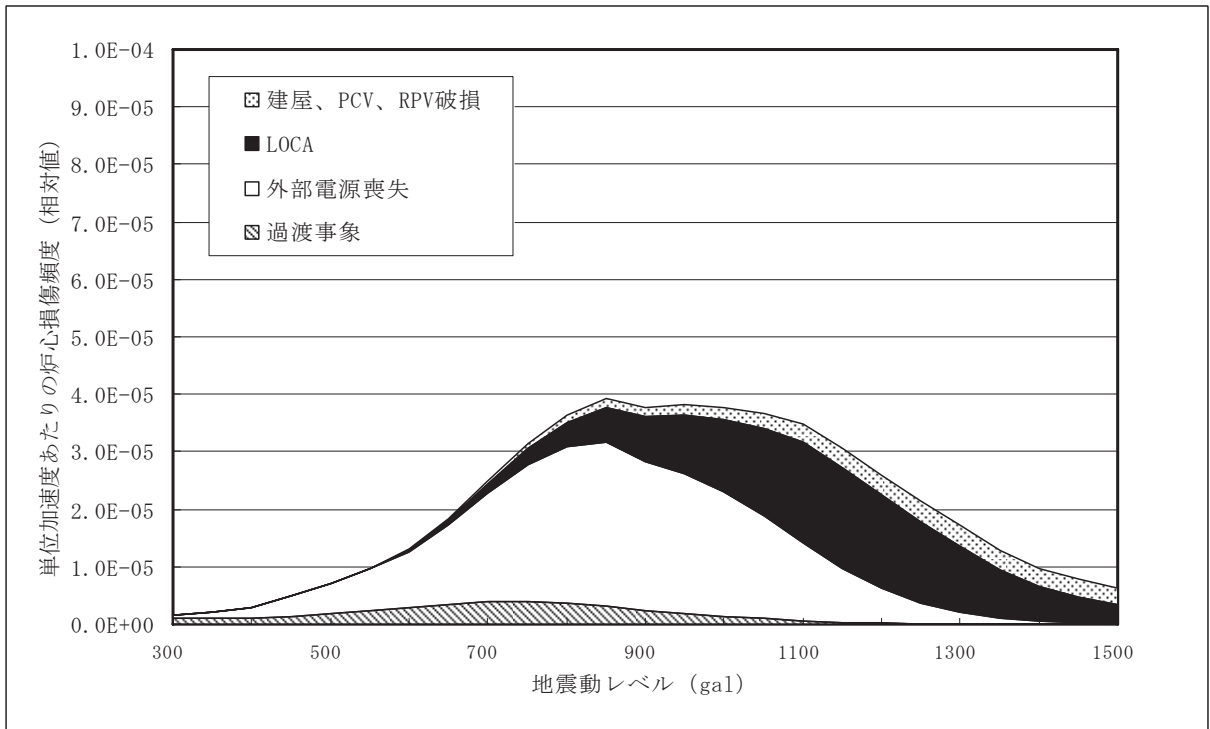


図 2.44 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR4、サイト A、国内故障率、1500gal まで)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

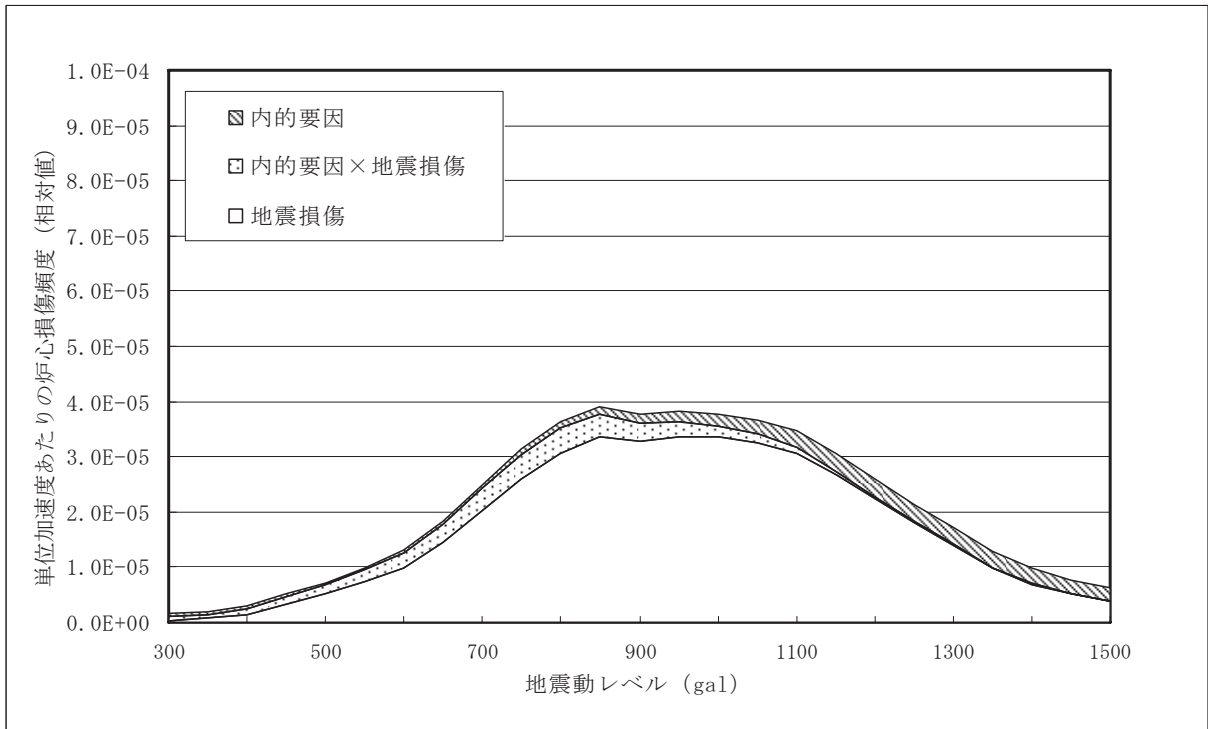


図 2.45 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、国内故障率、1500gal まで）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

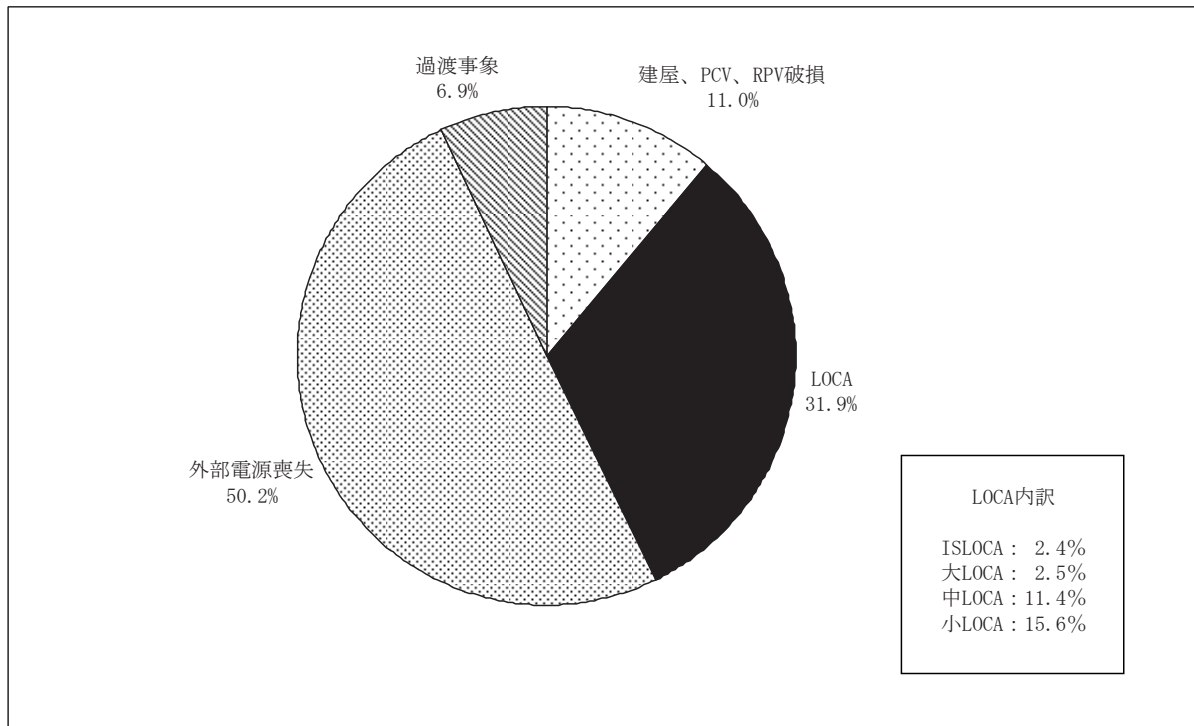


図 2.46 起因事象別寄与割合

（BWR4、サイト A、国内故障率、2000gal まで）

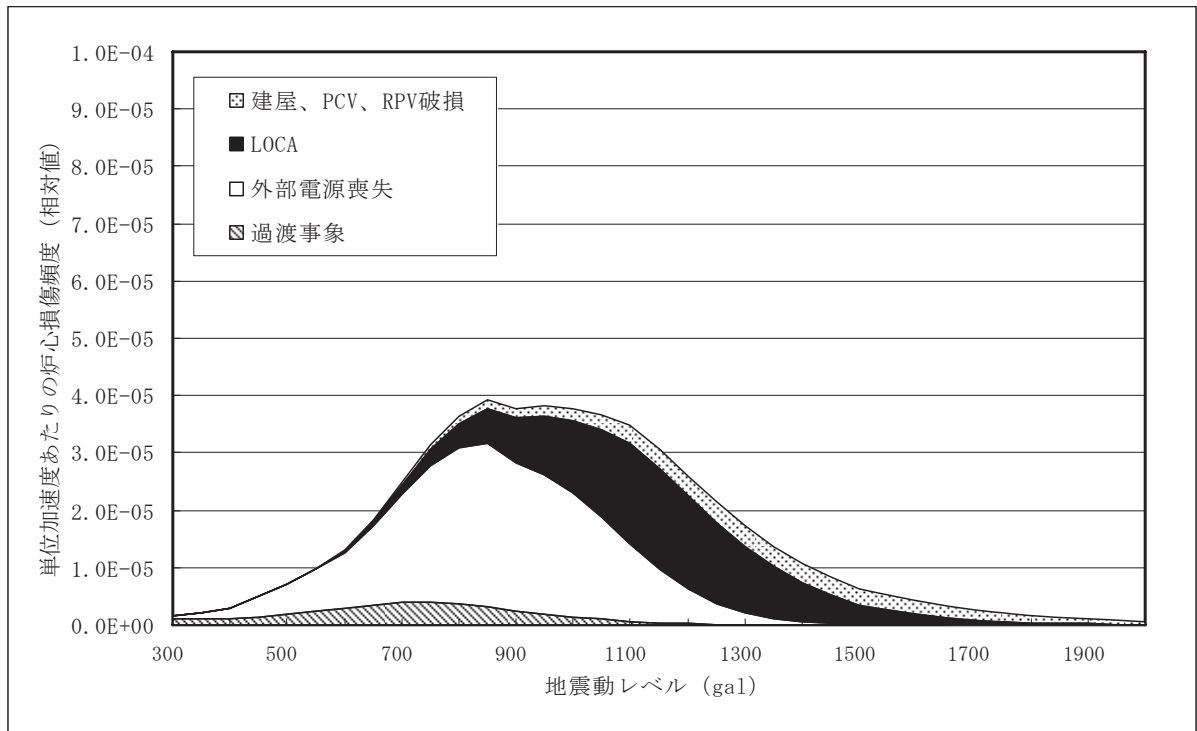


図 2.47 起回事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、国内故障率、2000gal まで）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

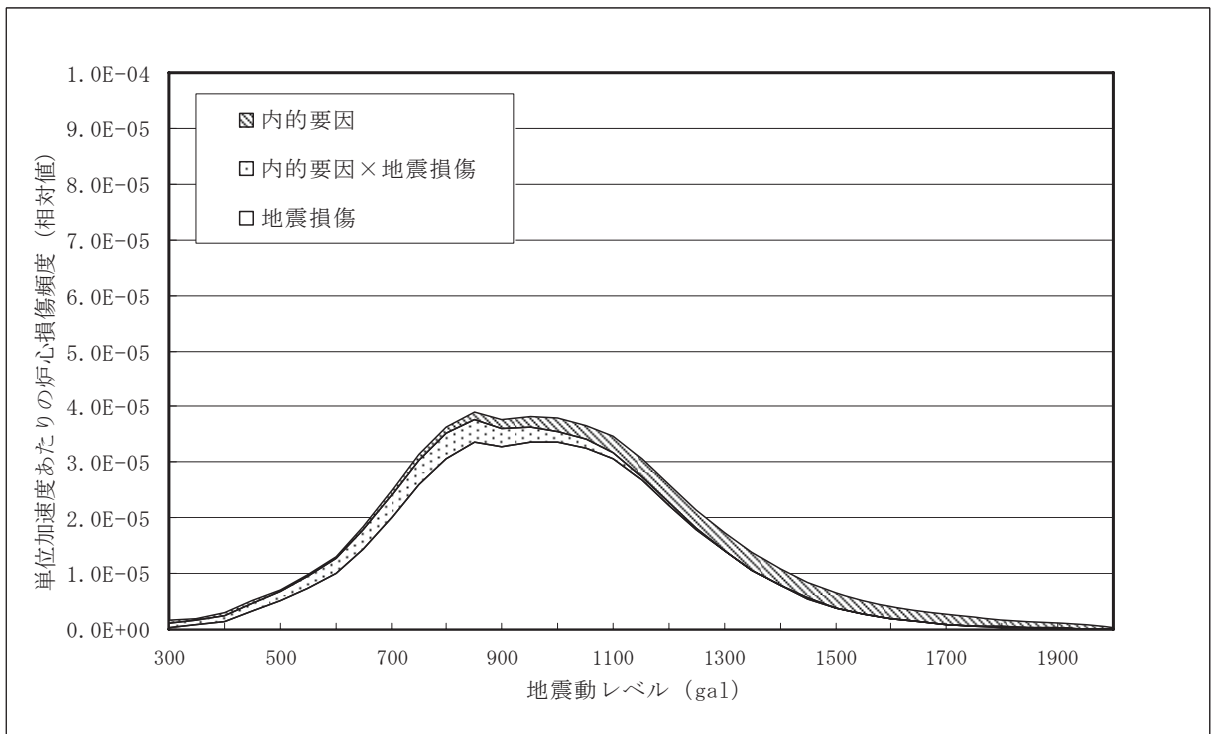


図 2.48 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR4、サイト A、国内故障率、2000gal まで）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

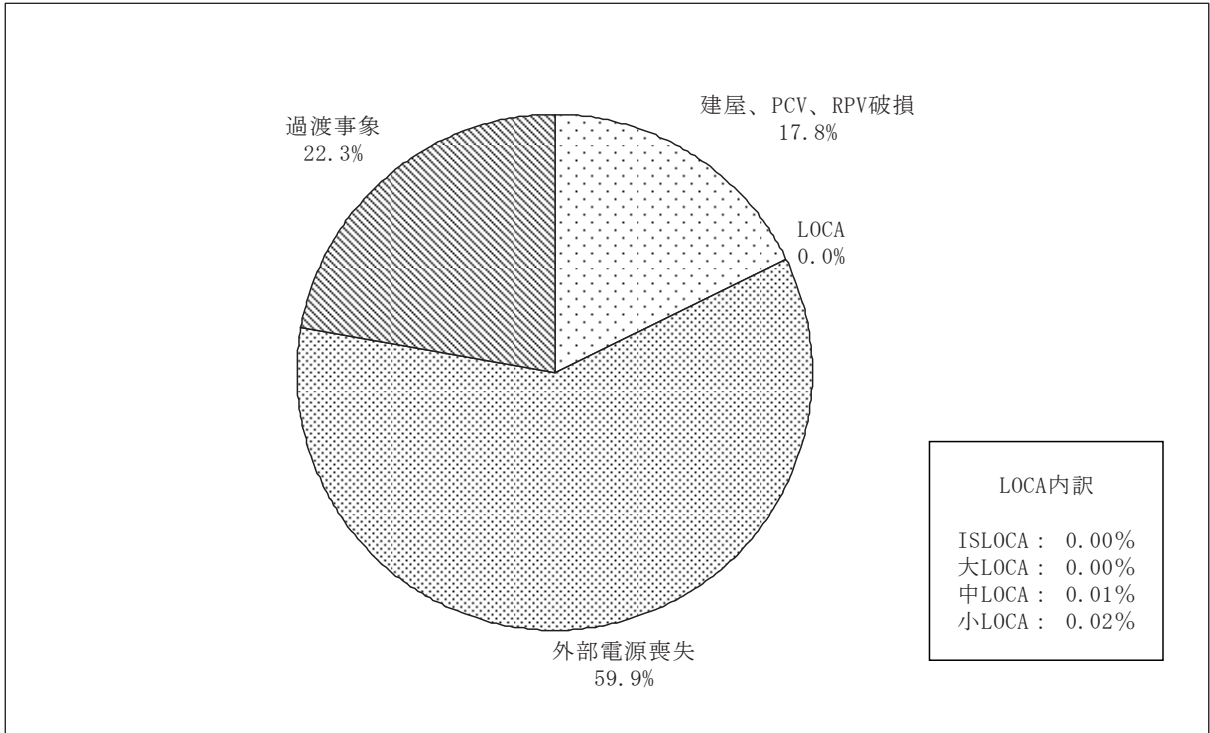


図 2.49 起因事象別寄与割合
(BWR5、サイト B、国内故障率、1300gal まで)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

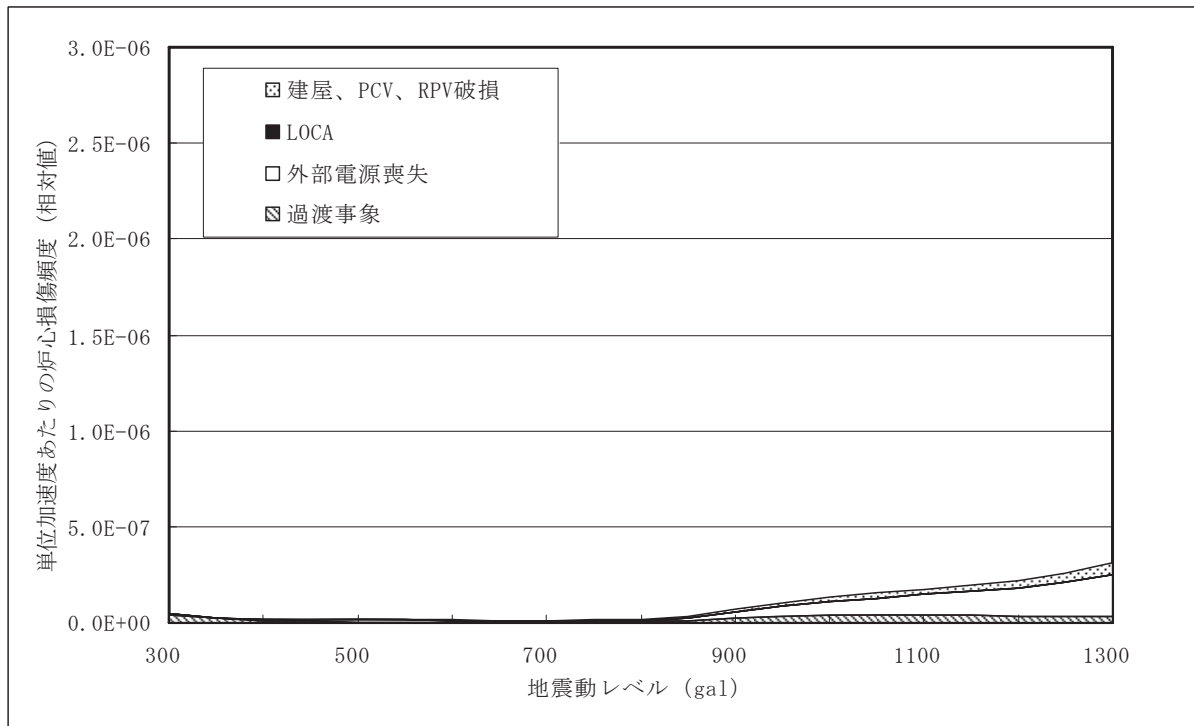


図 2.50 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR5、サイト B、国内故障率、1300gal まで)

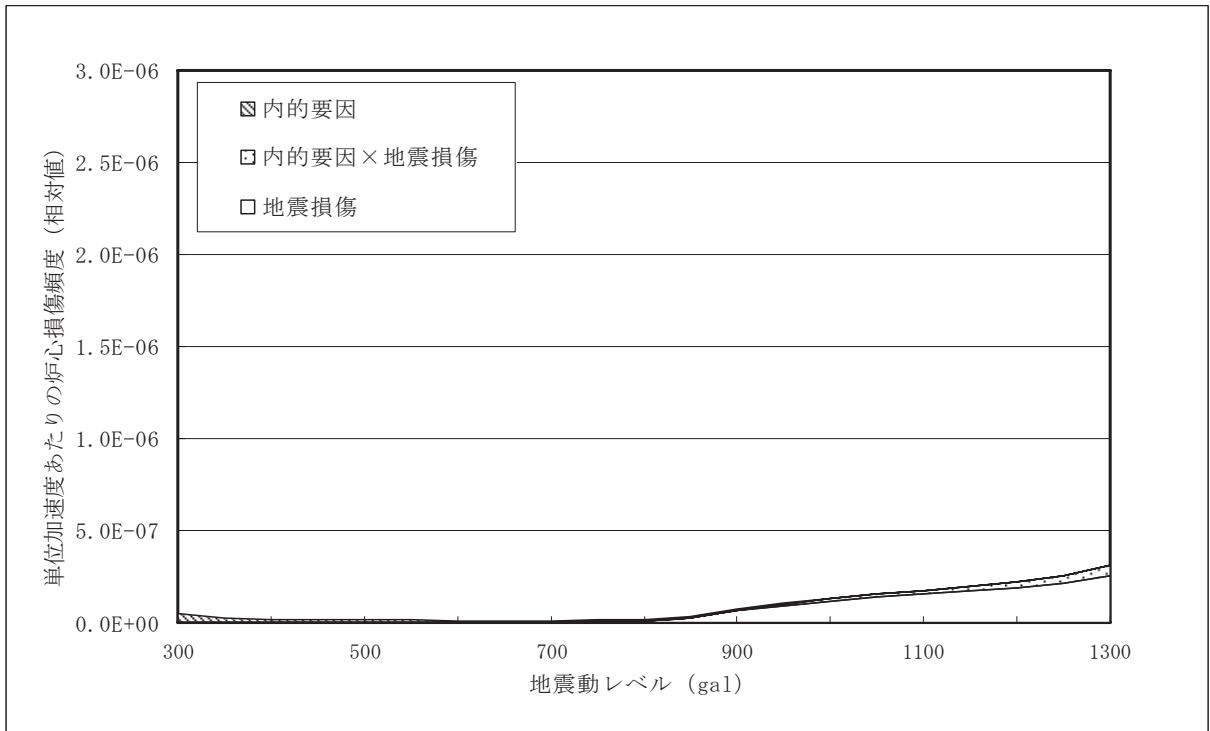


図 2.51 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度（相対値）

（BWR5、サイト B、国内故障率、1300gal まで）

（注）本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

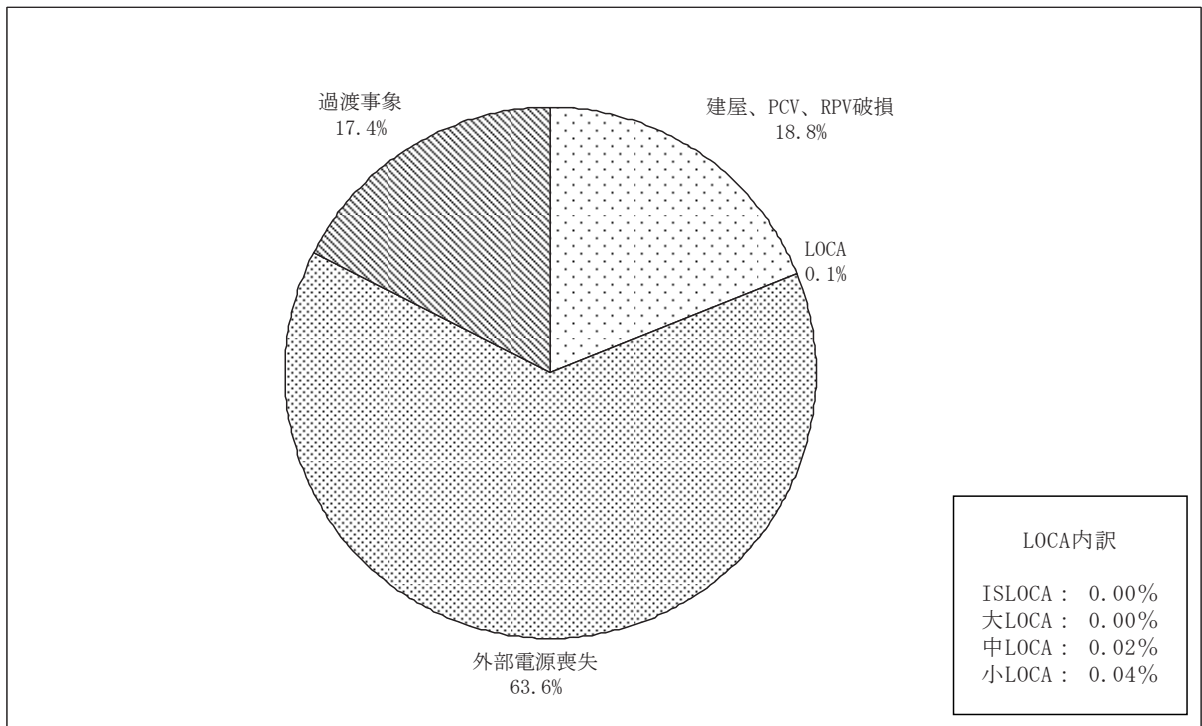


図 2.52 起因事象別寄与割合

（BWR5、サイト B、国内故障率、1500gal まで）

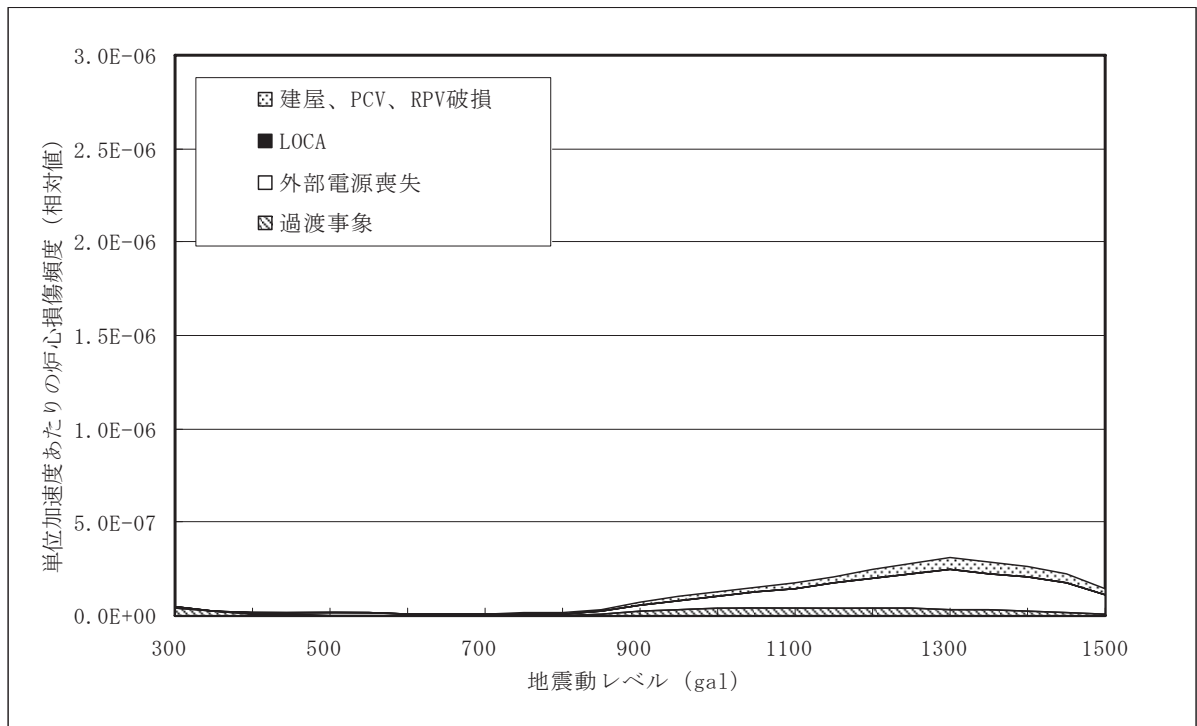


図 2.53 起因事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)

(BWR5、サイト B、国内故障率、1500gal まで)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

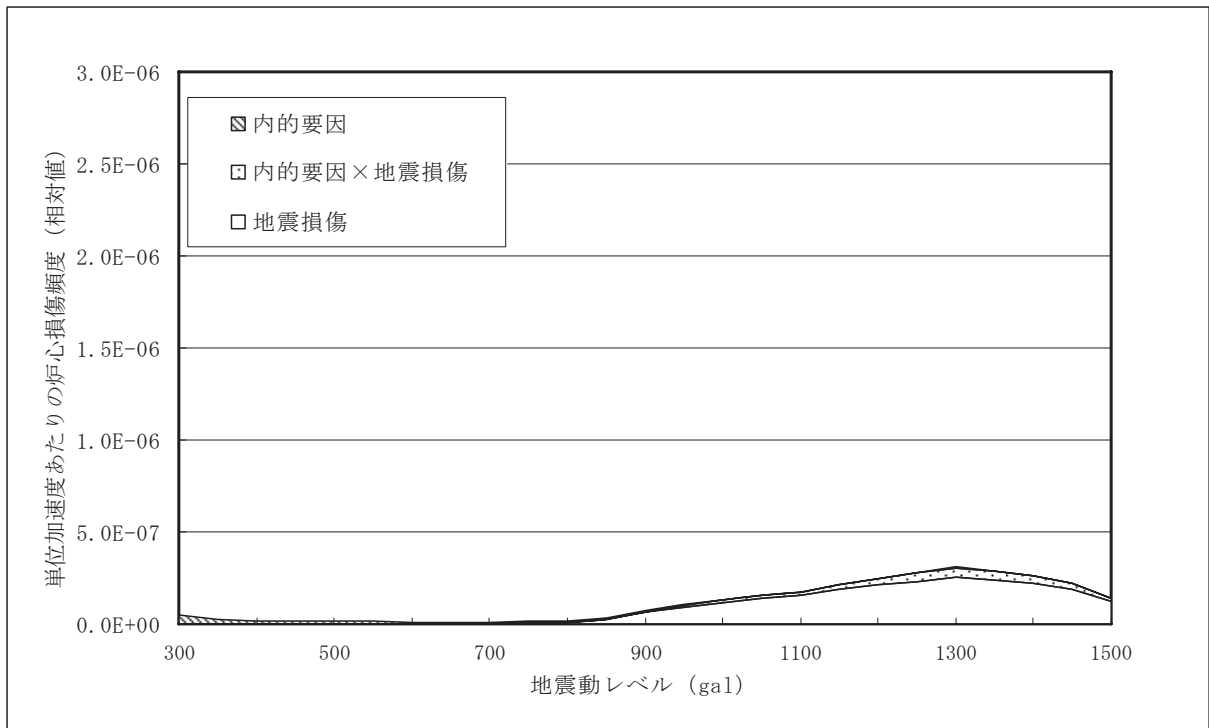


図 2.54 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)

(BWR5、サイト B、国内故障率、1500gal まで)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

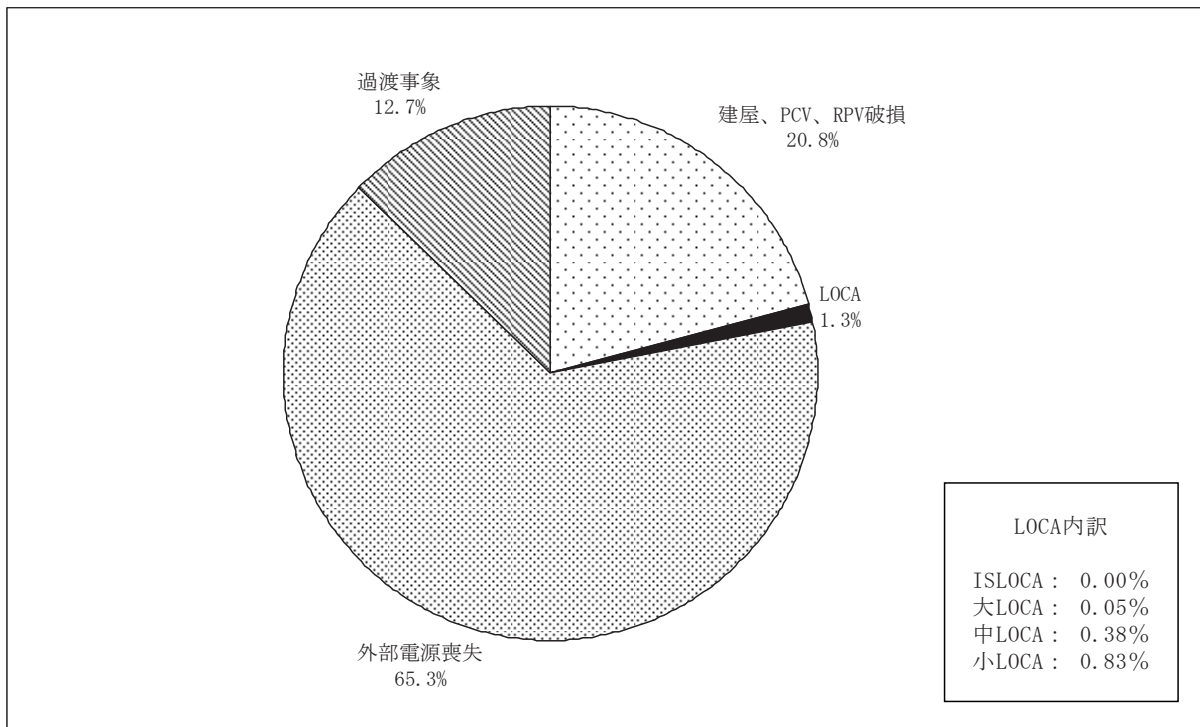


図 2.55 起回事象別寄与割合
(BWR5、サイト B、国内故障率、2000gal まで)

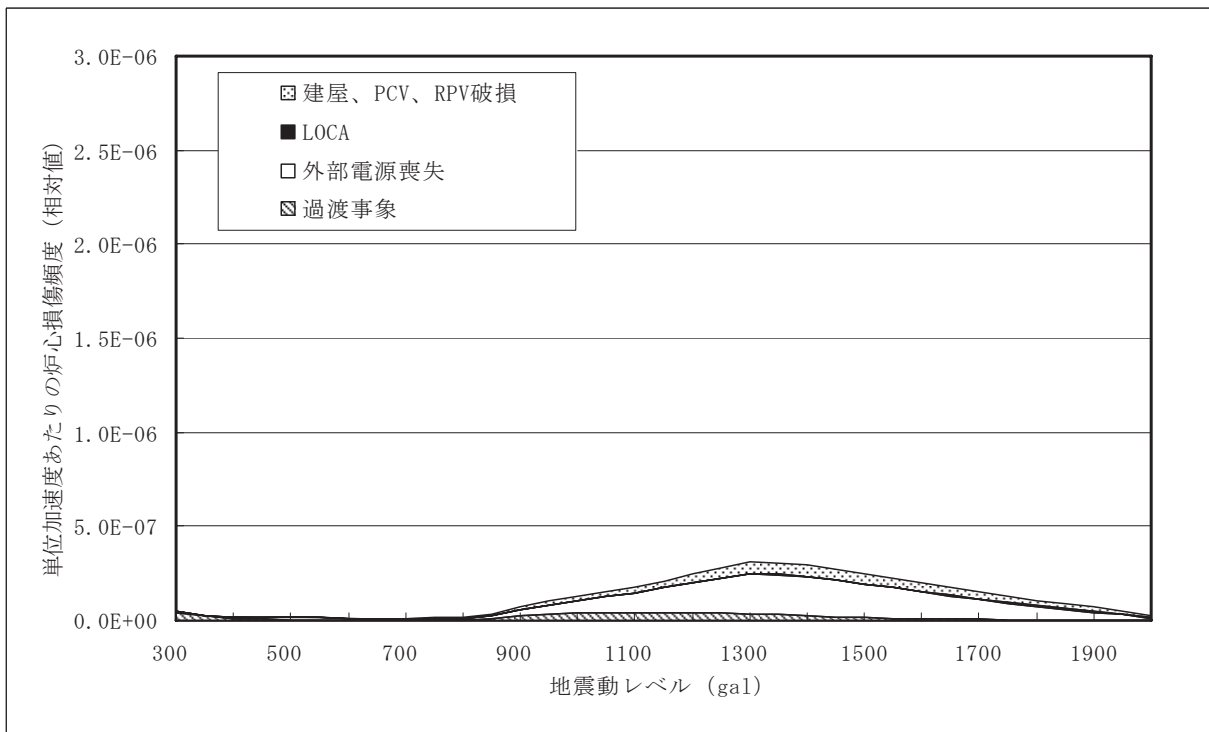


図 2.56 起回事象別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)
(BWR5、サイト B、国内故障率、2000gal まで)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及び fragility データに基づくものである。

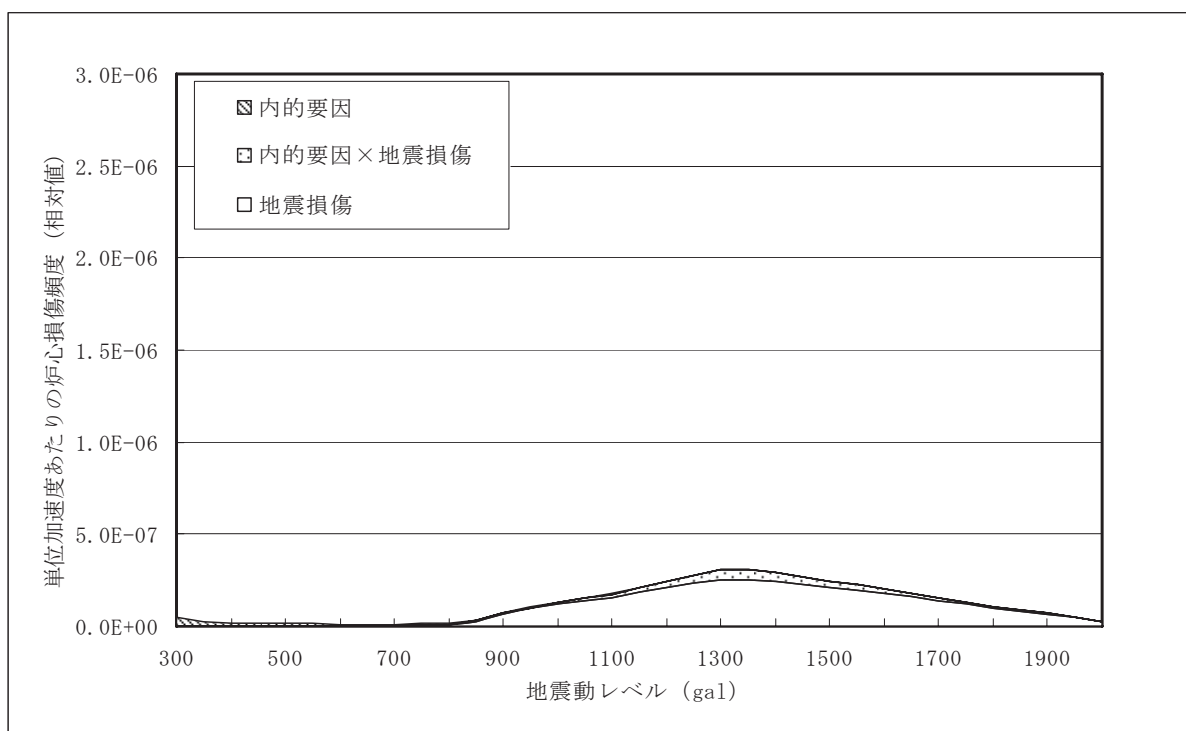


図 2.57 要因別の単位加速度あたりの炉心損傷頻度 (相対値)

(BWR5、サイト B、国内故障率、2000gal まで)

(注) 本試解析は、仮想的な地震ハザード及びフラジリティデータに基づくものである。

3. 津波 PSA の試解析

3.1 解析モデルの作成

(1) 解析モデルの作成方針

以下に、本作業における津波時の解析モデルの作成方針を示す。

- ① 平成 20 年度作業⁽⁵⁾で作成した解析シナリオ及びイベントツリーを基本とする。
- ② 評価対象機器/構築物の地震による機器の損傷は考慮しない。
- ③ スクラムは終了し、原子炉は停止状態にあるものとする。
- ④ 津波によって起動変圧器及び非常用 DG 燃料供給系の屋外機器（軽油タンク及び燃料移送ポンプを仮定）が損傷を受けた場合（全交流電源喪失時）には、交流電源を必要としない蒸気駆動系である原子炉隔離時冷却系（RCIC）による炉心冷却を考慮する。また、津波の波高がある一定値以下の場合には、外部電源又は非常用 DG の回復を考慮し、いずれかの成功時には長期の炉心冷却及び崩壊熱除去が可能となり、炉心損傷には至らないと仮定する。
- ⑤ 津波による機器損傷は、波高がある一定値以上の場合に発生すると仮定する。一定値以下の場合には、ランダム故障によるアンアベイラビリティを仮定する。また、波高がある限界値以上の場合には、機器は必ず機能喪失すると仮定する。損傷の可能性を考慮する下限値（一定値）及び上限値（限界値）の間は、対数補間によりアンアベイラビリティを設定する。

図 3.1 に、平成 20 年度作業で作成した津波時の解析シナリオに対して、RCIC 及び外部電源等の復帰を考慮した本作業における解析シナリオを示す。

(2) イベントツリー

(1)で説明したように、平成 20 年度作業で作成した津波時のイベントツリーを基本として、津波時の解析モデルにおけるイベントツリーを作成した。

図 3.2 に、津波時のイベントツリーを示す。

表 3.1 に、津波時のイベントツリー中のヘディングの一覧を示す。

(3) ET ヘディングのフォールトツリー

(2)で説明した津波時のイベントツリーの各ヘディングにリンクするフォールトツリーは、当該

ヘディングの対象機器の津波による損傷/機能喪失の事象で構成する。

表 3.2 に、フォールトツリー中で考慮した基事象の一覧を示す。

3.2 試解析

(1) 入力データの設定

① 試解析対象プラントの海水周りの状況

図 3.3 に、本作業で試解析の対象としたモデルプラントの海水周りの状況を示す。

本作業の試解析で対象としたモデルプラントの海水周りの状況に関する仮定は、以下の通りである。

- ・ 基準の海水面に対して高さ 13m の防波堤が設置されている。
- ・ 防波堤内の海岸縁に、基準海水面に対して高さ 5m の位置に海水ポンプ（電動機）が設置されている。
- ・ 屋外機器は、基準海水面に対して高さ 13m の位置に設置されている。また、原子炉建屋の開口部も高さ 13m とする。

② 波高レベル

①で説明した試解析対象プラントの海水周りの状況の仮定に基づき、本作業の試解析における波高レベルは、以下の範囲とした。

- ・ 波高レベルの範囲 : 3m～23m
- ・ 評価対象波高レベル : 3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23m (11 レベル)

③ 津波ハザード

津波ハザードデータは、平成 20 年度と同様に公開文献に記載されているグラフを参考に作成した。なお、作成した津波ハザードデータは、特定の波高における年超過発生頻度を 1 として規格化したものであり、結果は全てこの規格化されたハザード曲線を用いて計算した値である。したがって、以下に示す炉心損傷頻度は、相対値として示したものである。

図 3.4 に、本作業の試解析で用いた津波ハザード曲線を示す。

④ 基事象のアンアベイラビリティの設定

試解析における各基事象のアンアベイラビリティは、以下の2通りを設定した。

- (a) 防波堤の効果を考慮しないケース
- (b) 防波堤の効果を考慮するケース

以下に、各ケースの基事象のアンアベイラビリティの設定内容を説明する。

(a) 防波堤の効果を考慮しないケース

- ・防波堤の効果を考えず、海水の浸入は全ての波高で発生する。
- ・津波時には、ある波高の波が継続的に押し寄せると考えられることから、波高が機器の設置面と同じ津波の場合でも機器の機能喪失が発生する可能性がある。このため、各機器は設置面以上の波高で海水による機能喪失の可能性があると仮定し、設置面の機器のアンアベイラビリティを0.1とする。また、設置面+2m以上の波高では必ず機能喪失(アンアベイラビリティ=1.0)すると仮定する。この仮定は、機器の設置位置と津波による脆弱性の関係が明確ではないことによるものである。

以上より、海水ポンプは波高7m以上、復水貯蔵タンク/起動変圧器等の屋外設置機器は波高15m以上で必ず機能喪失すると仮定する。

- ・原子炉建屋の開口部は地表面より若干高くあるものの、ここでは原子炉建屋への海水浸入は開口部の高さの波高(13m)で発生すると仮定する。原子炉建屋へ海水が浸入した場合には、建屋内の機器の機能喪失発生の可能性を考慮する。また、波高が開口部+2m以上の場合には、建屋内の機器は必ず機能喪失すると仮定する。すなわち、波高が13mにおいて、原子炉建屋内のサポート系機器、フロントライン系機器及びRCICのアンアベイラビリティを0.1と仮定し、波高15m以上の場合の原子炉建屋内のサポート系機器、フロントライン系機器及びRCICのアンアベイラビリティを1.0と仮定する。
- ・津波の波高とは無関係な基事象のうちで、RCICタービン駆動ポンプの起動失敗及びRCICの水源切り替え操作失敗にはランダム故障を仮定する。また、外部電源又は非常用DGの回復失敗は、内的事象PSAにおける8時間以内の外部電源復帰/非常用DGのデータを仮定する。

(b) 防波堤の効果を考慮するケース

- ・津波時にはある波高の波が継続的に押し寄せると考えられることから、防波堤超過による海水の浸入は、防波堤頂部の高さ（波高 13m）以上で発生すると仮定する。
- ・海水ポンプは、海水進入高さの波高（13m）で機能喪失の可能性が発生し（アンアベイラビリティ=0.1）、海水浸入高さの波高（13m）+2m 以上の波高（15m）で必ず機能喪失すると仮定する。波高 13m 未満は、ランダム故障（起動失敗）のアンアベイラビリティを仮定する。
- ・屋外設置機器は、海水浸入高さの波高（13m）で機能喪失の可能性が発生し（アンアベイラビリティ=0.1）、海水浸入高さ（13m）+2m 以上の波高（15m）で必ず機能喪失すると仮定する。波高 13m 未満は、ランダム故障のアンアベイラビリティを仮定する。
- ・原子炉建屋への海水浸入は、防波堤の効果を考慮しないケースと同様に、波高が 13m を超えた場合に発生すると仮定する。また、原子炉建屋内の機器の機能喪失の可能性も防波堤の効果を考慮しないケースと同様とする。
- ・津波の波高とは無関係な基事象（RCIC タービン駆動ポンプの起動失敗、RCIC の水源切り替え操作失敗及び外部電源若しくは非常用 DG の回復失敗）のアンアベイラビリティは、ランダム故障及び 8 時間以内の外部電源復帰/非常用 DG 復帰失敗によるアンアベイラビリティを仮定する。

表 3.3 及び表 3.4 に、防波堤の効果を考慮しないケース及び考慮するケースで設定した各基事象のアンアベイラビリティの一覧を示す。

(2) 解析結果

① 炉心損傷頻度

防波堤の効果を考慮しないケースの炉心損傷頻度（相対値）は、 1.2×10^{-1} /炉年となった。

また、防波堤の効果を考慮したケースの炉心損傷頻度（相対値）は、 2.0×10^{-3} /炉年となった。

② 波高レベルごとの炉心損傷頻度

図 3.5 及び図 3.6 に、各ケースの波高レベルごとの条件付炉心損傷確率と単位波高あたりの炉心損傷頻度（相対値）の関係を示す。

図 3.5 及び図 3.6 から分かるように、本解析条件のもとでは、津波の波高が一定値以上（防

波堤の効果を考慮しない場合には約 7m、考慮した場合には約 15m) の場合に条件付炉心損傷確率がほぼ 1.0 となり、炉心損傷頻度 (相対値) は津波発生頻度 (相対値) とほぼ同一となる。これは、それぞれのケースでこの波高を超えた場合に海水ポンプが機能喪失すると仮定していることによる。

③ 解析対象範囲以上の津波に対する考察

今回の試解析では、防波堤の効果を考慮した場合に津波の波高 15m 以上で原子炉建屋内へ海水が浸入し、建屋内の機器が機能喪失すると仮定し、波高 23m までを解析対象とした。

ここでは、対象範囲の波高上限 23m を超える津波が発生した場合の炉心損傷頻度への影響を検討する。

②に示したように、条件付炉心損傷確率は、津波の波高がある一定値以上で 1.0 となった。

このため、条件付炉心損傷確率が 1.0 となる波高より大きな津波が発生した場合の炉心損傷頻度 (相対値) は、(試解析の炉心損傷頻度 (相対値)) + (波高 23m の津波の年超過発生頻度 (相対値)) で算出可能である。

しかし、波高 23m の津波の年超過発生頻度 (相対値) は非常に小さく、防波堤の効果がある場合とない場合について、23m 以上の津波を含めて炉心損傷頻度 (相対値) を算出しても 23m 以上の津波を含めない場合と比べてほとんど変化はない。このことから、本解析条件のもとでは、解析対象範囲を超える津波の炉心損傷頻度 (相対値) への影響は、防波堤の効果の有無に係らず非常に小さいことが分かる。

(3) 解析結果のまとめ

平成 20 年度までに作成した津波時の基本的なシナリオに対して、津波によって外部電源 (交流電源) が喪失した場合を想定し、交流電源を必要としない蒸気駆動系である RCIC による炉心冷却を考慮したモデルを作成し、解析条件を想定して、炉心損傷頻度の試解析を実施した。これにより、本年度作成したモデルを用いて津波時の炉心損傷頻度の定量的な評価が可能であることを確認した。ただし、機器フラジリティデータ等は得られていないため、これらのデータ等は試解析用に仮設定したものである。

今後、より詳細な津波時の炉心損傷頻度の評価を実施していくために、津波ハザードデータ及び津波時の機器フラジリティデータの整備を実施していくことが望まれる。

表 3.1 津波時のイベントツリーのヘディング一覧

津波種別	区分	ヘディング名称	評価対象機器/構築物	影響を受けるプラントの機能
津波遡上	起回事象	津波遡上	---	---
	海水取水不可能	堤防/防波堤超過	堤防/防波堤	プラント敷地内への海水の浸入
		海水ポンプ等機能喪失	海水ポンプ	サポート系冷却機能喪失
	屋外機器/構築物の損傷/機能喪失	起動変圧器損傷	起動変圧器	外部電源喪失発生
		非常用DG燃料供給系損傷/機能喪失	軽油タンク	非常用電源の喪失
			燃料移送ポンプ	
	復水貯蔵タンク損傷/機能喪失	復水貯蔵タンク	ECCS系水源への影響	
	原子炉建屋内海水進入	原子炉建屋内海水進入	原子炉建屋の防水扉	原子炉建屋内への海水の浸入
		サポート系機器損傷	サポート系の機器	サポート系機能喪失
		フロントライン系機器損傷	フロントライン系の機器	フロントライン系機能喪失
		RCICによる炉心冷却失敗	RCICタービン駆動ポンプ	RCICによる炉心冷却機能
	復水貯蔵タンク/水源切り替え操作			
	電源回復	外部電源若しくは非常用DGの回復	電源回復操作	非常用電源系

表 3.2 津波起因の機器の損傷/機能喪失の基事象の一覧

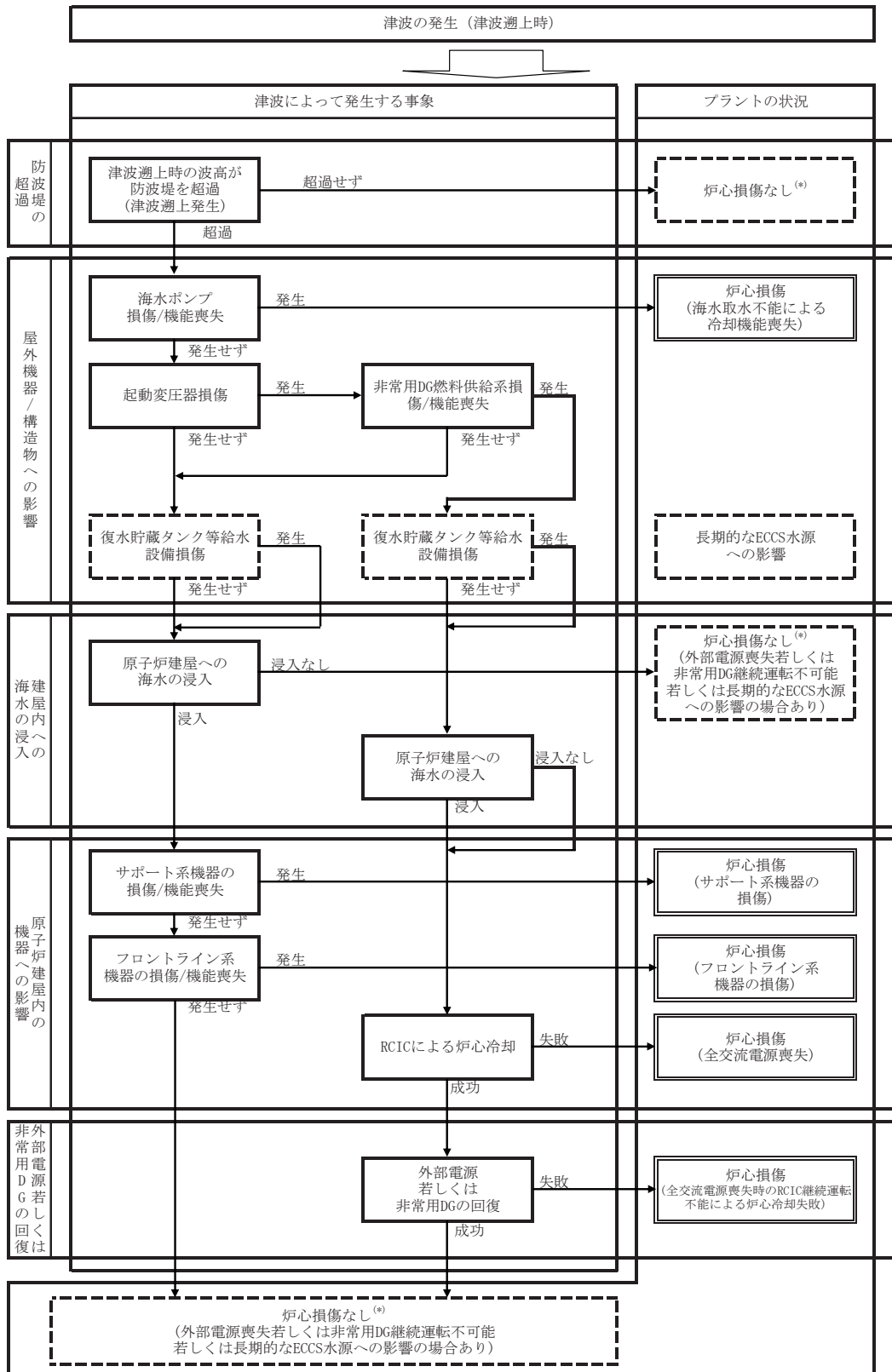
基事象の内容	区分	基事象ID	評価指標 (応答)	しきい値 (耐力)
津波遡上発生	起因事象	I-TUNAM-U	---	
防波堤超過による海水の浸入	津波遡上	SWOTISFLSWALL	波高	防波堤の 高さ
津波による海水ポンプの機能喪失	機器損傷	SWPMISFLSPUMPU	波高	据付高さ
津波による起動変圧器の損傷	機器損傷	EPTRISFLLOSP	波高	据付高さ
津波による軽油タンクの損傷	構築物損傷	EPCTISFLDGTANK	波高	据付高さ
津波による燃料移送ポンプの損傷	機器損傷	EPPMISFLDGPUMP	波高	据付高さ
津波による復水貯蔵タンクの損傷	構築物損傷	HPCTISFLCST	波高	据付高さ
R/B内への海水の浸入	津波遡上	OTRBISFLRB	波高	建屋開口 高さ
津波によるサポート系の機能喪失	システムの機能喪失	SYOTISFLSUPPROT	波高	建屋開口 高さ
津波によるフロントライン系の 機能喪失	システムの機能喪失	SYOTISFLFRONT	波高	建屋開口 高さ
RCICタービン駆動ポンプの津波による 機能喪失	システムの機能喪失	RCTPISFLRCIC	波高	建屋開口 高さ
RCICタービン駆動ポンプの起動失敗	システムの機能喪失	RCTPIRSTRCIC	---	---
水源切り替え操作	システムの機能喪失	OTOTIHRECST	---	---
外部電源若しくは非常用DGの回復	電源回復	OTOTIHREEPS	---	---

表 3.3 試解析におけるアンアベイラビリティ一覧（防波堤の効果を検討しないケース）

基事象の内容	波高												
	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00	17.00	19.00	21.00	23.00		
防波堤超過による海水侵入	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
海水ポンプ機能喪失	0.0E+00	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
起動変圧器損傷	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
軽油タンク損傷	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
燃料移送ポンプ損傷	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
復水貯蔵タンク損傷	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
R/Bへの海水侵入	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
サポート系機能喪失	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.0E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
フロントライイン系機能喪失	4.0E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
RCICタービン駆動ポンプ津波による損傷	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.0E-03	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
RCICタービン駆動ポンプ起動失敗	6.0E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03
RCIC水源切替え操作失敗	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03
8時間以内の外部電源復帰	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 3.4 試解析におけるアンパイラビリティ一覧（防波堤の効果を考慮するケース）

基事象の内容	波高													
	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00	17.00	19.00	21.00	23.00			
防波堤超過による海水侵入	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
海水ポンプ機能喪失	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
起動変圧器損傷	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
軽油タンク損傷	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
燃料移送ポンプ損傷	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
復水貯蔵タンク損傷	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
R/Bへの海水侵入	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
サポート系機能喪失	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
フロントライン系機能喪失	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	4.4E-04	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
RCICタービン駆動ポンプ津波による損傷	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
RCICタービン駆動ポンプ起動失敗	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03	6.8E-03
RCIC水源切替え操作失敗	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03	3.3E-03
8時間以内の外部電源復帰	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



(*) 炉心損傷防止のために長期的炉心冷却及び崩壊熱除去は必要

図 3.1 津波時の解析シナリオ

起回事象	海水取水不可能		屋外機器/構造物の損傷/機能喪失		原子炉建屋内海水進入		電源回復		シーケンスの終了状態	
	堤防/防波堤超過 海水面上	海水ポンプ等 機能喪失 サブポンプ系 冷却機能喪失	起動変圧器損傷 外部電源喪失発生	非常用D燃焼供給系 損傷/機能喪失 非常用電源供給不可能	海水貯蔵タンク 損傷/機能喪失 ECCS系水源への影響	原子炉建屋内海水進入	サブポンプ系 機器損傷 サブポンプ系 機能喪失	フロントライン系 機器損傷 フロントライン系 機能喪失		RCCIによる 炉心冷却
津波潮上										津波による炉心損傷は発生しない
										津波による炉心損傷は発生しない
										津波による炉心損傷は発生しない
										炉心損傷(フロントライン系機器損傷)
										炉心損傷(サブポンプ系機器損傷)
										津波による炉心損傷は発生しない (注1)
										津波による炉心損傷は発生しない (注2)
										炉心損傷(フロントライン系機器損傷)
										炉心損傷(サブポンプ系機器損傷)
										津波による炉心損傷は発生しない (注3)
										津波による炉心損傷は発生しない (注4)
										炉心損傷(フロントライン系機器損傷)
										炉心損傷(サブポンプ系機器損傷)
										津波による炉心損傷は発生しない (注5)
										津波による炉心損傷は発生しない (注6)
										炉心損傷(フロントライン系機器損傷)
										炉心損傷(サブポンプ系機器損傷)
										津波による炉心損傷は発生しない
										炉心損傷 (全交流電源喪失時のRCCI継続運転不能による炉心冷却失敗)
										炉心損傷 (全交流電源喪失)
										津波による炉心損傷は発生しない
										炉心損傷 (全交流電源喪失時のRCCI継続運転不能による炉心冷却失敗)
										炉心損傷 (全交流電源喪失)
										津波による炉心損傷は発生しない
										炉心損傷 (全交流電源喪失時のRCCI継続運転不能による炉心冷却失敗)
										炉心損傷 (全交流電源喪失)
										津波による炉心損傷は発生しない
										炉心損傷 (全交流電源喪失時のRCCI継続運転不能による炉心冷却失敗)
										炉心損傷 (全交流電源喪失)
										炉心損傷(海水ポンプ損傷)

(注1)：各分岐の上方向：事象発生なし、下分岐：事象発生あり、(注2)：長期的なECCS水源への影響あり、(注3)：非自用電源供給不可能
(注4)：非常用D継続運転不能及び長期的なECCS水源への影響あり、(注5)：外部電源喪失、(注6)：外部電源喪失及び長期的なECCS水源への影響あり

図 3.2 津波時のイベントツリー

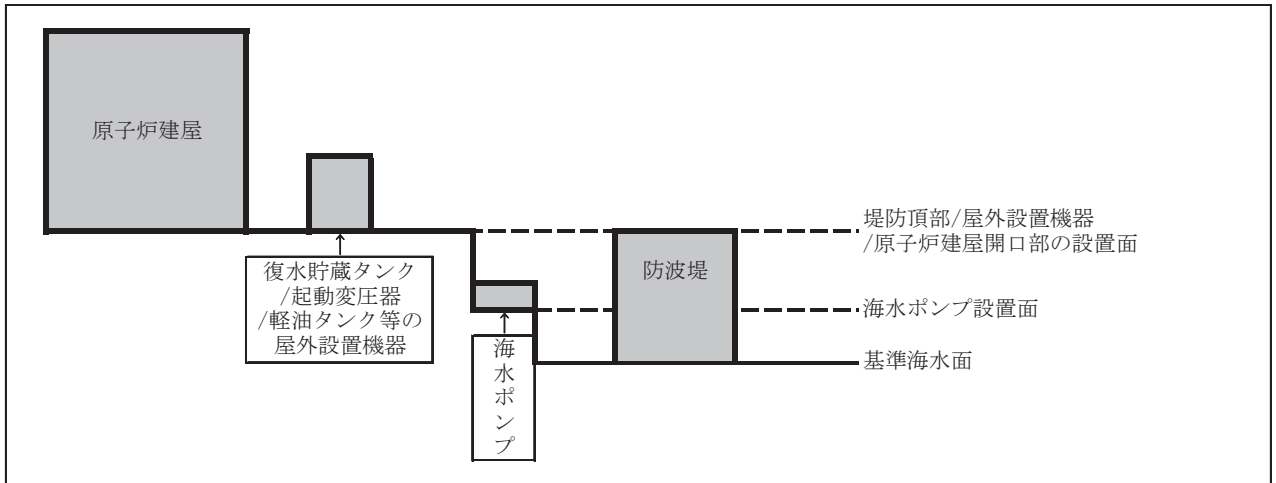


図 3.3 試解析対象モデルプラントの海水周りの状況

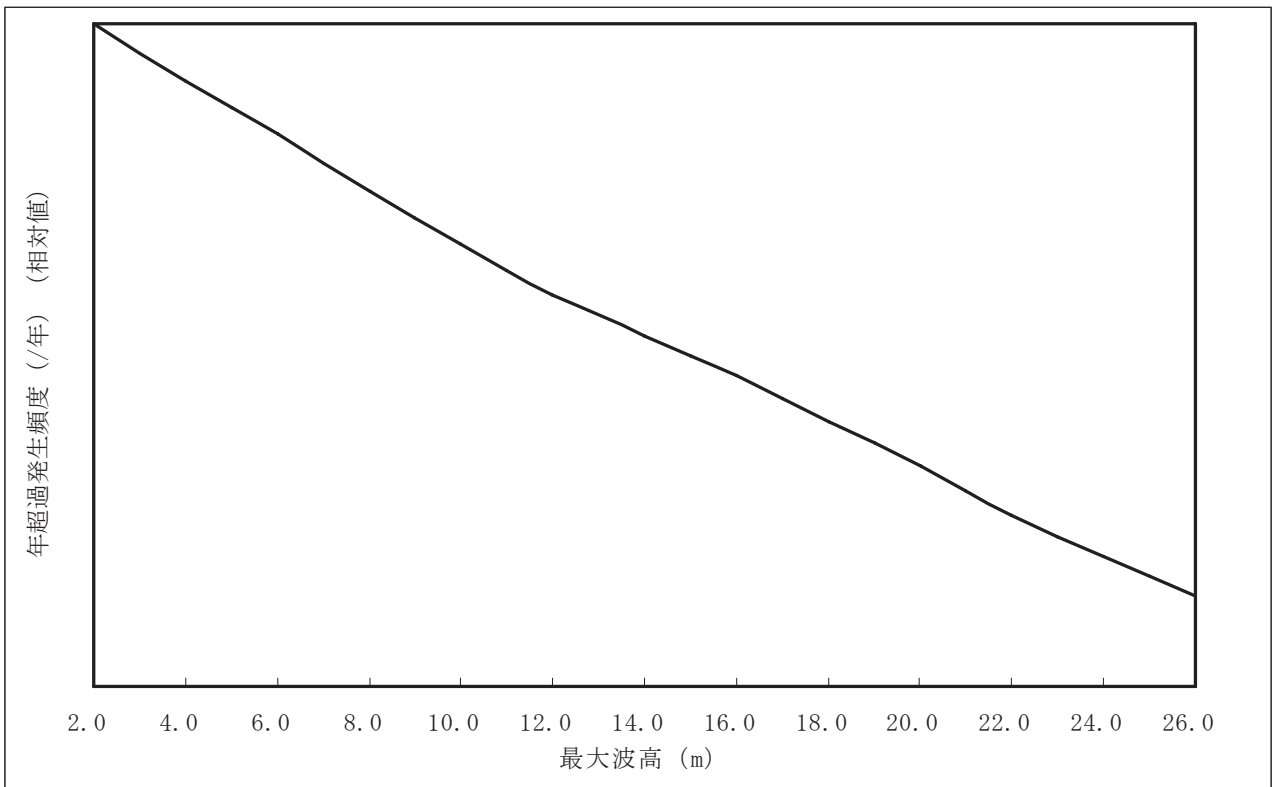


図 3.4 試解析に用いた津波ハザード曲線

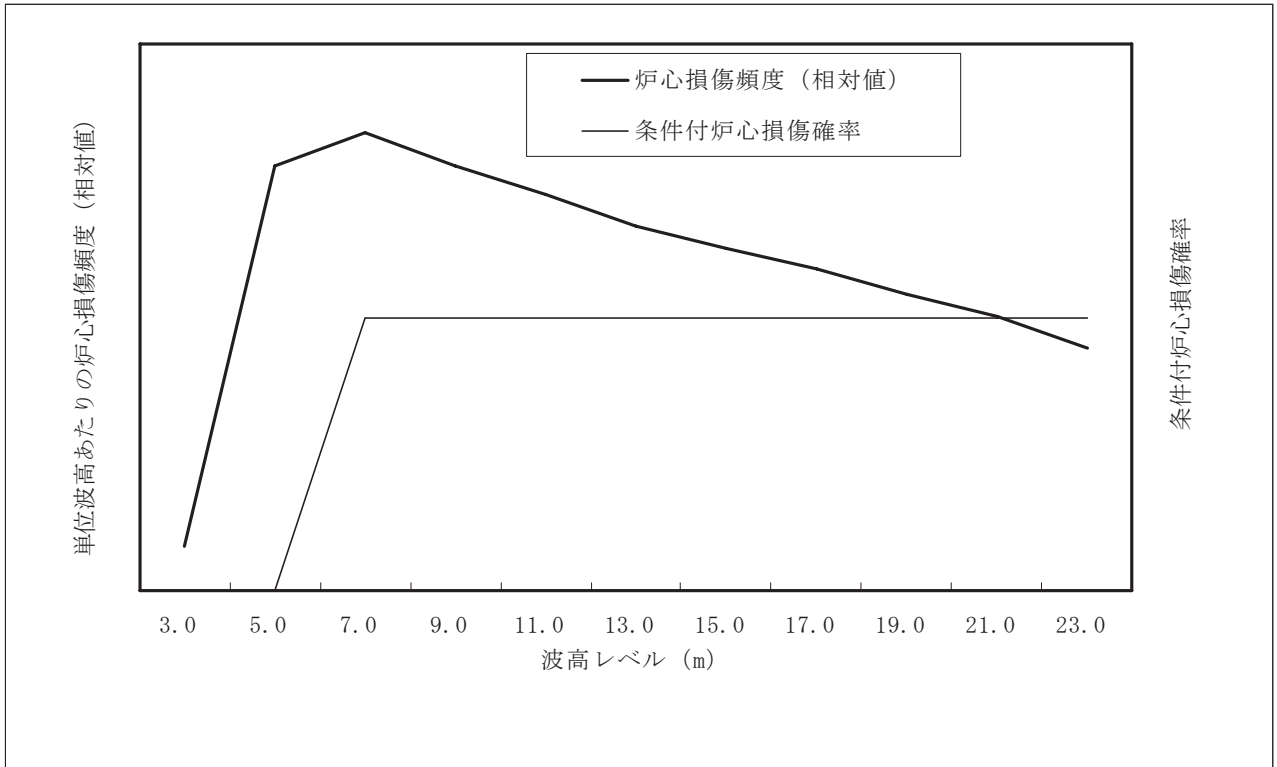


図 3.5 条件付炉心損傷確率と単位波高あたりの炉心損傷頻度の関係
(防波堤の効果を考慮しない場合)

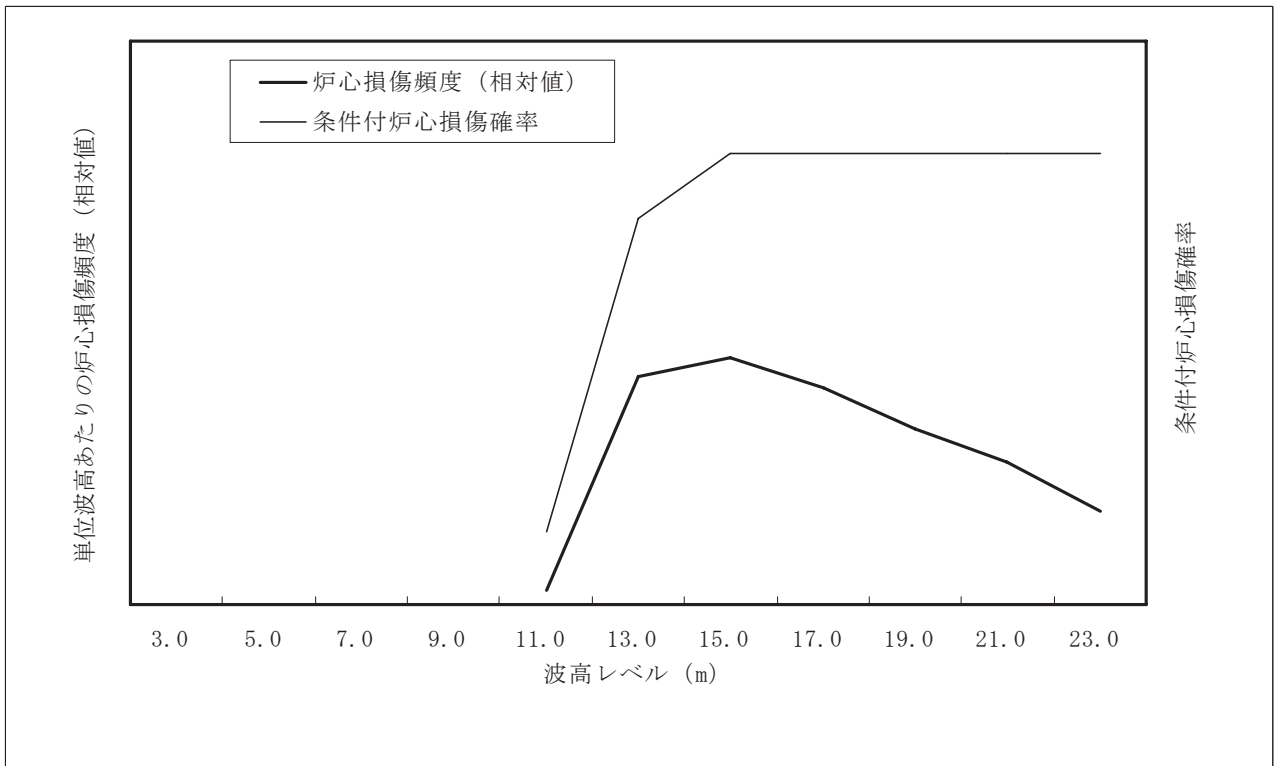


図 3.6 条件付炉心損傷確率と単位波高あたりの炉心損傷頻度の関係
(防波堤の効果を考慮した場合)

4. 結論

本作業では、残余のリスク評価に資するために、これまでの地震 PSA の試解析において課題とされた項目に対する感度解析を実施するとともに、平成 20 年度に作成した津波 PSA のモデルを改良し、改良したモデルを用いて津波時の炉心損傷頻度の試解析を実施した。

以下に、本作業で得られた成果を示す。

(1) 地震 PSA に関する感度解析

これまで地震 PSA の試解析の対象としていた BWR4 型プラントと BWR5 型プラントは異なるサイトを想定し、BWR4 型プラントは BWR5 型プラントより地震動（地震ハザード及び地震応答）が相対的に大きいサイトを想定している。この条件のもとで従来から課題とされた次の 3 つの項目について感度解析を実施し、炉心損傷頻度への定量的な影響を把握した。

・ 内的要因

過渡事象時に地震損傷に因らずランダム要因のみによって炉心損傷に至るシーケンスは、地震損傷がないため地震事象の範疇からはずす方法も考えられる。そこでランダム要因のみによる寄与を地震時の全炉心損傷頻度から削除した場合について影響を見た。相対的に大きい地震動を想定している BWR4 型プラントは影響が小さいが、相対的に小さい地震動を想定している BWR5 型プラントはその影響が大きく、炉心損傷頻度は約 40% 低下する。

・ 対象とする地震動の範囲

従来、解析対象にしていた地震加速度 300～1300gal の範囲を高地震動側に 2000gal まで拡張すると、相対的に大きい地震動を想定している BWR4 型プラントは影響が小さいが、相対的に小さい地震動を想定している BWR5 型プラントはその効果は大きく、炉心損傷頻度は約 1.5 倍程度増加する。この場合に、過渡事象時のランダム要因のみで炉心損傷に至る寄与を削除すると、炉心損傷頻度は約 1.8 倍程度増加する。

・ 国内機器故障率

従来の解析モデルで用いていた米国機器故障率に基づくランダム故障データを国内機器故障率に基づくデータに変更した場合、相対的に大きい地震動を想定している BWR4 型プラントは影響が小さいが、相対的に小さい地震動を想定している BWR5 型プラントはその影響が大きく、炉心損傷頻度は約 70% 低下する。

これらの結果のベースケース解析条件への反映は、今後検討する予定である。

(2) 津波時の解析モデル

平成 20 年度作業で作成した津波 PSA の簡略的な解析モデルを改良し、改良したモデルを用いて、津波時の炉心損傷頻度の試解析を実施した。

その結果、プラント内の安全上重要な機器の冷却を担っている海水冷却ポンプは、海岸の近くに位置しその設置レベルが相対的に低いため、津波による海水冷却ポンプの機能喪失が炉心損傷頻度算出に重要なパスになることが分かった。

今後、より詳細な津波時の炉心損傷頻度の評価を実施していくために、津波ハザードデータ及び津波時の機器フラジリティデータの整備を実施していくことが望まれる。

付 録

過渡事象から内的要因を取り除いた重要度指標の算出方法

付録1 過渡事象から内的要因を取り除いた場合の重要度の算出手順

以下に、過渡事象から内的要因を取り除いた場合の機器カテゴリーごとの **FV** 重要度及び **RAW** の算出手順を説明する。

① **FV** 重要度

炉心損傷頻度 **CDF** のうちで、地震損傷に係る部分を CDF_S 、内的要因のみに係る部分を CDF_R とする (CDF_S には、地震損傷と内的要因の組合せも含むとする)。

CDF_S 及び CDF_R は、それぞれ独立であることから、**CDF** は、以下の式 (1) で表される。

$$CDF = CDF_S + CDF_R \quad \dots\dots\dots (1)$$

重要度評価対象とする機器カテゴリー x に対する **FV** 重要度 FV_x は、 x に係る損傷確率を 0.0 とした場合の炉心損傷頻度 $CDF_{x=0}$ を用いて、以下の式 (2) で表される。

$$FV_x = \frac{CDF - CDF_{x=0}}{CDF} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$CDF_{x=0}$ は地震損傷事象のみに関連していることから、 CDF_S に対して x に係る損傷確率を 0.0 とした場合の炉心損傷頻度を $CDF_{Sx=0}$ とすると、 $CDF_{x=0}$ は式 (1) より以下の式 (3) で表される。

$$CDF_{x=0} = CDF_{Sx=0} + CDF_R \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、内的要因に係る CDF_R は、過渡事象とそれ以外の起因事象のそれぞれの内的要因に係る炉心損傷頻度の総和であることから、過渡事象に係る部分を CDF_{Rtr} 、過渡事象以外の起因事象に係る部分を CDF_{Retc} とすると、式 (3) は以下の式 (4) で表される。

$$CDF_{x=0} = CDF_{Sx=0} + CDF_{Rtr} + CDF_{Retc} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式 (1) 及び式 (4) を式 (2) に代入すると、式 (5) を得る。

$$FV_x = \frac{(CDF_S + CDF_{Rtr} + CDF_{Retc}) - (CDF_{Sx=0} + CDF_{Rtr} + CDF_{Retc})}{(CDF_S + CDF_{Rtr} + CDF_{Retc})} \dots (5)$$

過渡事象から内的要因を取り除いた場合の機器カテゴリ x に対する FV 重要度を FV'_x とすると、 FV'_x は、式 (5) で $CDF_{Rtr} = 0.0$ の場合であり、以下の式 (6) で表すことができる。

$$FV'_x = \frac{(CDF_S + CDF_{Retc}) - (CDF_{Sx=0} + CDF_{Retc})}{(CDF_S + CDF_{Retc})} \dots (6)$$

地震 PSA コードからは、機器カテゴリ x に対する FV 重要度 FV_x の他に、 $CDF_{x=0}$ が出力される。この値から CDF_{Rtr} を引くことによって式 (6) の分子の右側 ($CDF_{Sx=0} + CDF_{Retc}$) を得ることができる。また、過渡事象から内的要因を取り除いた場合の炉心損傷頻度 ($CDF_S + CDF_{Retc}$) は感度解析で算出している。これらから、 FV'_x を算出することが可能である。

② RAW

重要度評価対象とする機器カテゴリ x に対する RAW_x は、 x に係る損傷確率を 1.0 とした場合の炉心損傷頻度 $CDF_{x=1}$ を用いて、以下の式 (7) で表される。

$$RAW_x = \frac{CDF_{x=1}}{CDF} \dots (7)$$

$CDF_{x=1}$ は地震損傷事象のみに関連していることから、 CDF_S に対して x に係る損傷確率を 1.0 とした場合の炉心損傷頻度を $CDF_{Sx=1}$ とすると、 $CDF_{x=1}$ は式 (1) より以下の式 (8) で表される。

$$CDF_{x=1} = CDF_{Sx=1} + CDF_R \dots (8)$$

さらに、式 (8) は以下の式 (9) で表される。

$$CDF_{x=1} = CDF_{Sx=1} + CDF_{Rtr} + CDF_{Retc} \dots (9)$$

式 (1) 及び式 (9) を式 (7) に代入すると、式 (10) を得る。

$$RAW_x = \frac{(CDF_{Sx=1} + CDF_{Rtr} + CDF_{Retc})}{(CDF_S + CDF_{Rtr} + CDF_{Retc})} \dots\dots\dots (10)$$

過渡事象から内的要因を取り除いた場合の機器カテゴリ x に対する RAW を RAW'_x とすると、 RAW'_x は、式 (10) で $CDF_{Rtr} = 0.0$ の場合であり、以下の式 (11) で表すことができる。

$$RAW'_x = \frac{(CDF_{Sx=1} + CDF_{Retc})}{(CDF_S + CDF_{Retc})} \dots\dots\dots (11)$$

地震 PSA コードからは、機器カテゴリ x に対する RAW_x の他に、 $CDF_{x=1}$ が出力される。この値から CDF_{Rtr} を引くことによって式 (11) の分子 ($CDF_{Sx=1} + CDF_{Retc}$) を得ることができる。また、過渡事象から内的要因を取り除いた場合の炉心損傷頻度 ($CDF_S + CDF_{Retc}$) は感度解析で算出している。これらから、 RAW'_x を算出することが可能である。