

津波高さ区分 1 で発生する起因事象である外部電源喪失について第 3.1.4.2-28 図のとおり、影響緩和機能及び収束シナリオを特定した。

収束シナリオの特定においては、炉心の未臨界性が確保され、かつ、燃料が安定、継続的に冷却される状態に至るシナリオを収束シナリオ（冷却成功）とし、この状態に至らないシナリオを燃料の重大な損傷に至るシナリオ（炉心損傷）とした。

なお、「外部電源喪失」の収束シナリオ①、②、③、④、⑤、⑥、⑦、⑧及び⑨の概要は以下のとおり。

- ・ 収束シナリオ①:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、余熱除去系を用いた 1 次系冷却を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ②:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ①で期待していた「余熱除去系による冷却」に失敗した場合に、燃料取替用水タンクを水源とした充てんポンプによる炉心注水により炉心冷却を行う。燃料取替用水タンク水位低下後は、再循環切替を行い、格納容器スプレイポンプを用いた代替再循環炉心冷却により崩壊熱除去を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ③:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ②で期待していた「格納容器スプレイによる代替再循環炉心冷却」に失敗した場合に、高圧注入ポンプによる再循環炉心冷却及び格納容器スプレイによる再循環格納容器冷却を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ④:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ③で期待していた「格納容器スプレイによる再循環格納容器冷却」に失敗した場合に、原子炉補機冷却水を用いた原子炉格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ⑤:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ②で期待していた「充てん注入による炉心への注水」に失敗した場合に、燃料取替用水タンクを水源とした高圧注入ポンプによる炉心注水により炉心冷却を行う。燃料取替用水タンク水位低下後は、再循環切替を行い、格納容器スプレイポンプを用いた代替再循環炉心冷却により崩壊熱除去を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ⑥:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ⑤で期待していた「格納容器スプレイによる代替再循環炉心冷却」に失敗した場合に、高圧注入ポンプによる再循環炉心冷却及び格納容器スプレイによる再循環格納容器冷却を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ⑦:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ⑥で期待していた「格納容器スプレイによる再循環格納容器冷却」に失敗した場合に、原子炉補機冷却水を用いた原子炉格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ⑧:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ⑤で期待していた「高圧注入による炉心への注水」に失敗した場合に、燃料取替用水タンクを水源とした常設電動注入ポンプによる炉心注水により炉心冷却を行う。燃料取替用水タンク水位低下後は、再循環切替を行い、格納容器スプレイポンプを用いた代替再循環炉心冷却により崩壊熱除去を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

・ 収束シナリオ⑨:

ミッドループ運転時に起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動失敗等により非常用所内電源からの給電がない状態で、大容量空冷式発電機により交流電源を復旧させ、燃料取替用水タンクを水源とした常設電動注入ポンプによる代替炉心注水により炉心冷却を行う。移動式大容量ポンプ車による補機冷却機能回復後に高圧注入ポンプによる再循環炉心冷却及び格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

i 項にて抽出した各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、各々の機能喪失を引き起こす設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さを第 3.1.4.2-27 表のとおり特定した。

iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

外部電源喪失の収束シナリオ①～⑨の機能喪失に係る許容津波高さについて、第 3.1.4.2-29 図のとおり特定した。

各収束シナリオについて評価した結果、収束シナリオ①～⑨の機能喪失に係る許容津波高さが 12.0m 以上であることから、津波高さ区分 1 (11.0～12.0m 未満) で発生する「外部電源喪失」は収束可能であり、炉心損傷に至ることはない。

このため、より大きな津波高さにより発生する、津波高さ区分 2 (12.0～13.0m 未満) に対して以下のとおり評価を行った。

II 津波高さ区分 2 (12.0～13.0m 未満) に対する評価結果

i 影響緩和機能及び収束シナリオの特定

津波高さ区分 2 において新たに追加して発生する起因事象である原子炉補機冷却海水系の全喪失を考慮し、「外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失」について、第 3.1.4.2-30 図のとおり、影響緩和機能及び収束シナリオを特定した。

なお、「外部電源喪失+原子炉補機冷却機能の全喪失」の収束シナリオ①の概要は以下のとおり。

・ 収束シナリオ①:

起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動失敗等により非常用所内電源からの給電がない状態で、大容量空冷式発電機により交流電源を復旧させ、燃料取替用水タンクを水源とした常設電動注入ポンプによる代替炉心注水により炉心冷却を行う。移動式大容量ポンプ車による補機冷却機能回復後に、高圧注入ポンプによる再循環炉心冷却及び海水を用いた格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却により崩壊熱除去を行うことで燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

i 項にて抽出した各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、各々の機能喪失を引き起こす設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さを第 3.1.4.2-28 表のとおり特定した。

iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

「外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」の収束シナリオ①の機能喪失に係る許容津波高さについて、第 3.1.4.2-31 図のとおり特定した。

評価の結果、収束シナリオ①の機能喪失に係る許容津波高さが 13.0m 以上であることから、津波高さ区分 2 (12.0～13.0m 未満) で発生する「主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」は収束可能であり、炉心損傷に至ることはない。

このため、より大きな津波高さにより発生する、津波高さ区分 3 (13.0m 以上) に対して以下のとおり評価を行った。

III 津波高さ区分 3 (13.0m 以上) に対する評価結果

i 影響緩和機能及び収束シナリオの特定

津波高さ区分 3 において新たに追加して発生する起因事象は原子炉冷却材圧力バウンダリ機能喪失、水位維持失敗、余熱除去機能喪失及び炉心損傷直結である。これらのうち、炉心損傷直結は影響緩和機能に期待せず、直接炉心損傷に至るとみなすことから収束シナリオは作成していない。原子炉冷却材圧力バウンダリ機能喪失、水位維持失敗及び余熱除去機能喪失は影響緩和機能に期待できるものの、同時に炉心損傷直結が発生していることから、影響緩和機能及び収束シナリオの特定は不要である。

ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

i 項のとおり、直接炉心損傷に至ることから、影響緩和機能はない。

iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

i 項のとおり、直接炉心損傷に至ることから、収束シナリオはない。

よって、炉心損傷直結の許容津波高さである 13m で炉心損傷に至る。

すなわち、炉心損傷を防止する観点では、津波高さ区分 2 における「外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」の収束シナリオ①の許容津波高さ及び津波高さ区分 3 における炉心損傷直結の許容津波高さが 13m となることから、これをクリフエッジとして特定した。クリフエッジの特定において、各影響緩和機能（フロントライン系及びサポート系）に関連する設備等の系統概要図を第 3.1.4.2-44 図、機器リストを参考資料-3 に示す。

このクリフエッジシナリオ（津波高さ区分 2 の収束シナリオ①の緩和シナリオ）では、起因事象として外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系の全喪失が重畳して発生した後、大容量空冷式発電機による交流電源を復旧させた状態で、RWST を水源として常設電動注入ポンプによる代替炉心注水により炉心冷却を行う。

その後、移動式大容量ポンプ車によって補機冷却機能を回復し、高圧注入ポンプによる再循環炉心冷却を行い、格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却により崩壊熱除去を行う。

このように、クリフエッジ津波高さ(13m)未満であれば、海水を最終ヒートシンクとした安定、継続的な冷却が行われることになり、燃料の重大な損傷に至る事態は回避されることとなるが、クリフエッジ津波高さを超えた場合は、大容量空冷式発電機からの給電が喪失し、常設電動注入ポンプによる注水不能となり、炉心損傷へ至ることとなる。

b. 格納容器機能喪失防止対策

イ 評価方法

格納容器機能喪失を防止するための措置について、以下の評価を実施する。(第 3.1.4.2-32 図参照)

(イ) 起回事象の選定

津波発生時の安全裕度評価における起回事象は、「3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)」に示す津波 PRA の検討結果を踏まえて選定する。

(ロ) 各起回事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分の特定

(イ)項にて選定した各起回事象を引き起こす設備等とその許容津波高さを、「3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)」に示す津波 PRA の検討結果を踏まえて特定する。

また、この結果を踏まえて、発生する起回事象に対応する津波高さ区分を設定する。

(ハ) クリフエッジ評価

(ロ)項にて設定した津波高さ区分の小さい順に、各区分で発生する起回事象に対して以下の i 項～iii 項の評価を実施するとともに、当該区分で格納容器機能喪失に至るかを評価する。

ここで、当該区分で格納容器機能喪失に至らない場合は、次の津波高さ区分を対象とし、新たな起回事象が追加して発生することを考慮して、以下の i 項～iii 項の評価を実施する。

評価対象の津波高さ区分において格納容器機能喪失に至る場合、起因事象に対する各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さのうち、最も大きいものがクリフエッジの津波高さとなる。

i 影響緩和機能及び収束シナリオの特定

当該の津波高さで発生する起因事象に対し、「3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)」に示す津波 PRA の検討結果を踏まえて、影響緩和機能及び収束シナリオを特定する。

ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

i 項にて特定した各影響緩和機能について、フロントライン系及びサポート系の各々に対し、機能喪失を引き起こす設備等とその許容津波高さを、「3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)」に示す津波 PRA の検討結果を踏まえて特定する。具体的には、影響緩和機能の機能喪失に係る許容津波高さは、フロントライン系とサポート系の機能喪失に至る各々の許容津波高さのうち、小さい方となる。

iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

ii 項にて特定した各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの結果から、各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さを特定する。具体的には、各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さは、当該収束シナリオに必要な各影響緩和機能の許容津波高さのうち、最も小さいものとなる。

ロ 評価結果

(イ) 起回事象の選定結果

出力運転時炉心評価での選定結果((2)a.(a)ロ(イ)項)と同様に、以下の4事象を選定した。

- ・ 外部電源喪失
- ・ 原子炉補機冷却海水系の全喪失
- ・ 主給水流量喪失
- ・ 炉心損傷直結

ここで、炉心損傷直結事象は、津波 PRA における複数の信号系損傷に該当する。なお、選定した起回事象の概要を第 3.1.4.2-29 表に示す。

(ロ) 各起回事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分の特定結果

出力運転時炉心評価での特定結果((2)a.(a)ロ(ロ)項)より、各起回事象を引き起こす設備等とその許容津波高さを第 3.1.4.2-30 表のとおり特定した。

また、この結果を踏まえて、発生する起回事象に対応する津波高さ区分 1~4 を同表のとおり設定した。

(ハ) クリフエッジ評価結果

クリフエッジの評価に当たっては、出力運転時炉心評価での評価結果((2)a.(a)ロ(ハ)項)より、津波高さ区分 1、2 及び 3 では炉心損傷に至らないことから、津波高さ区分 4 から評価を実施した。

I 津波高さ区分 4(13m 以上)に対する評価結果

i 影響緩和機能及び収束シナリオの特定

出力運転時炉心評価での評価結果((2)a.(a)ロ(ハ)項)より、津波高さ区分 4 では「主給水流量喪失+外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失」及び炉心損傷直結事象が発生することで、収束シナリオが成立せず炉心損傷に至る結果となっている。

そこで、「主給水流量喪失+外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失」により炉心損傷が発生している条件で第 3.1.4.2-33 図のとおり、影響緩和機能及び収束シナリオを特定した。

収束シナリオの特定においては、炉心が損傷した状態において原子炉格納容器内の除熱が安定的に継続されるシナリオを収束シナリオ(格納容器健全)とし、この状態に至らないシナリオを格納容器機能喪失に至るシナリオ(格納容器機能喪失)とした。

なお、「主給水流量喪失+外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失」の収束シナリオ①の概要は以下のとおり。

・ 収束シナリオ①:

炉心損傷発生の後、大容量空冷式発電機からの給電により格納容器隔離を行う。その後、イグナイタ及び PAR により水素濃度の低減を図り、1次系圧力が高い状態での原子炉容器破損を防止するために加圧器逃がし弁による1次系の減圧を行う。溶融炉心・コンクリート相互作用によるコンクリート侵食及びこれに伴う非凝縮性ガスの発生を抑制する観点から、常設電動注入ポンプにより原子炉下部キャビティへ注水を行う。また、原子炉格納容器圧力及び温度の上昇を抑制する観点から、常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプ

レイ並びに原子炉格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却を行うことで格納容器機能喪失に至る事態は回避される。

ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

i 項にて抽出した各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、各々の機能喪失を引き起こす設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さを第 3.1.4.2-31 表のとおり特定した。

iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

「主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」の収束シナリオ①の機能喪失に係る許容津波高さについて、第 3.1.4.2-34 図のとおり特定した。

評価の結果、収束シナリオ①の機能喪失に係る許容津波高さが 13.0m であり、当該の津波高さ区分 4(13m 以上)で格納容器機能喪失に至ることから、これをクリフエッジとして特定した。クリフエッジの特定において、各影響緩和機能(フロントライン系及びサポート系)に関連する設備等の系統概要図を第 3.1.4.2-44 図、機器リストを参考資料-3 に示す。

c. 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策

イ 評価方法

SFP にある燃料の損傷を防止するための措置について、以下の評価を実施する。(第 3.1.4.2-35 図参照)

(イ) 起回事象の選定

SFP 燃料損傷に至る事象として、SFP 冷却系の機能喪失、SFP 保有水の流出を考慮する。SFP 冷却系の機能喪失の原因として、SFP ポンプ・SFP 冷却器等の故障及び SFP 冷却系の運転をサポートする機器の故障を考慮して、起回事象を選定する。なお、SFP 保有水の流出原因として、SFP の本体損傷等が考えられるものの、津波を起因として SFP が破損することは考えにくいいため、起回事象としては考慮しない。

(ロ) 各起回事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分の特定

(イ) 項にて選定した各起回事象を引き起こす設備等とその許容津波高さを特定する。

また、この結果を踏まえて、発生する起回事象に対応する津波高さ区分を設定する。

(ハ) クリフエッジ評価

(ロ) 項にて設定した津波高さ区分の小さい順に、各区分で発生する起回事象に対して以下の i 項～iii 項の評価を実施するとともに、当該区分で SFP 燃料の損傷に至るかを評価する。

ここで、当該区分で SFP 燃料損傷に至らない場合は、次の津波高さ区分を対象とし、新たな起因事象が追加して発生することを考慮して、以下の i 項～iii 項の評価を実施する。

評価対象の津波高さ区分において SFP 燃料損傷に至る場合、起因事象に対する各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さのうち、最も大きいものがクリフエッジの津波高さとなる。

i 影響緩和機能及び収束シナリオの特定

当該の津波高さで発生する起因事象に対し、影響緩和機能及び収束シナリオを特定する。

ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

i 項にて特定した各影響緩和機能について、フロントライン系及びサポート系の各々に対し、機能喪失を引き起こす設備等とその許容津波高さを特定する。具体的には、影響緩和機能の機能喪失に係る許容津波高さは、フロントライン系とサポート系の機能喪失に至る各々の許容津波高さのうち、小さい方となる。

iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

ii 項にて特定した各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの結果から、各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さを特定する。具体的には、各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さは、当該収束シナリオに必要な各影響緩和機能の許容津波高さのうち、最も小さいものとなる。

ロ 評価結果

(イ) 起回事象の選定結果

津波発生時の安全裕度評価における起回事象については、以下の

3 事象を選定した。

- ・ 原子炉補機冷却海水系の全喪失
- ・ SFP 冷却機能喪失
- ・ 外部電源喪失

なお、選定した起回事象の概要を第 3.1.4.2-32 表に示す。

(ロ) 各起回事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分の特定結果

各起回事象を引き起こす設備等とその許容津波高さを第 3.1.4.2-33 表のとおり特定した。

また、この結果を踏まえて、発生する起回事象に対応する津波高さ区分 1 及び 2 を同表のとおり設定した。

(ハ) クリフエッジ評価結果

I 津波高さ区分 1 (11.0～12.0m 未満) に対する評価結果

i 影響緩和機能及び収束シナリオの特定

津波高さ区分 1 で発生する起回事象である外部電源喪失について、第 3.1.4.2-36 図のとおり、影響緩和機能及び収束シナリオを特定した。

収束シナリオの特定においては、SFP の未臨界性が確保され、かつ、燃料が安定、継続的に冷却される状態に至るシナリオを収束シナリオ (冷却成功) とし、この状態に至らないシナリオを燃料の重大な損傷に至るシナリオ (SFP 燃料損傷) とした。

なお、「外部電源喪失」の収束シナリオ①、②、③及び④の概要は以下のとおり。

- ・ 収束シナリオ①:

起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、SFP 冷却系による冷却を行うことで SFP にある燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ②:

起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ①で期待していた「SFP 冷却系による冷却」に失敗した場合に、燃料取替用水ポンプにより燃料取替用水タンクのほう酸水を SFP に注入することで SFP にある燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ③:

起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源から給電されている状態で、収束シナリオ②で期待していた「燃料取替用水ポンプによる注水」に失敗した場合に、使用済燃料ピット補給用水中ポンプにより海水又は淡水を SFP に注入することで SFP にある燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ・ 収束シナリオ④:

起因事象発生の後、ディーゼル発電機の起動失敗等により非常用所内電源からの給電がない状態で、使用済燃料ピット補給用水

中ポンプにより海水又は淡水を SFP に注入することで SFP にある燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

i 項にて抽出した各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、各々の機能喪失を引き起こす設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さを第 3.1.4.2-34 表のとおり特定した。

iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

外部電源喪失の収束シナリオ①～④の機能喪失に係る許容津波高さについて、第 3.1.4.2-37 図のとおり特定した。

各収束シナリオについて評価した結果、すべての収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さが 12m 以上であることから、津波高さ区分 1 (11.0～12.0m 未満) で発生する「外部電源喪失」は収束可能であり、SFP 燃料損傷に至ることはない。

このため、より大きな津波高さで発生する、津波高さ区分 2 (12.0～13.0m 未満) に対して以下のとおり評価を行った。

II 津波高さ区分 2 (12.0～13.0m 未満) に対する評価結果

i 影響緩和機能及び収束シナリオの特定

津波高さ区分 2 において新たに追加して発生する起因事象である原子炉補機冷却海水系の全喪失及び従属的に発生する SFP 冷却機能喪失を考慮し、「外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」

について、第 3.1.4.2-38 図のとおり、影響緩和機能及び収束シナリオを特定した。

ここで、原子炉補機冷却海水系の全喪失に対して、SFP 冷却機能喪失が従属的に発生する場合であっても、原子炉補機冷却海水系を必要としない影響緩和機能に期待できれば、燃料を安定、継続的に冷却することができるため、原子炉補機冷却海水系の全喪失の影響緩和機能に対して評価を実施することとした。

なお、「外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」の収束シナリオ①の概要は以下のとおり。

- ・ 収束シナリオ①:

- 起因事象発生の後、使用済燃料ピット補給用水中ポンプにより海水又は淡水を SFP に注水することで SFP にある燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

- ii 各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さの特定

- i 項にて抽出した各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、各々の機能喪失を引き起こす設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さを第 3.1.4.2-35 表のとおり特定した。

- iii 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さの特定

- 「外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」の収束シナリオ①の機能喪失に係る許容津波高さについて、第 3.1.4.2-39 図のとおり特定した。

評価の結果、収束シナリオ①の SFP 補給用水中ポンプによる海水注水の許容津波高さである 28m で機能喪失することで、SFP 燃料損傷に至る。

また、当該の津波高さ区分 2 (12.0～13.0m 未満)を超えた範囲 (13.0m 以上)で追加の起因事象が発生しないことから、これをクリフエッジとして特定した。クリフエッジの特定において、各影響緩和機能(フロントライン系及びサポート系)に関連する設備等の系統概要図を第 3.1.4.2-44 図、機器リストを参考資料-3 に示す。

このクリフエッジシナリオ(収束シナリオ①の緩和シナリオ)では、起因事象として外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系の全喪失が重畳して発生した後、SFP 補給用水中ポンプによって海水又は淡水を注水することにより SFP 冷却を行う。

このようにクリフエッジ津波高さ(28m)未満であれば、SFP 補給用水中ポンプを用いて海水を SFP に注入することにより安定、継続的な冷却が行われることとなり、SFP にある燃料の重大な損傷に至る事態は回避されることになるが、クリフエッジ津波高さを超えた場合は、SFP 補給用水中ポンプ、取水用水中ポンプ、水中ポンプ用発電機及びタンクローリーの機能喪失に伴い、SFP 補給用水中ポンプによる海水注水が喪失してしまい、SFP 燃料損傷に至ることとなる。

d. 遡上解析による検証

(a) 遡上解析の目的

津波対策の有効性をより現実的なものとして確認するため、津波の遡上解析を実施する。ここでは、川内 1/2 号機第 2 回安全性向上評価届出書(1号:平成 31 年 1 月 7 日付け原発本第 247 号、2 号:平成 31 年 3 月 28 日付け原発本 326 号)(以下「川内 1/2 号機第 2 回安全性向上評価」という。)における「その他の自然現象に対する評価」の評価方針を踏まえ、設計上の想定を超えかつ低頻度の規模の津波を想定した遡上解析を行うことで、発電所に及ぼす影響について確認を行った。

(b) 遡上解析で考慮する津波の設定

川内 1/2 号機第 2 回安全性向上評価の「その他の自然現象に対する評価」では、設計基準事故及び重大事故の設計で設定されている事象より大きい規模、かつ、かなり可能性の低い事象として、年超過確率 10^{-6} 相当のハザードによる発電所に対する影響を評価している。この評価方針と津波が福島第一原子力発電所事故の直接的原因であることを踏まえ、年超過確率 10^{-7} 相当の規模となる仮想的な津波を入力条件として想定した。

津波の波源は基準津波と同じ、対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の連動とした津波波源を想定し、津波高さが EL.約+5.0m となるように、基準津波の波形を比例倍し、非線形長波理論に基づき平面二次元の差分法を用いて数値シミュレーションを行うことで、遡上解析で考慮する津波を設定した。

数値シミュレーションの計算条件を第 3.1.4.2-36 表、計算格子分割を第 3.1.4.2-40 図に示す。また、遡上解析で考慮する津波の玄海 3/4 号機取水ピット前面位置における時刻歴波形を第 3.1.4.2-41 図に示す。

(c) 敷地周辺の遡上・浸水域の評価結果

遡上解析結果のうち、第 3.1.4.2-42 図に最高水位分布を、第 3.1.4.2-43 図に最大浸水深分布を示す。

重要な安全機能を有する設備を内包する建屋が設置される EL.+11.0m まで遡上しない結果となった。

(d) 津波対策の有効性確認結果

遡上解析の結果、重要な安全機能を有する設備を内包する建屋が設置される EL.+11.0m まで遡上せず、クリフエッジ高さを上回らないことを確認した。また、漂流物の衝撃による原子炉補助建屋、水密扉及び貫通部止水処置などへの影響が考えられないことを確認した。

第 3.1.4.2-18 表 選定した起回事象の概要

| 起回事象 | 事象概要 |
|----------------|--|
| 外部電源喪失 | 外部電源系に係る設備の損傷により外部電源による給電が喪失する事象 |
| 原子炉補機冷却海水系の全喪失 | 原子炉補機冷却海水系のポンプ・配管等が損傷し、原子炉補機冷却機能の全喪失に至る事象 |
| 主給水流量喪失 | 主給水系に係る設備の損傷により、主給水系統による蒸気発生器への給水機能が喪失する事象 |
| 炉心損傷直結 | 津波により建屋全体が浸水して、重要な設備・機器が複数損傷することで事象緩和手段が喪失し炉心損傷を回避できない事象 |

第 3.1.4.2-19 表 各起因事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分の

特定結果(津波:出力運転時炉心損傷)

| 津波高さ区分 | | 各津波高さ区分で追加して発生する起因事象 | 各起因事象を引き起こす設備等と許容津波高さ | | 備考 |
|---------|------------------|----------------------|-----------------------|-------|--|
| — | ～9.1m 未満 | — | — | — | — |
| 区分 1 | 9.1～11.0m 未満 | 主給水流量喪失 | 復水ポンプ | 9.1m | — |
| 区分 2 | 11.0～12.0m 未満 | 外部電源喪失 | 予備変圧器遮断器 | 11.0m | — |
| 区分 3 | 12.0～13.0m 未満 | 原子炉補機冷却海水系の全喪失 | 海水ポンプ | 12.0m | — |
| 区分 4 | 13m 以上 | 炉心損傷直結 | メタルクラッド開閉装置 他 | 13m | 建屋内(CV外)の機器のほとんどが浸水・水没するため、プラントの重要な制御・保護機能が不能となり直接炉心損傷となる。 |

第 3.1.4.2-20 表 フロントライン系とサポート系の関連表(津波:出力運転時炉心損傷(区分 1))

| | | | フロントライン系 | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|----------------|--------------|--------|-----------------------------|----------------|---------------|------------------------|-----------------------|-------------|---------------|--------------------------|-------------------|------------|----------------------|--------------------------|
| | | | 影響緩和機能 | 原子炉停止 | 補助給水による蒸気発生器への給水(電動又はタービン動) | | 充てん系によるほう飛の添加 | 主蒸気逃し弁による蒸放出(手動・中央制御室) | 加圧器逃し弁による減圧(手動・中央制御室) | 余熱除去系による冷却 | フィードアンドブリード | | | | | |
| | | | | | 電動 | タービン動 | | | | | 高圧注入による炉心への注水 | 加圧器逃し弁による減圧(フィードアンドブリード) | 格納容器スプレーによる格納容器除熱 | 高圧注入による再循環 | 格納容器スプレーによる再循環格納容器冷却 | 格納容器自然対流冷却による格納容器除熱(CCW) |
| 設備 | — | 電動補助給水ポンプ | タービン動補助給水ポンプ | ほう飛ポンプ | 主蒸気逃し弁 | 制御用空気供給ライン外隔離弁 | 余熱除去ポンプ | 高圧注入ポンプ | 制御用空気供給ライン外隔離弁 | 格納容器スプレーポンプ | 高圧注入ポンプ | 格納容器スプレーポンプ | 原子炉補機冷却水ポンプ | | | |
| サポート系 | 影響緩和機能 | 設備 | — | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | |
| | 6.6kV AC 電源 | メタルクラッド開閉装置 | 13m | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 440V AC 電源 | パワーセンタ | 13m | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 125V DC 電源 | 充電器盤 | 13m | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 115V AC 電源 | 計装分電盤 | 13m | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 原子炉補機冷却水系 | 原子炉補機冷却水ポンプ | 13m | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 海水系 | 海水ポンプ | 12m | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| | 制御用空気系 | 制御用空気圧縮装置 | 13m | | | | ○ | ○ | | | ○ | | | | | |
| | 再循環切替 | C/V 再循環サンプ外隔離弁 | 13m | | | | | | | | | ○ | ○ | | | |
| | RWST | CLIP 非常用補給弁 | 13m | | | | | | | | ○ | | ○ | | | |
| | 中間補機棟空調系 | 中間補機棟空調ファン | 13m | | ○ | | | | | | | | | | | |
| | 空調用冷水系 | 空調用冷水ポンプ | 13m | | ○ | | | | | | | | | | | |
| 影響緩和機能の許容津波高さ | | | — | 12m | 13m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | |

○:フロントライン系の機能に必要なサポート系であることを示す

●:○に該当する項目のうち、各緩和機能のうち最も許容津波高さの小さい項目であることを示す

第 3.1.4.2-22 表 フロントライン系とサポート系の関連表(津波:出力運転時炉心損傷(区分 3))

| | | | フロントライン系 | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|----------------|----------|-------|-------------------------|--------------|----------------|----------------------|---------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| | | | 影響緩和機能 | 原子炉停止 | 補助給水による蒸気発生器への給水(タービン動) | RCPシールド-LOCA | 大容量空冷式発電機からの給電 | 主蒸気逃がし弁による熱放出(手動・現場) | 蓄圧注入による炉心への注水 | 常設電動注入ポンプによる炉心への注水 | 移動式大容量ポンプ車による補機冷却 | 高圧注入による自循環炉心冷却(海水) | 格納容器内自然対流冷却による格納容器除熱(海水) |
| | | | 設備 | — | タービン動補助給水ポンプ | — | 重大事故等対処用制御盤 | 主蒸気逃がし弁 | 1次系試料採取装置盤 | 常設電動注入ポンプ | 3C CCW 戻り母管止弁 | 3B 高圧注入ポンプ | 3C CCW 戻り母管止弁 |
| サポート系 | 影響緩和機能 | 設備 | — | 13m | — | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m |
| | 6.6kV AC 電源 | メタリックラック開閉装置 | 13m | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 440V AC 電源 | パワーセンタ | 13m | ● | | | ● | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 125V DC 電源 | 充電器盤 | 13m | ● | | ● | | | ● | | ● | | |
| | 115V AC 電源 | 計装分電盤 | 13m | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | バッテリー | 蓄電池 | 13m | ● | | ● | | | | | | | |
| | 移動式大容量ポンプ車 | 3C CCW 戻り母管止弁 | 13m | | | | | | | | ● | ● | |
| | 可循環切替 | C/V 再循環サンプ外周離弁 | 13m | | | | | | | | ● | | |
| | RWST | CHP 非常用補給弁 | 13m | | | | | | ● | | | | |
| 影響緩和機能の許容津波高さ | | | — | 13m | — | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m |

○:フロントライン系の機能に必要なサポート系であることを示す

●:○に該当する項目のうち、各緩和機能のうち最も許容津波高さの小さい項目であることを示す

第 3.1.4.2-23 表 津波 PRA における起因事象に対する検討

(津波:運転停止時炉心損傷)

| 津波 PRA における 起因事象 | 今回の安全裕度 評価における 想定要否 | 備 考 |
|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| 外部電源喪失 | ○ | — |
| 原子炉補機冷却海水 系の全喪失 | ○ | — |
| 主給水流量喪失 | × | ミッドループ運転中に発生することはないため対象外とする。 |
| 複数の信号系損傷 | ○ | — |

第 3.1.4.2-24 表 内部事象停止時 PRA における起因事象に対する検討

(津波:運転停止時炉心損傷) (1/2)

| 内部事象停止時 PRA における起因事象 | 今回の安全裕度 評価における 想定要否 | 備 考 |
|-------------------------|---------------------------|---|
| 原子炉冷却材圧力 バウンダリ機能喪失 | ○ | — |
| 加圧器逃がし弁/ 安全弁 LOCA | × | ミッドループ運転中に発生することはないため対象外とする。 |
| オーバードレン | × | 安全裕度評価では津波時に運転員が誤操作することを想定しない。 |
| 水位維持失敗 | ○ | — |
| 余熱除去機能喪失 | ○ | — |
| 原子炉補機冷却水系 の全喪失 | × | 当該事象が発生した場合、複数の信号系損傷となることから「複数の信号系の損傷」に包絡される。 |
| 原子炉補機冷却水系 の部分喪失 | × | 損傷時には全系列損傷を想定する。 |
| 原子炉補機冷却海水系 の全喪失 | ○ | — |
| 外部電源喪失 | ○ | — |
| 安全系高圧(低圧)交流 母線の全喪失 | × | 当該事象が発生した場合、複数の信号系損傷となることから「複数の信号系の損傷」に包絡される。 |
| 安全系直流母線 の全喪失 | × | |

第 3.1.4.2-24 表 内部事象停止時 PRA における起回事象に対する検討

(津波:運転停止時炉心損傷) (2/2)

| 内部事象停止時 PRA における起回事象 | 今回の安全裕度 評価における 想定要否 | 備 考 |
|-------------------------|---------------------------|---|
| 安全系高圧(低圧)交流 母線の部分喪失 | × | 損傷時には全系列損傷を想定する。 |
| 安全系直流母線 の部分喪失 | × | |
| 反応度の誤投入 | ○ | — |
| 制御用空気系の 部分喪失 | × | 当該事象が発生した場合、複数の 信号系損傷となることから「複数の 信号系の損傷」に包絡される。 |
| 制御用空気系の 全喪失 | × | |
| 主給水流量喪失 | × | ミッドループ運転中に発生すること はないため対象外とする。 |

第 3.1.4.2-25 表 選定した起因事象の概要

| 起因事象 | 事象概要 |
|-------------------|---|
| 外部電源喪失 | 外部電源系に係る設備の損傷により外部電源による給電が喪失する事象 |
| 原子炉補機冷却海水系の全喪失 | 原子炉補機冷却海水系のポンプ・配管等が損傷し、原子炉補機冷却海水系の全喪失に至る事象 |
| 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能喪失 | 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する弁が誤動作し、原子炉冷却材が系外へ流出する事象 |
| 水位維持失敗 | 化学体積制御系の損傷が発生し、充てん流量と抽出流量のアンバランスが生じることで RCS 水位が低下し、かつ、水位低下が継続する事象 |
| 余熱除去機能喪失 | 余熱除去系の弁やポンプ等の損傷により余熱除去系が機能喪失する事象 |
| 炉心損傷直結 | 津波により建屋全体が浸水して、重要な設備・機器が複数損傷することで事象緩和手段が喪失し炉心損傷を回避できない事象 |

第 3.1.4.2-26 表 各起因事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分の特定

結果(津波:運転停止時炉心損傷)

| 津波高さ区分 | | 各津波高さ区分で追加して発生する起因事象 | 各起因事象を引き起こす設備等と許容津波高さ | | 備考 |
|---------|------------------|---|-----------------------|-------|---|
| — | ～11.0m 未満 | — | — | — | — |
| 区分 1 | 11.0～12.0m 未満 | 外部電源喪失 | 予備変圧器 | 11.0m | — |
| 区分 2 | 12.0～13.0m 未満 | 原子炉補機冷却海水系の全喪失 | 海水ポンプ | 12.0m | — |
| 区分 3 | 13.0m 以上 | 炉心損傷直結 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能喪失 水位維持失敗 余熱除去機能喪失 | メタルクラッド開閉装置 他 | 13m | 建屋内(CV 外)の機器のほとんどが浸水・水没するため、プラントの重要な制御・保護機能が不能となり直接炉心損傷となる。 |

第 3.1.4.2-27 表 フロントライン系とサポート系の関連表(津波:運転停止時炉心損傷(区分 1))

| | | | フロントライン系 | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|-------------------|----------|--------------|------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------------|---------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| | | | 影響緩和機能 | 非常用所内電源からの給電 | 余熱除去系による冷却 | 充てん注入による炉心への注水 | 格納容器スプレイによる代替再循環炉心冷却 | 高圧注入による再循環炉心冷却 | 格納容器スプレイによる再循環格納容器冷却 | 格納容器内自然対流冷却による格納容器加熱 | 高圧注入による炉心への注水 | 常設電動注入ポンプによる炉心への注水 | 大容量空冷式発電機からの給電 | 移動式大容量ポンプ車による補機冷却 | 高圧注入による再循環炉心冷却(海水) | 格納容器内自然対流冷却による格納容器加熱(海水) |
| | | | 設備 | ディーゼル発電機内燃機関 | 余熱除去ポンプ | 充てんポンプ | 3B 格納容器スプレイポンプ | 高圧注入ポンプ | 格納容器スプレイポンプ | 原子炉補機冷却水ポンプ | 高圧注入ポンプ | 常設電動注入ポンプ | 重大事故等対処用制御盤 | 3C CCW 戻り母管止弁 | 3B 高圧注入ポンプ | 3C CCW 戻り母管止弁 |
| サポート系 | 影響緩和機能 | 設備 | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | |
| | 6.6kV AC 電源 | スタングラッド開閉装置 | 13m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | |
| | 440V AC 電源 | パワーセンタ | 13m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | |
| | 125V DC 電源 | 充電器盤 | 13m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | |
| | 115V AC 電源 | 計装分電盤 | 13m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | |
| | バッテリー | 蓄電池 | 13m | ○ | | | | | | | | ● | | | | |
| | 原子炉補機冷却水系 | 原子炉補機冷却水ポンプ | 13m | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| | 海水系 | 海水ポンプ | 12m | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | |
| | 移動式大容量ポンプ車 | 3C CCW 戻り母管止弁 | 13m | | | | | | | | | | | ● | ● | |
| | 再循環切替 | C/V 再循環サンフ外隔離弁 | 13m | | | | ○ | ○ | ○ | | | | | ● | | |
| | RWST | CHP 非常用補給弁 | 13m | | | ○ | | | | | ○ | ● | | | | |
| | ディーゼル発電機室換気系 | ディーゼル発電機コントロールセンタ | 13m | ○ | | | | | | | | | | | | |
| 影響緩和機能の許容津波高さ | | | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 12m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | |

○:フロントライン系の機能に必要なサポート系であることを示す

●:○に該当する項目のうち、各緩和機能のうち最も許容津波高さの小さい項目であることを示す

第 3.1.4.2-28 表 フロントライン系とサポート系の関連表(津波:運転停止時炉心損傷(区分 2))

| | | | フロントライン系 | | | | | |
|---------------|-------------|----------------|----------|----------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| | | | 影響緩和機能 | 大容量空冷式発電機からの給電 | 常設電動注入ポンプによる炉心への注水 | 移動式大容量ポンプ車による補機冷却 | 高圧注入による再循環炉心冷却(海水) | 格納容器内自然対流冷却による格納容器除熱(海水) |
| | | | 設備 | 重大事故等対処用制御盤 | 常設電動注入ポンプ | 3C CCW 戻り母管止弁 | 3B 高圧注入ポンプ | 3C CCW 戻り母管止弁 |
| サポート系 | 影響緩和機能 | 設備 | | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m |
| | 6.6kV AC 電源 | メタルクラッド開閉装置 | 13m | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 440V AC 電源 | パワーセンタ | 13m | | ● | ● | ● | ● |
| | 125V DC 電源 | 充電器盤 | 13m | ● | ● | | ● | |
| | 115V AC 電源 | 計装分電盤 | 13m | ● | ● | ● | ● | ● |
| | バッテリー | 蓄電池 | 13m | ● | | | | |
| | 移動式大容量ポンプ車 | 3C CCW 戻り母管止弁 | 13m | | | | ● | ● |
| | 再循環切替 | C/V 再循環サンブ外隔離弁 | 13m | | | | ● | |
| | RWST | CIIP 非常用補給弁 | 13m | | ● | | | |
| 影響緩和機能の許容津波高さ | | | | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m |

○:フロントライン系の機能に必要なサポート系であることを示す

●:○に該当する項目のうち、各緩和機能のうち最も許容津波高さの小さい項目であることを示す

第 3.1.4.2-29 表 選定した起回事象の概要

| 起回事象 | 事象概要 |
|----------------|--|
| 外部電源喪失 | 外部電源系に係る設備の損傷により外部電源による給電が喪失する事象 |
| 原子炉補機冷却海水系の全喪失 | 原子炉補機冷却海水系のポンプ・配管等が損傷し、原子炉補機冷却機能の全喪失に至る事象 |
| 主給水流量喪失 | 主給水系に係る設備の損傷により、主給水系統による蒸気発生器への給水機能が喪失する事象 |
| 炉心損傷直結 | 津波により建屋全体が浸水して、重要な設備・機器が複数損傷することで事象緩和手段が喪失し炉心損傷を回避できない事象 |

第 3.1.4.2-30 表 各起因事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分の

特定結果(津波:格納容器機能喪失)

| 津波高さ区分 | | 各津波高さ区分で追加して発生する起因事象 | 各起因事象を引き起こす設備等と許容津波高さ | | 備考 |
|--------|---------------|----------------------|-----------------------|-------|--|
| — | ～9.1m 未満 | — | — | — | — |
| 区分 1 | 9.1～11.0m 未満 | 主給水流量喪失 | 復水ポンプ | 9.1m | — |
| 区分 2 | 11.0～12.0m 未満 | 外部電源喪失 | 予備変圧器 遮断器 | 11.0m | — |
| 区分 3 | 12.0～13.0m 未満 | 原子炉補機冷却 海水系の全喪失 | 海水ポンプ | 12.0m | — |
| 区分 4 | 13m 以上 | 炉心損傷直結 | メタルクラッド 開閉装置 他 | 13m | 建屋内(CV外)の機器のほとんどが浸水・水没するため、プラントの重要な制御・保護機能が不能となり直接炉心燃料損傷となる。 |

第 3.1.4.2-31 表 フロントライン系とサポート系の関連表(津波:格納容器機能喪失(区分 4))

| | | | フロントライン系 | | | | | | |
|---------------|-----------------|---------------|----------|----------------|--------|-------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| | | | 影響緩和機能 | 大容量空冷式発電機からの給電 | 格納容器隔離 | イグナイト及び静的水素再結合装置による水素処理 | 加圧器逃がし弁(窒素ポンプ)による1次系強制減圧 | 常設電動注入ポンプによる格納容器スプレー | 格納容器内自然対流冷却による格納容器除熱(海水) |
| | | | 設備 | 重大事故等対処用制御盤 | 主盤 | 電気式水素燃焼装置分電盤 | 原子炉補助盤 | 常設電動注入ポンプ | 3C CCW 戻り母管止弁 |
| サポート系 | 影響緩和機能 | 設備 | | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m | 13m |
| | 6.6kV AC 電源 | メタルクラッド開閉装置 | 13m | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 440V AC 電源 | パワーセンタ | 13m | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 125V DC 電源 | 充電器盤 | 13m | ● | | | ● | ● | ● |
| | 115V AC 電源 | 計装用交流分電盤 | 13m | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | バッテリー | 蓄電池 | 13m | ● | | | | | |
| | 移動式大容量ポンプ車 | 3C CCW 戻り母管止弁 | 13m | | | | | | ● |
| | RWST | CHP 非常用補給弁 | 13m | | | | | ● | |
| | 中央制御室空調系(被ばく低減) | 中央制御室外気取入ダンパ | 13m | | | | | ● | ● |
| | アニュラス空気浄化系 | アニュラス空気浄化ファン | 13m | | | | | ● | ● |
| 影響緩和機能の許容津波高さ | | | | 13m | 13m | — | 13m | 13m | 13m |

○:フロントライン系の機能に必要なサポート系であることを示す

●:○に該当する項目のうち、各緩和機能のうち最も許容津波高さの小さい項目であることを示す

第 3.1.4.2-32 表 選定した起回事象の概要

| 起回事象 | 事象概要 |
|----------------|--|
| 原子炉補機冷却海水系の全喪失 | 原子炉補機冷却海水系のポンプ・配管等が損傷し、原子炉補機冷却機能の全喪失に至る事象 |
| SFP 冷却機能喪失 | 使用済燃料ピット水浄化冷却系統を構成する機器が損傷し、使用済燃料の冷却機能が喪失する事象 |
| 外部電源喪失 | 外部電源系に係る設備の損傷により外部電源による給電が喪失する事象 |

第 3.1.4.2-33 表 各起回事象発生に係る許容津波高さ及び津波高さ区分

の特定結果(津波:SFP 燃料損傷)

| 津波高さ区分 | | 各津波高さ区分で追加して発生する起回事象 | 各起回事象を引き起こす設備等と許容津波高さ | | 備考 |
|---------|------------------|----------------------------|-----------------------|-------|--|
| — | ～11.0m 未満 | — | — | — | — |
| 区分 1 | 11.0～12.0m 未満 | 外部電源喪失 | 予備変圧器遮断器 | 11.0m | — |
| 区分 2 | 12.0～13.0m 未満 | 原子炉補機冷却海水系の全喪失(SFP 冷却機能喪失) | 海水ポンプ | 12.0m | 「原子炉補機冷却海水系の全喪失」に伴い、従属的に「SFP 冷却機能喪失」が発生する。 |

第 3.1.4.2-34 表 フロントライン系とサポート系の関連表

(津波:SFP 燃料損傷(区分 1))

| | | | フロントライン系 | | | | |
|---------------|-----------------------|-----------------|----------|--------------|--------------|----------------|--|
| | | | 影響緩和機能 | 非常用所内電源からの給電 | SFP 冷却系による冷却 | 燃料取替用水ポンプによる注水 | SFP 補給用水中ポンプによる海水注水 |
| | | | 設備 | ディーゼル発電機内燃機関 | 使用済燃料ピットポンプ | 燃料取替用水ポンプ | SFP 補給用水中ポンプ 取水用水中ポンプ 水中ポンプ用発電機 タンククーラー |
| サポート系 | 影響緩和機能 | 設備 | | 13m | 13m | 13m | 28m |
| | 6.6kV AC 電源 | メタルクランプ 開閉装置 | 13m | ○ | ○ | ● | |
| | 440V AC 電源 | パワーセンタ | 13m | ○ | ○ | ● | |
| | 125V DC 電源 | 充電器盤 | 13m | ○ | ○ | | |
| | 115V AC 電源 | 計装分電盤 | 13m | ○ | ○ | ● | |
| | バッテリー | 蓄電池 | 13m | ○ | | | |
| | 原子炉補機冷却海水系 | 原子炉補機 冷却水ポンプ | 13m | | ○ | | |
| | 海水系 | 海水ポンプ | 12m | ● | ● | | |
| ディーゼル発電機室換気系 | ディーゼル発電機 コントロールセンタ | 13m | ○ | | | | |
| 影響緩和機能の許容津波高さ | | | | 12m | 12m | 13m | 28m |

○:フロントライン系の機能に必要なサポート系であることを示す

●:○に該当する項目のうち、各緩和機能のうち最も許容津波高さの小さい項目であることを示す

第 3.1.4.2-35 表 フロントライン系とサポート系の関連表

(津波:SFP 燃料損傷(区分 2))

| | | | フロントライン系 | |
|---------------|--------|----|----------|---|
| | | | 影響緩和機能 | SFP 補給用水中ポンプによる海水注水 |
| | | | 設備 | SFP 補給用水中ポンプ、取水用水中ポンプ、 水中ポンプ用発電機、タンククーラー |
| サポート系 | 影響緩和機能 | 設備 | | 28m |
| | なし | — | — | |
| 影響緩和機能の許容津波高さ | | | | 28m |

○:フロントライン系の機能に必要なサポート系であることを示す

●:○に該当する項目のうち、各緩和機能のうち最も許容津波高さの小さい項目であることを示す

第 3.1.4.2-36 表 数値シミュレーションの主な計算条件

| 項目 | 計算条件 |
|----------|---|
| 計算時間間隔 | 0.1 秒 |
| 計算領域 | 玄海原子力発電所周辺(南北約 13km、東西約 7km) |
| 格子分割サイズ | 沖合の最大 50m から、25、12.5、6.25m と 1/2 ずつ徐々に細かい格子サイズを設定 |
| 基礎方程式 | 慣性項、海底摩擦項を含む非線形長波方程式 |
| 境界条件 | 沖側境界:・基準津波の波形の比例倍 陸岸境界:・陸上遡上条件を考慮 ・静水面より下降する津波に対しては、移動境界条件を用いて海底露出を考慮 |
| 潮位条件 | T.P.±0.00m |
| 海底摩擦係数 | マニングの粗度係数 $n=0.025 \text{ m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ (小谷ほか(1998)) |
| 水平渦動粘性係数 | $0.0 \text{ m}^2/\text{s}$ |
| 地殻変動量 | 考慮しない |
| 計算時間 | 地震発生後 3 時間まで |

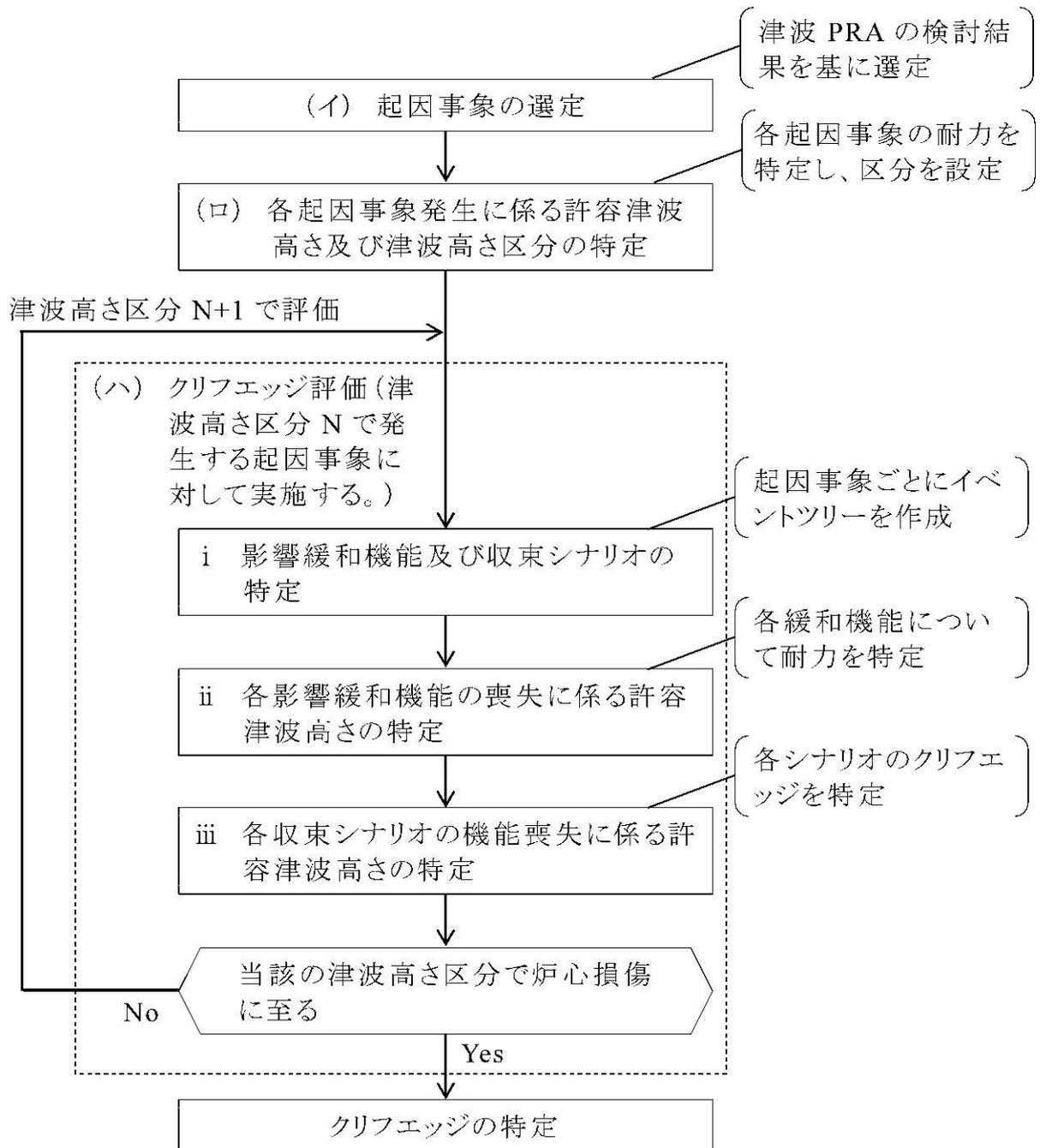
基礎方程式:非線形長波(浅水理論)の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

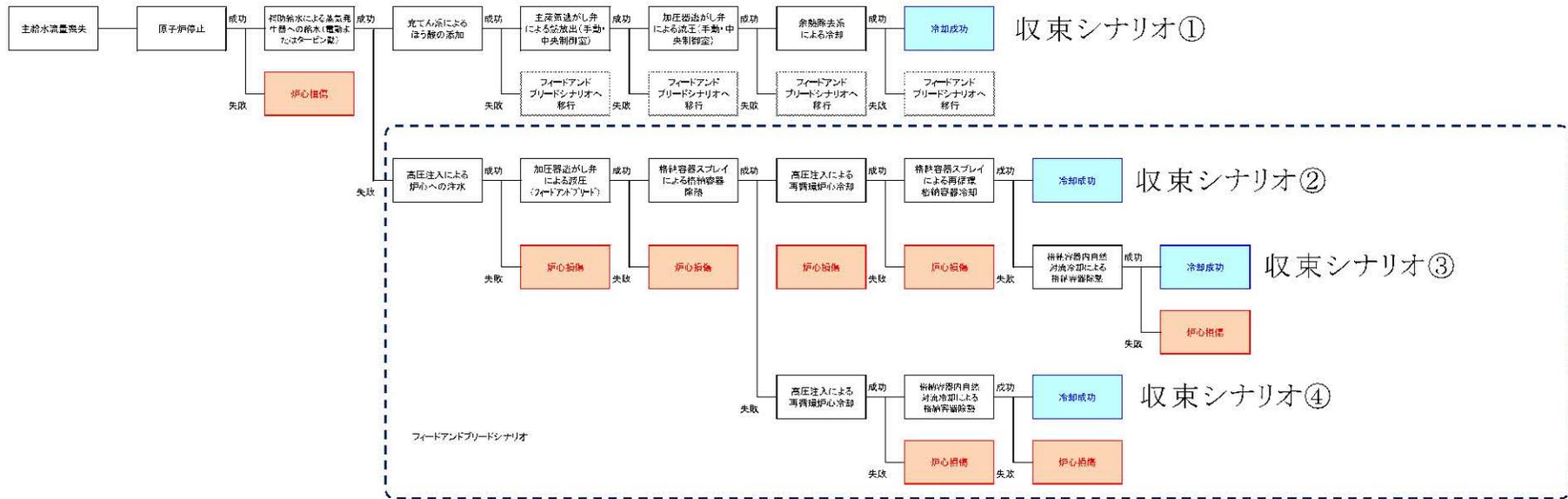
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

ここに t :時間、 x 、 y :平面座標、
 η :静水面から鉛直上方にとった水位変動量、
 M : x 方向の線流量、 N : y 方向の線流量、
 D :全水深($D = h + \eta$)、 h :静水深、 g :重力加速度、
 K_h :水平渦動粘性係数、 n :マニングの粗度係数



第 3.1.4.2-20 図 クリフエッジの特定に係るフロー図 (津波:出力運転時炉心損傷)

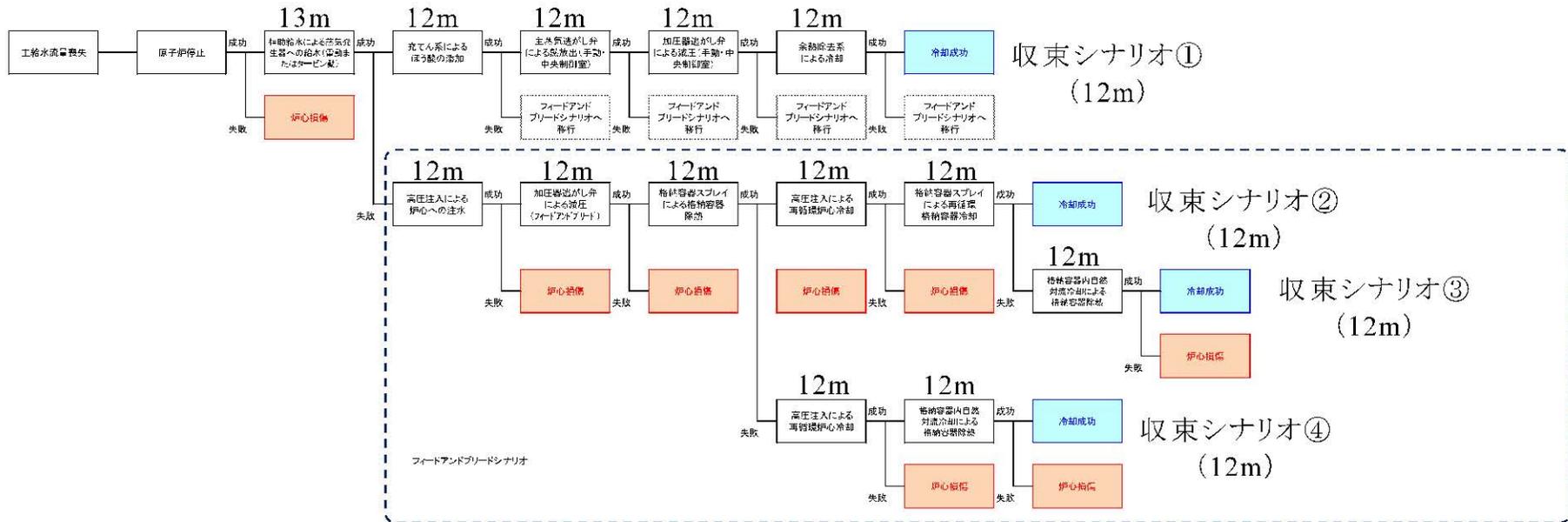
起因事象:主給水流量喪失



3.1.4-170

第 3.1.4.2-21 図 各起因事象における収束シナリオ(津波:出力運転時炉心損傷(区分 1))

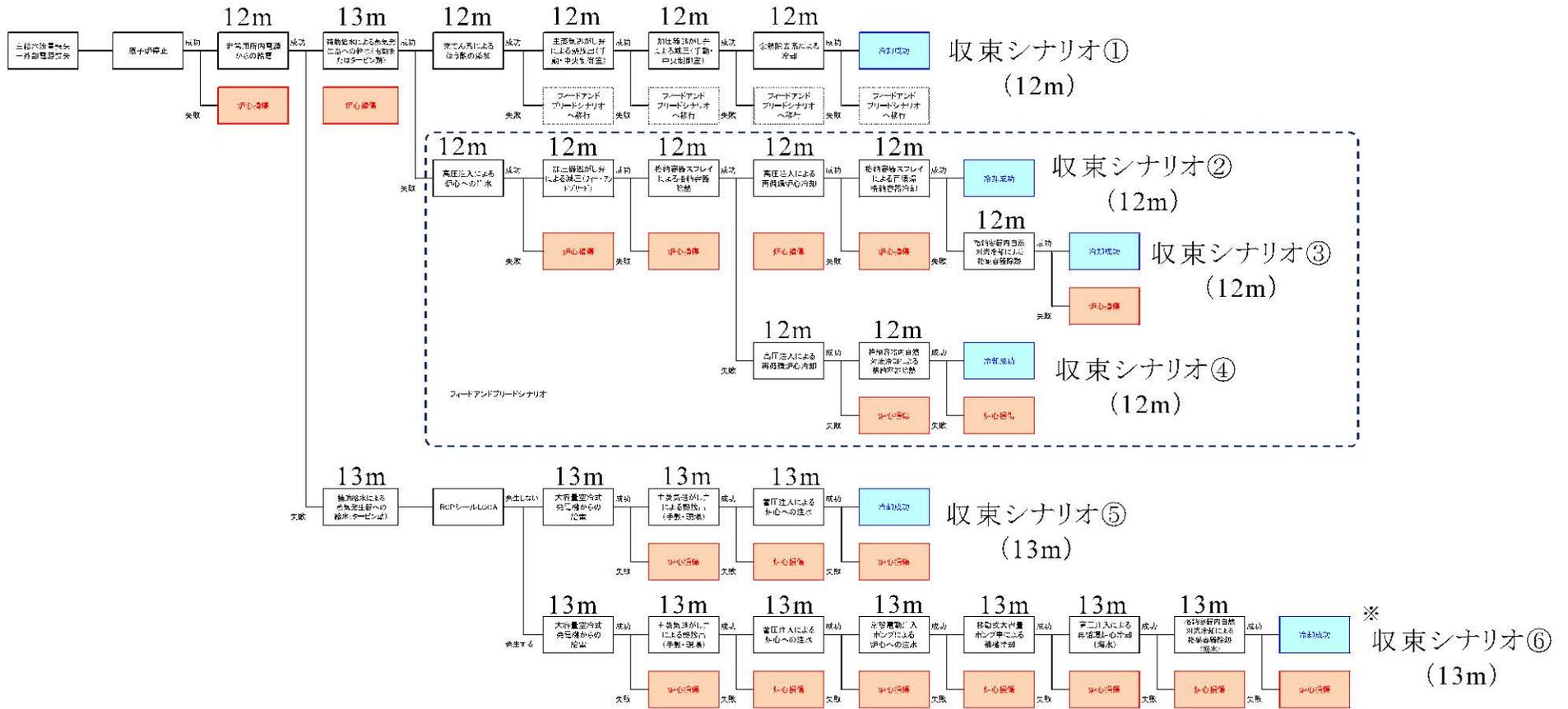
起因事象:主給水流量喪失



3.1.4-171

第 3.1.4.2-22 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリフエッジ評価
(津波:出力運転時炉心損傷(区分 1))

起因事象:主給水流量喪失+外部電源喪失

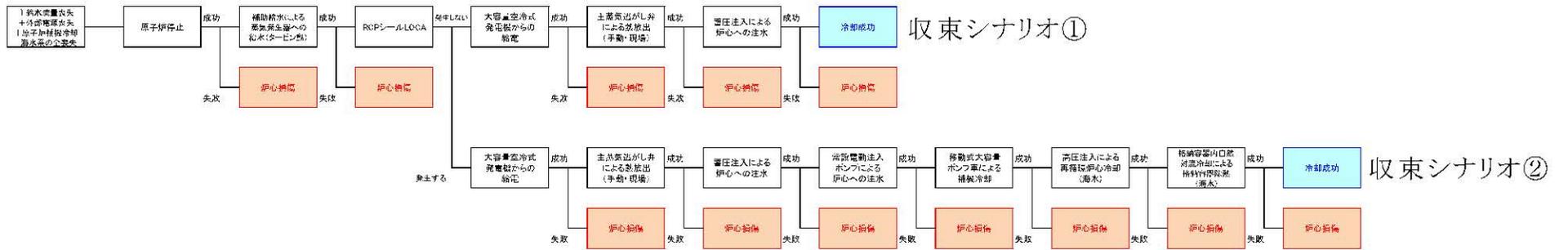


※津波によってRCPシステムの健全性が損なわれることはないためRCPシステムLOCAの発生を想定しないが、参考として発生した場合の収束シナリオの耐力を記載。

第 3.1.4.2-24 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリフエッジ評価

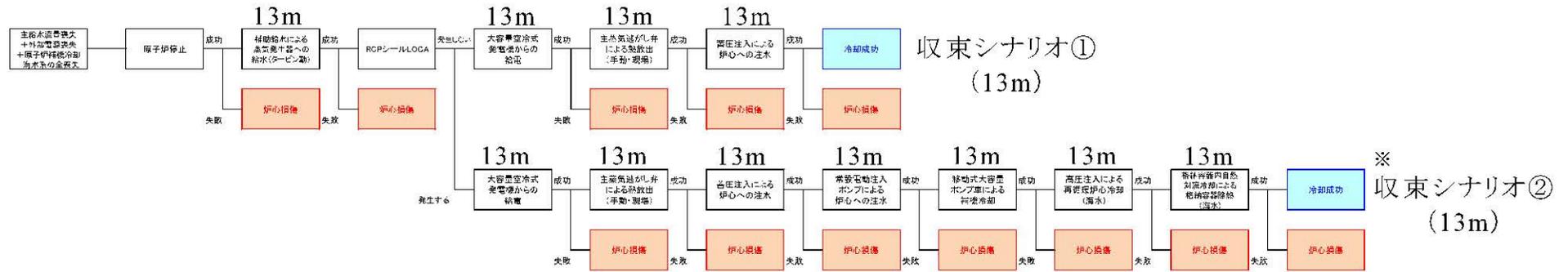
(津波:出力運転時炉心損傷(区分2))

起因事象:主給水流量喪失+外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失



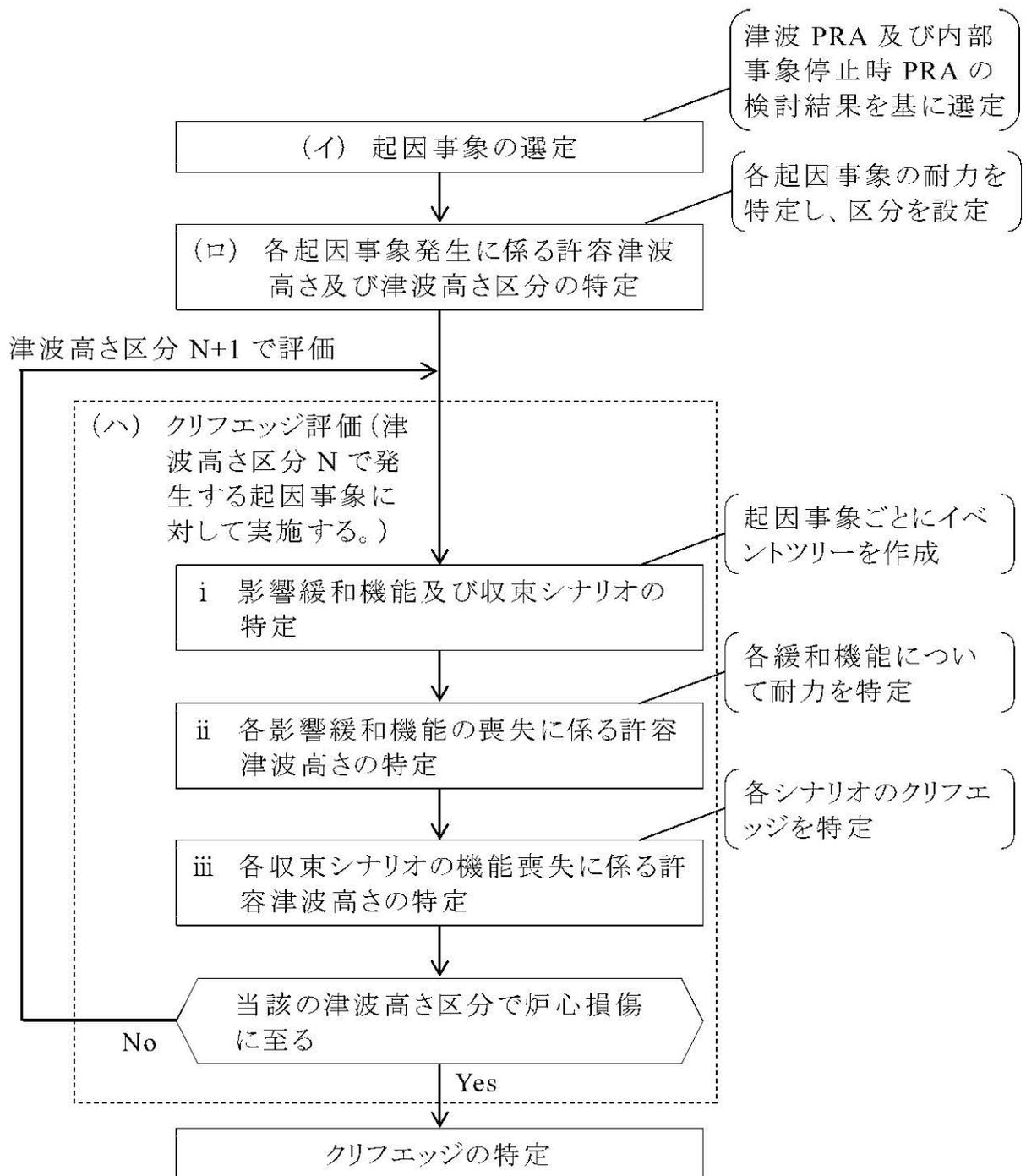
第 3.1.4.2-25 図 各起因事象における収束シナリオ(津波:出力運転時炉心損傷(区分 3))

起因事象:主給水流量喪失+外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失



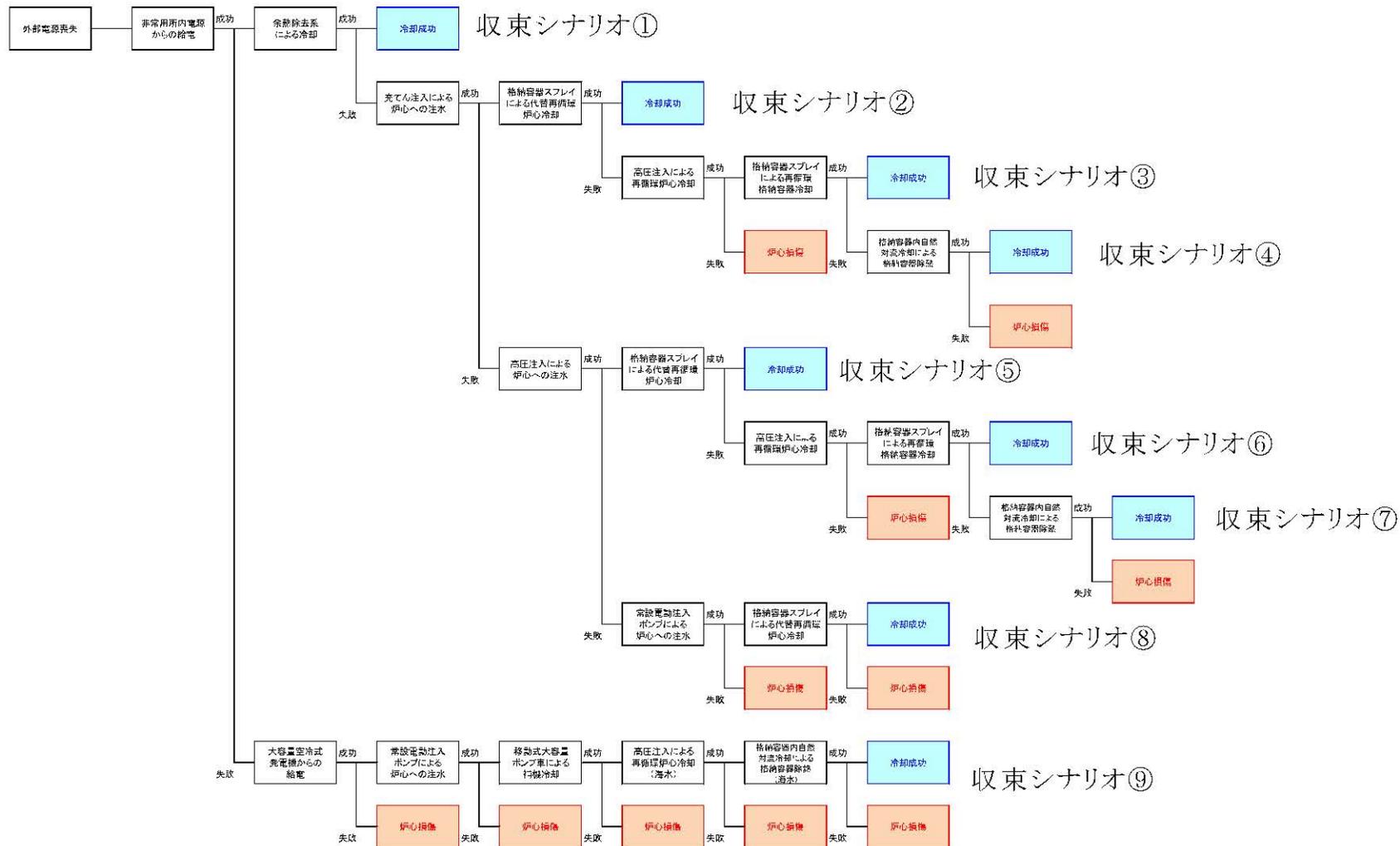
※津波によってRCPシーラの健全性が損なわれることはないためRCPシーラ/LOCAの発生を想定しないが、参考として発生した場合の収束シナリオの耐力を記載。

第 3.1.4.2-26 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリフエッジ評価 (津波:出力運転時炉心損傷(区分3))



第 3.1.4.2-27 図 クリフエッジの特定に係るフロー図 (津波: 運転停止時炉心損傷)

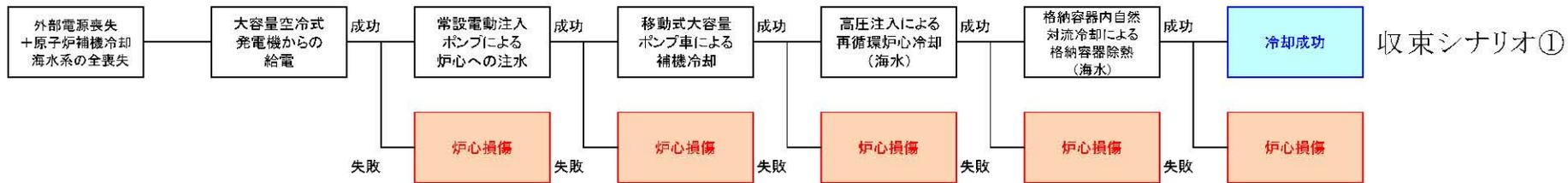
起因事象:外部電源喪失



3.1.4-177

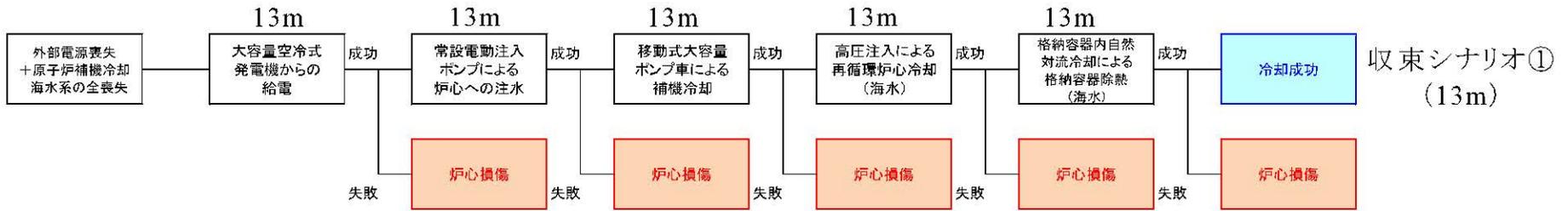
第 3.1.4.2-28 図 各起因事象における収束シナリオ(津波:運転停止時炉心損傷(区分 1))

起因事象:外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失



第 3.1.4.2-30 図 各起因事象における収束シナリオ(津波:運転停止時炉心損傷(区分 2))

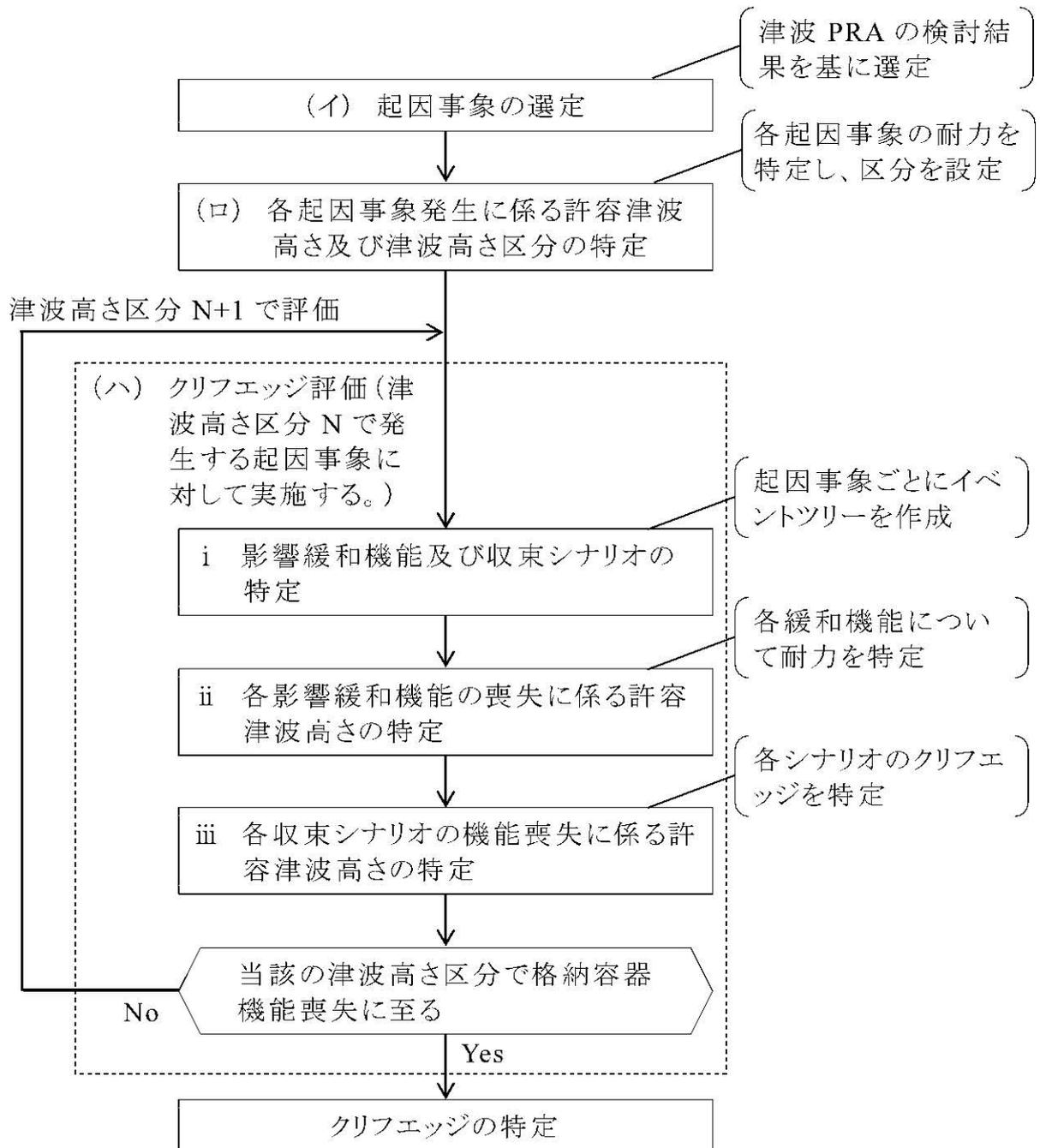
起因事象:外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失



3.1.4-180

第 3.1.4.2-31 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリフエッジ評価

(津波:運転停止時炉心損傷(区分2))



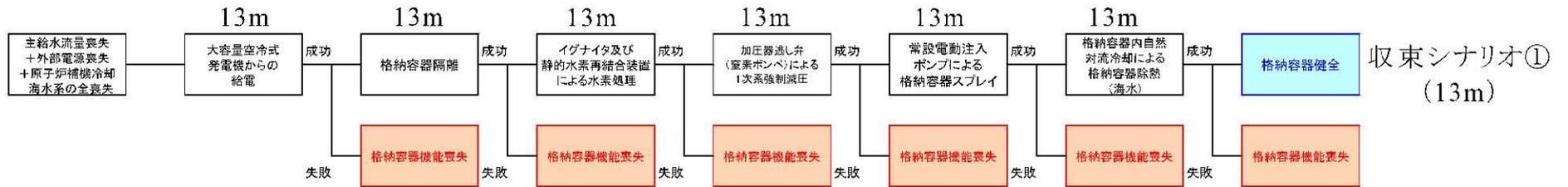
第 3.1.4.2-32 図 クリフエッジの特定に係るフロー図 (津波:格納容器機能喪失)

起因事象：主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失



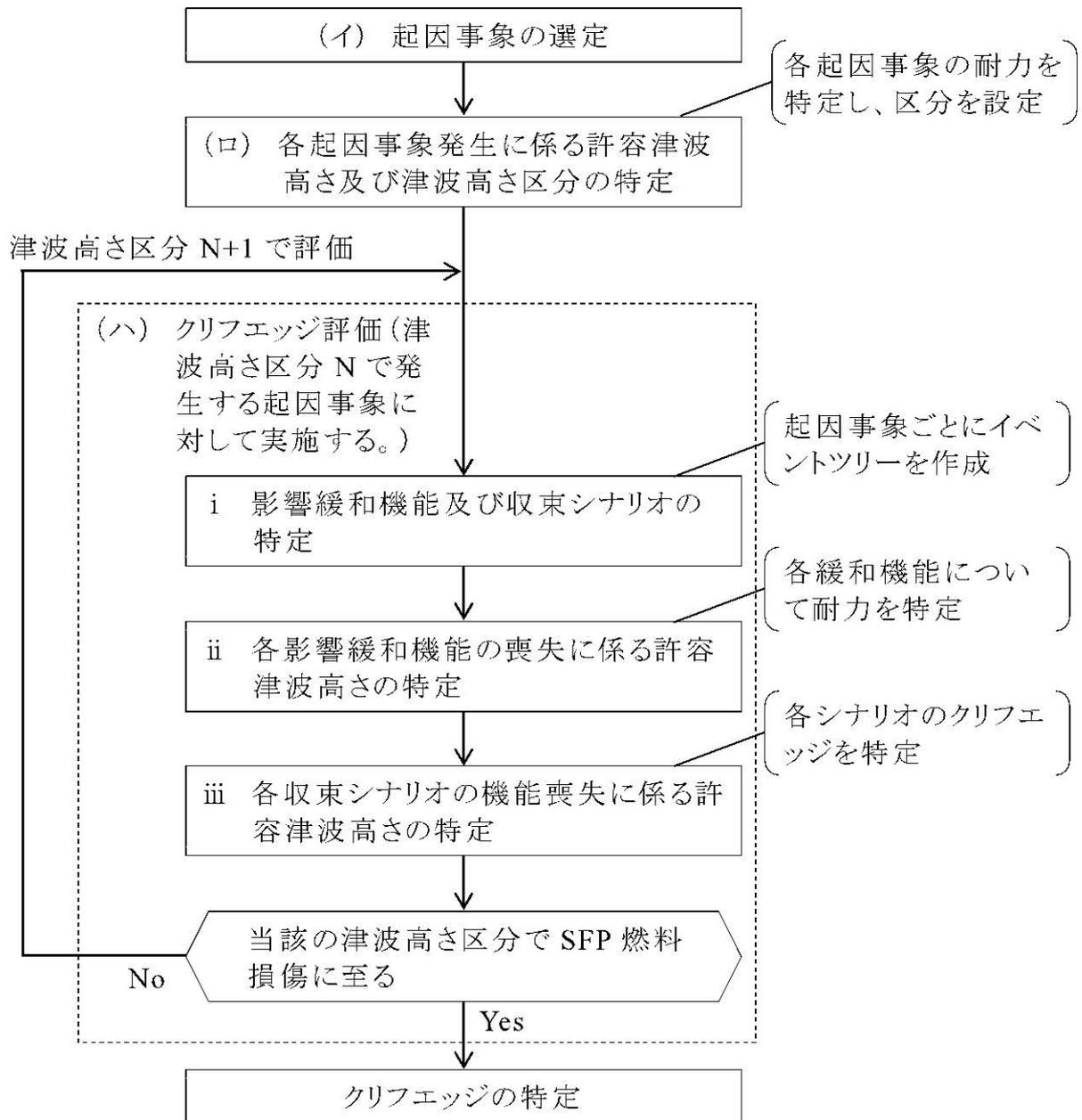
第 3.1.4.2-33 図 各起因事象における収束シナリオ(津波:格納容器機能喪失(区分 3))

起因事象：主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失

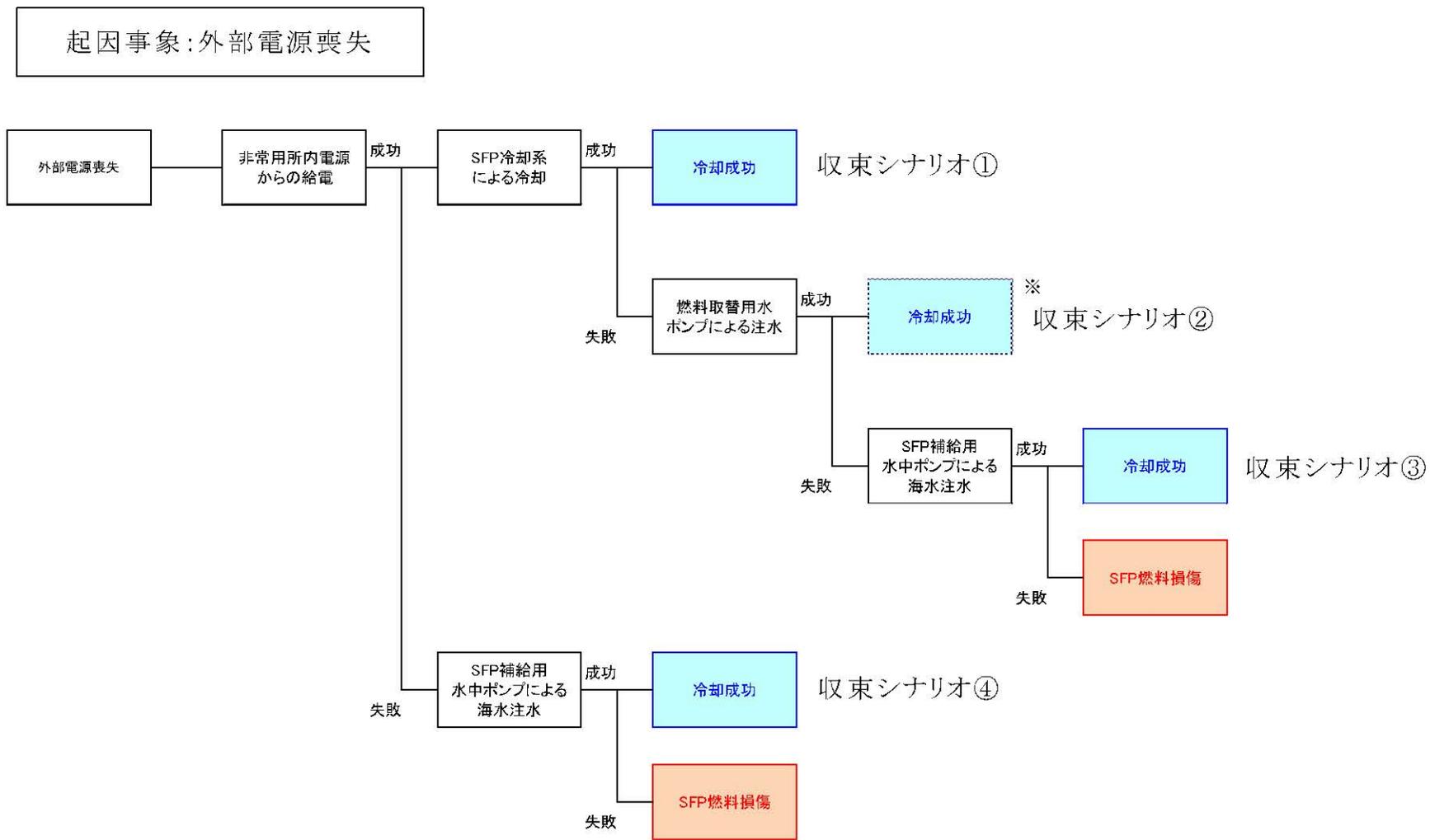


第 3.1.4.2-34 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリフエッジ評価

(津波：格納容器機能喪失(区分3))

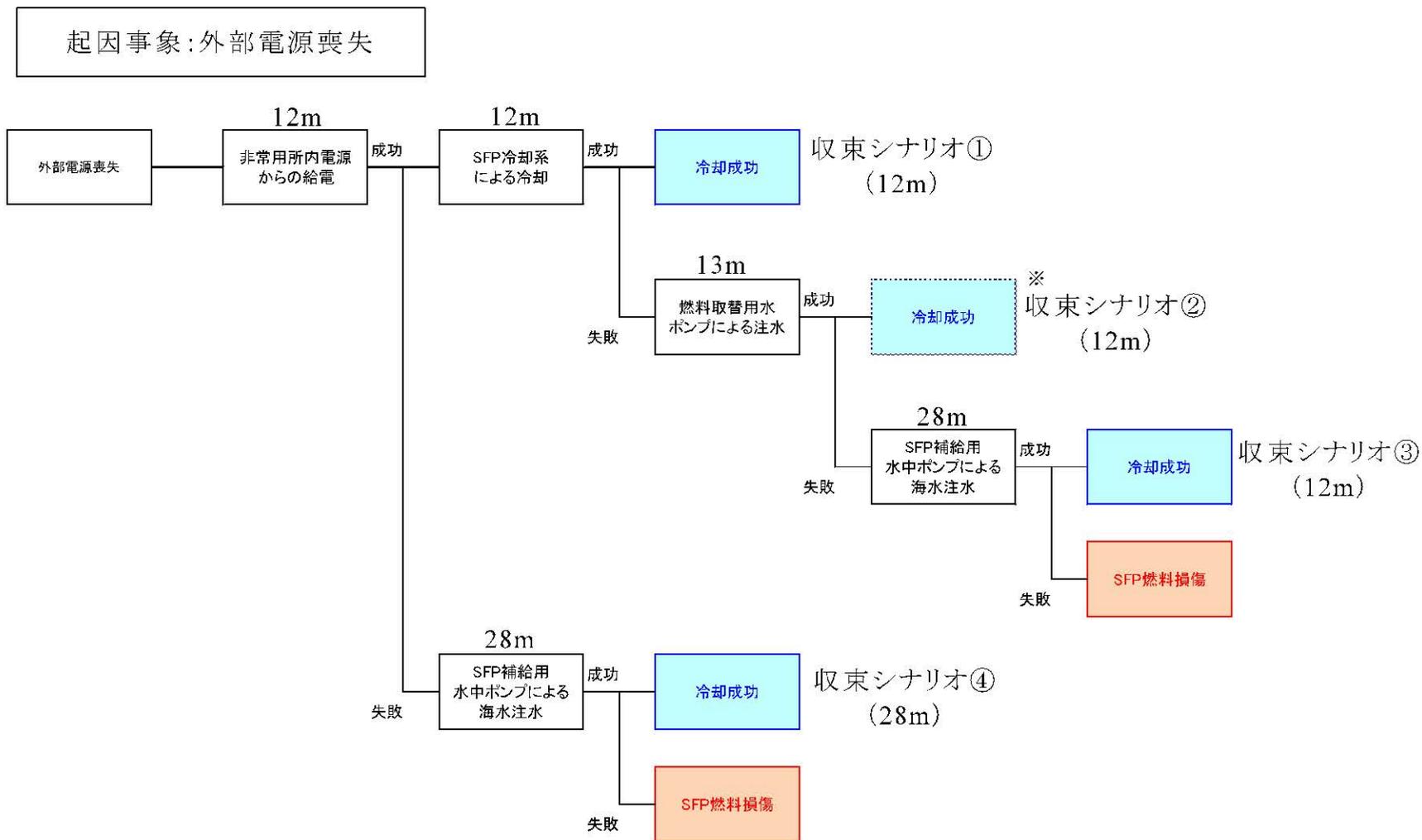


第 3.1.4.2-35 図 クリフエッジの特定に係るフロー図 (津波 : SFP 燃料損傷)



※炉心燃料損傷防止又は格納容器機能喪失防止に燃料取替用水タンク保有水を使用することを想定し、SFP燃料に対する評価では、参考として耐力を示す。

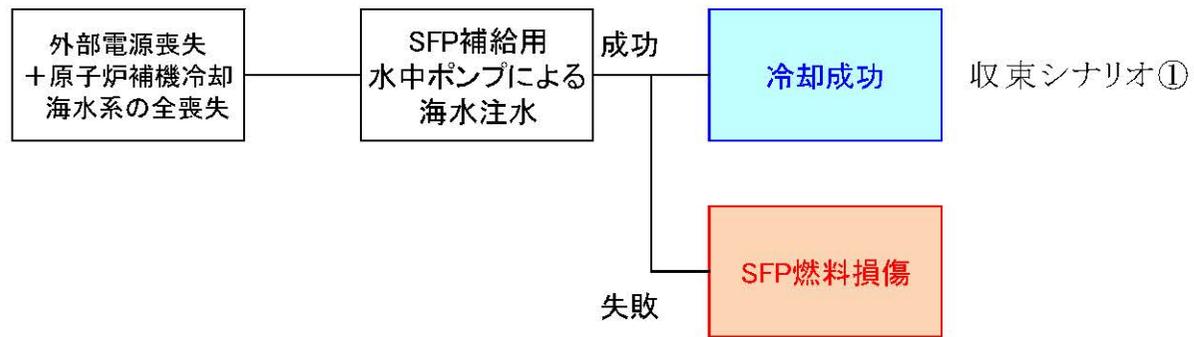
第 3.1.4.2-36 図 各起因事象における収束シナリオ(津波:SFP燃料損傷(区分1))



※炉心燃料損傷防止又は格納容器機能喪失防止に燃料取替用水タンク保有水を使用することを想定し、SFP燃料に対する評価では、参考として耐力を示す。

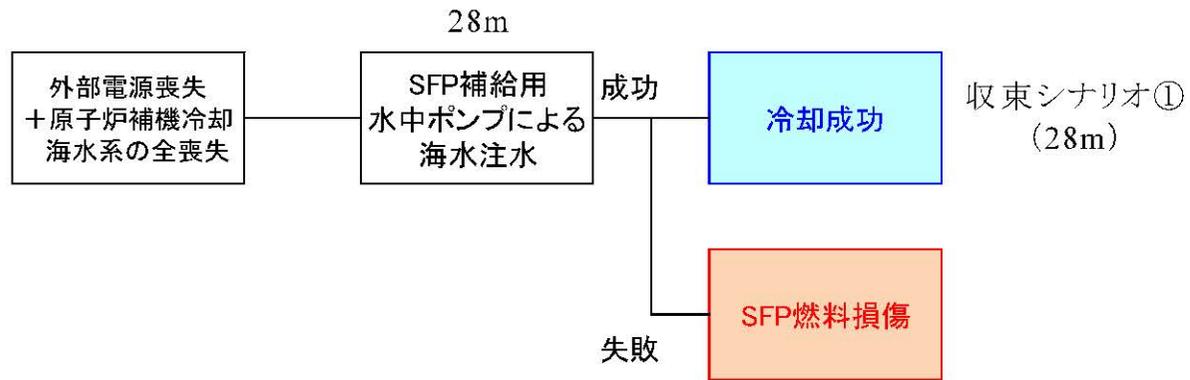
第 3.1.4.2-37 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリフエッジ評価
(津波:SFP燃料損傷(区分1))

起因事象:外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失



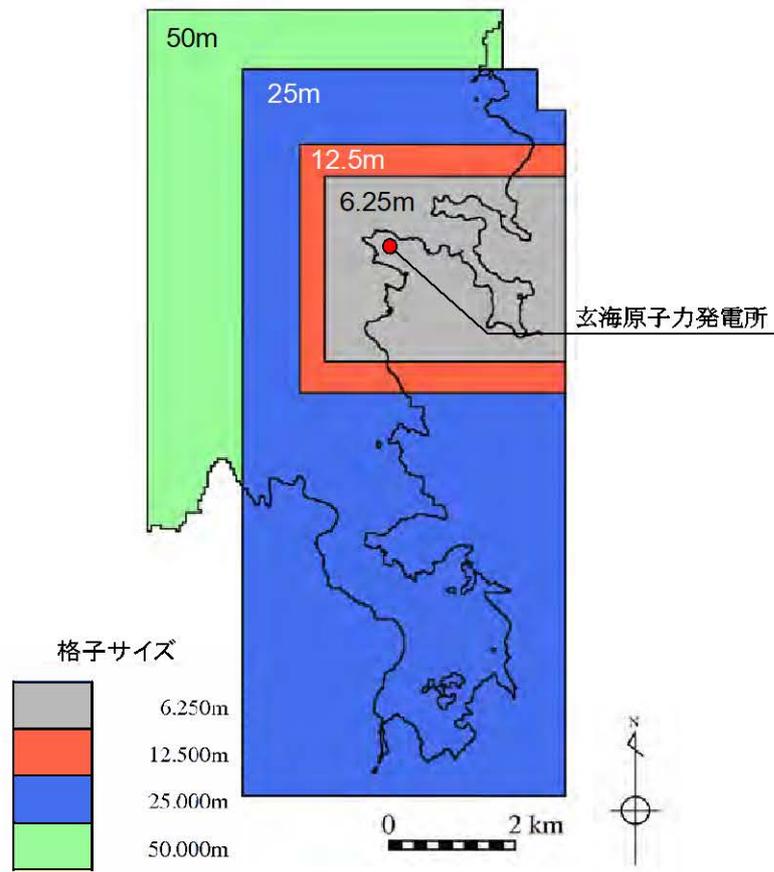
第 3.1.4.2-38 図 各起因事象における収束シナリオ(津波:SFP 燃料損傷(区分 2))

起因事象:外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失

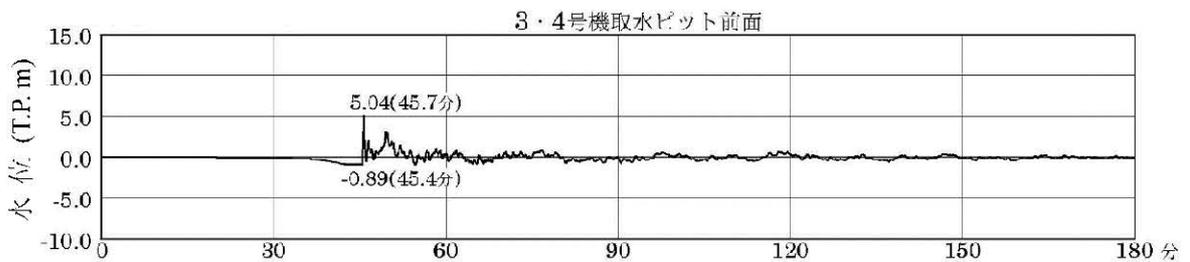


第 3.1.4.2-39 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリフエッジ評価

(津波:SFP 燃料損傷(区分 2))

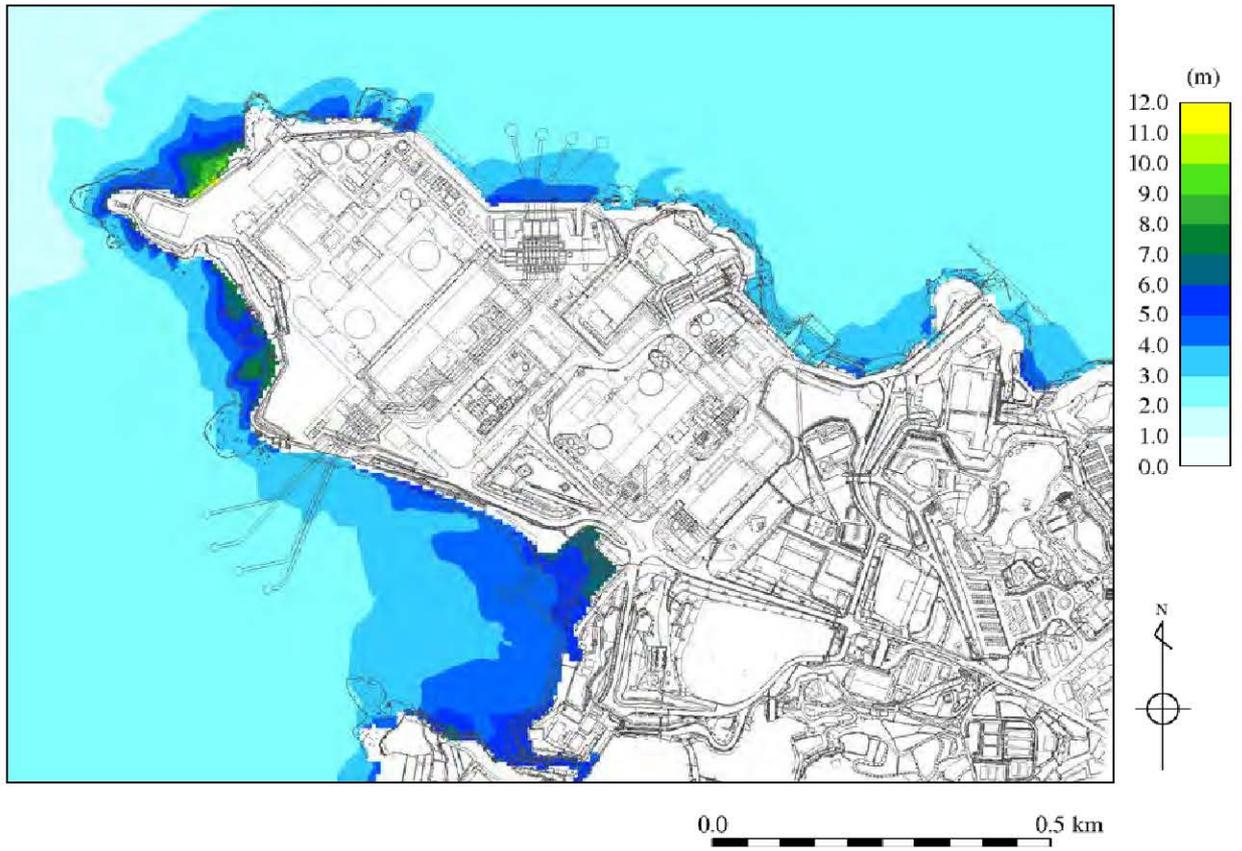


第3.1.4.2-40図 計算格子分割（計算領域）

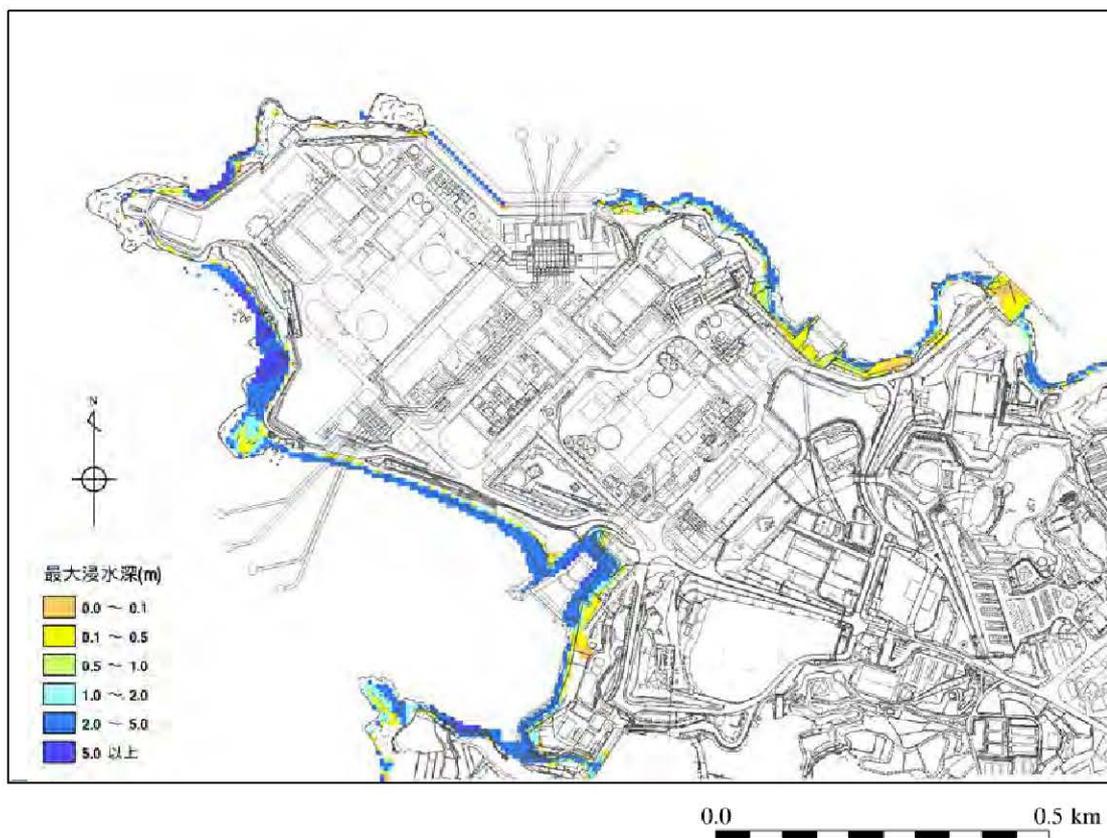


第 3.1.4.2-41 図 遡上解析で考慮する津波の時刻歴波形

(初期潮位 : T.P.± 0.00m)

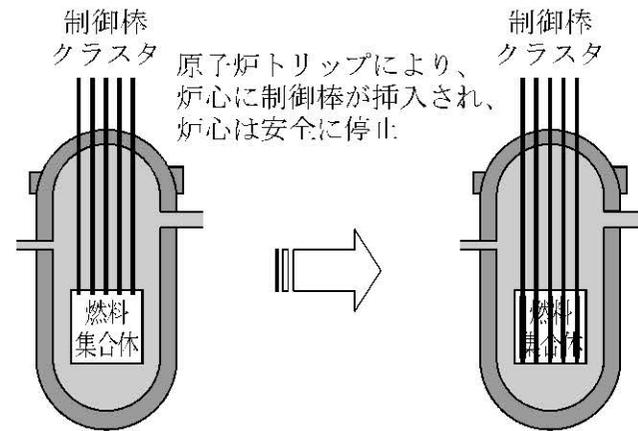


第 3.1.4.2-42 図 最高水位分布



第 3.1.4.2-43 図 最大浸水深分布

原子炉停止 (フロントライン系)



3.1.4-192

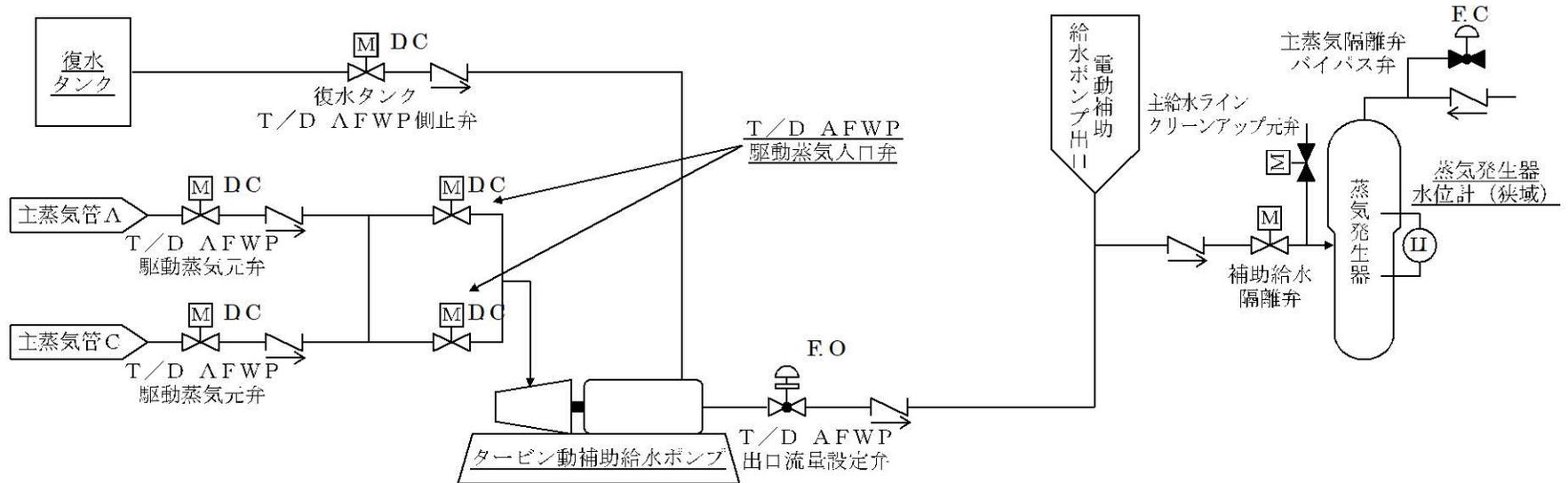
第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷)(1/19)

補助給水による蒸気発生器への給水（タービン動）（フロントライン系）

必要なサポート系は以下のとおり

- ・ 6.6kV AC電源 (15/19)
- ・ 440V AC電源 (15/19)
- ・ 125V DC電源 (15/19)
- ・ 115V AC計装用電源 (15/19)
- ・ バッテリー (15/19)

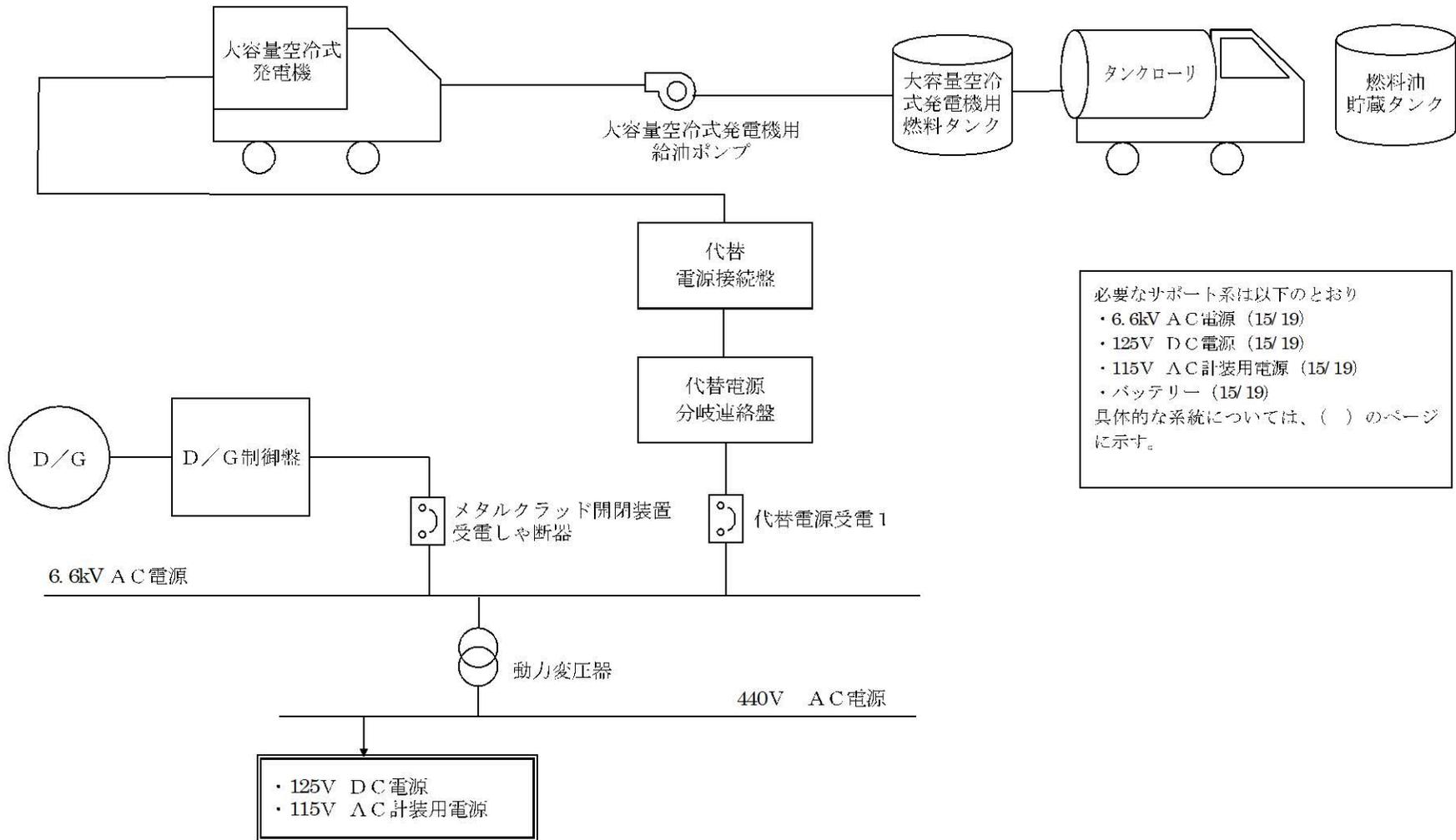
具体的な系統については、() のページに示す。



3.1.4-193

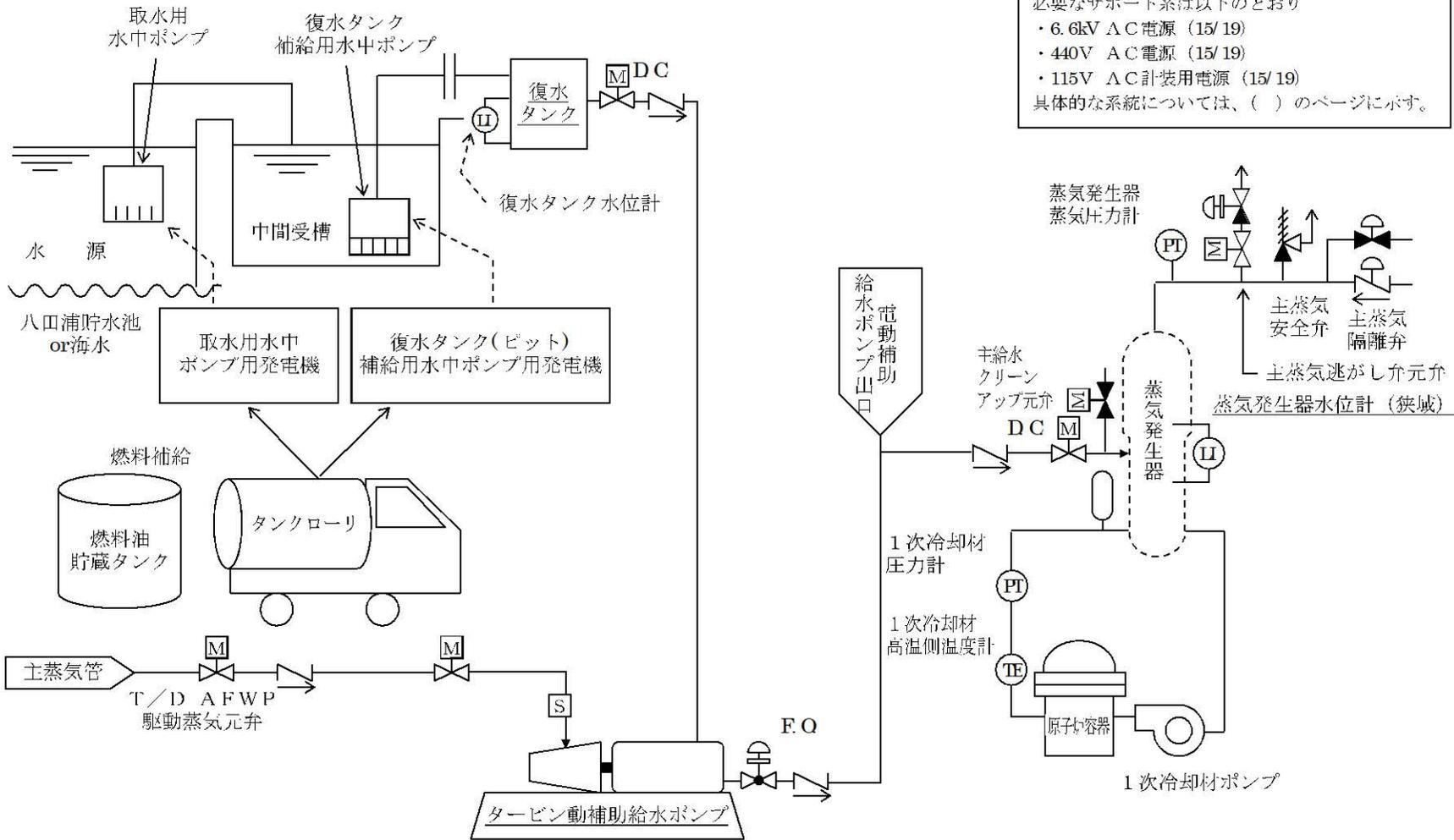
第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷) (2/19)

大容量空冷式発電機からの給電（フロントライン系）



第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止時炉心損傷、格納容器機能喪失) (3/19)

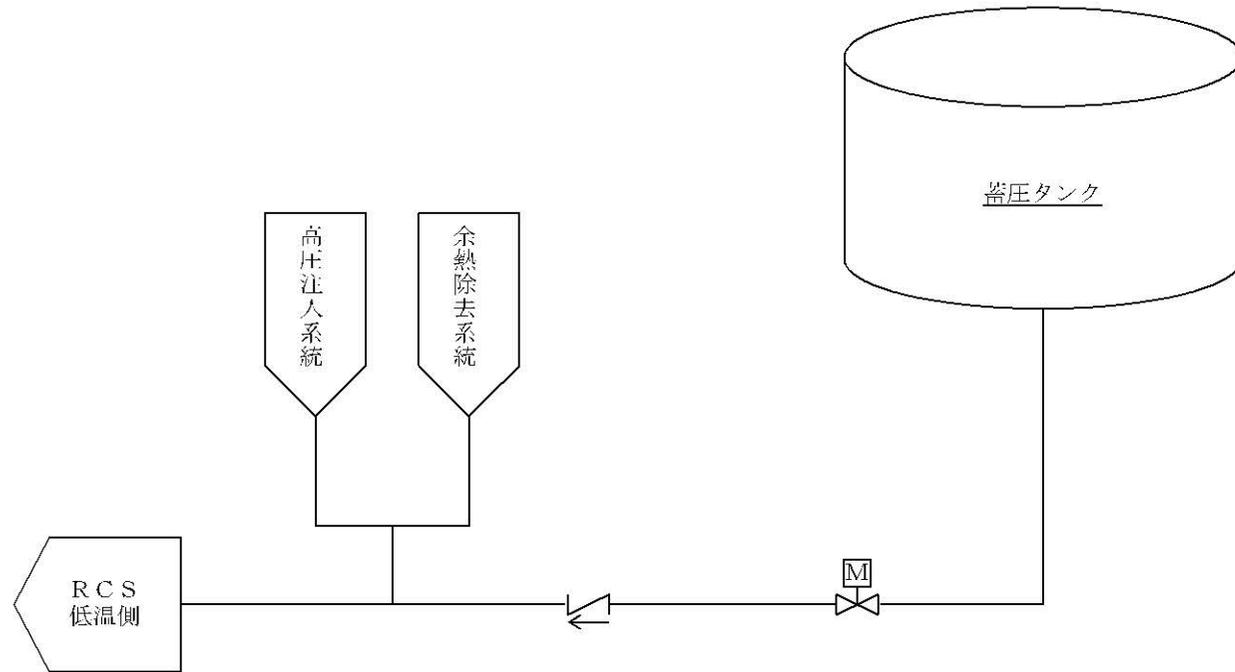
主蒸気逃がし弁による熱放出（手動・現場）（フロントライン系）



3.1.4-195

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷)(4/19)

蓄圧注入による炉心への注水（フロントライン系）



3.1.4-196

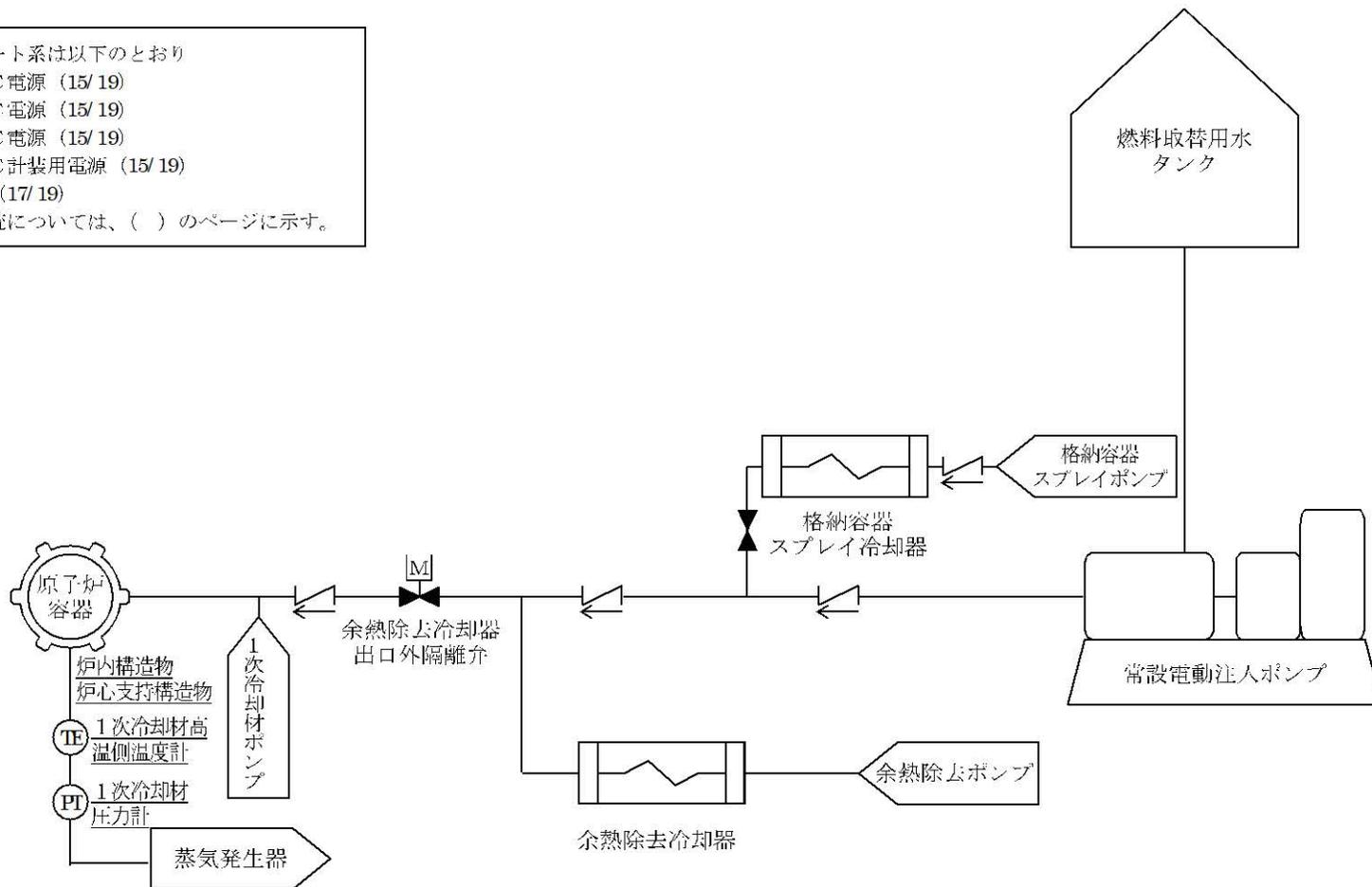
第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷) (5/19)

常設電動注入ポンプによる炉心への注水（フロントライン系）

必要なサポート系は以下のとおり

- ・ 6.6kV AC電源 (15/19)
- ・ 440V AC電源 (15/19)
- ・ 125V DC電源 (15/19)
- ・ 115V AC計装用電源 (15/19)
- ・ RWST (17/19)

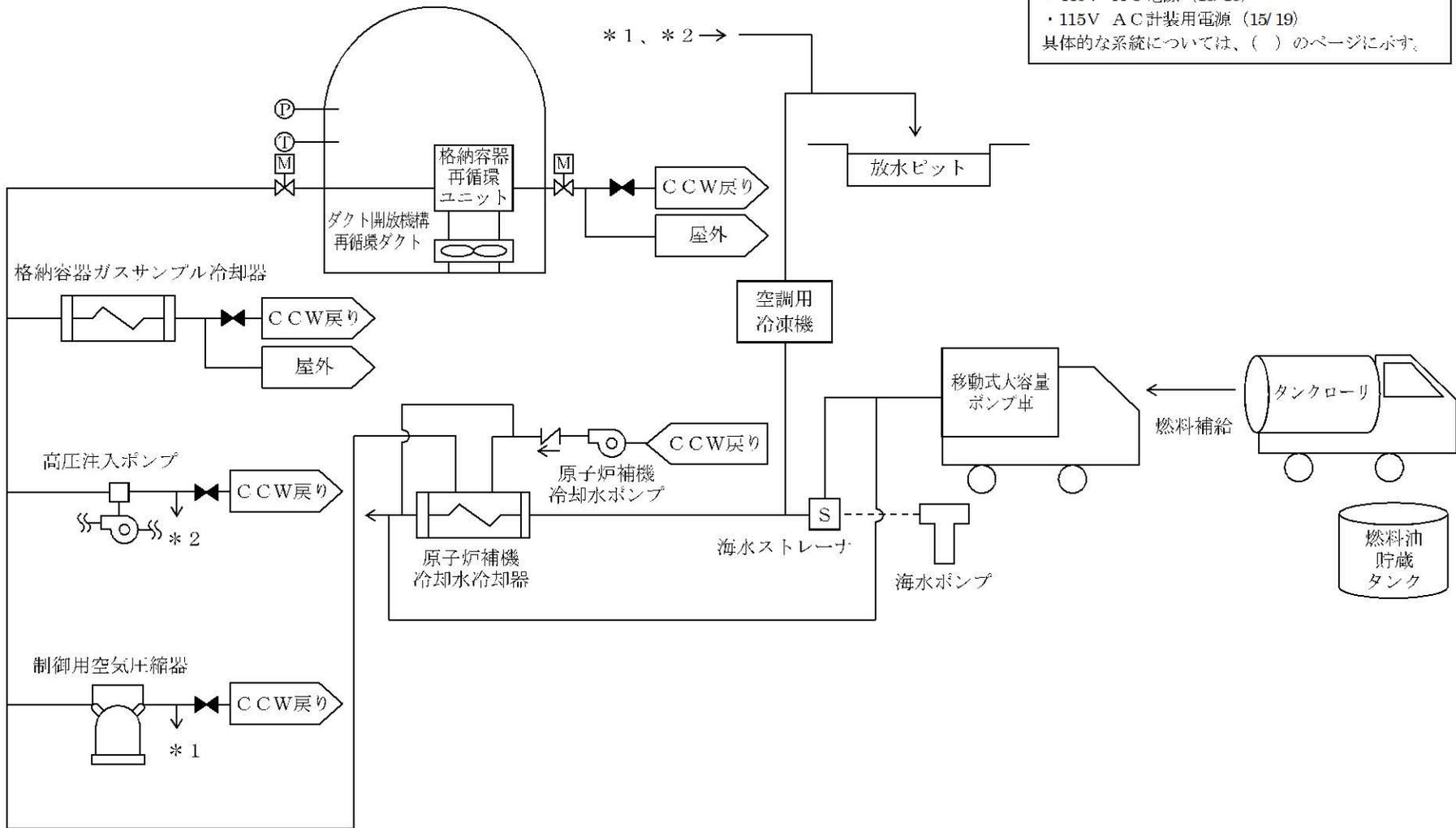
具体的な系統については、() のページに示す。



第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止炉心損傷) (6/19)

移動式大容量ポンプ車による補機冷却（フロントライン系）

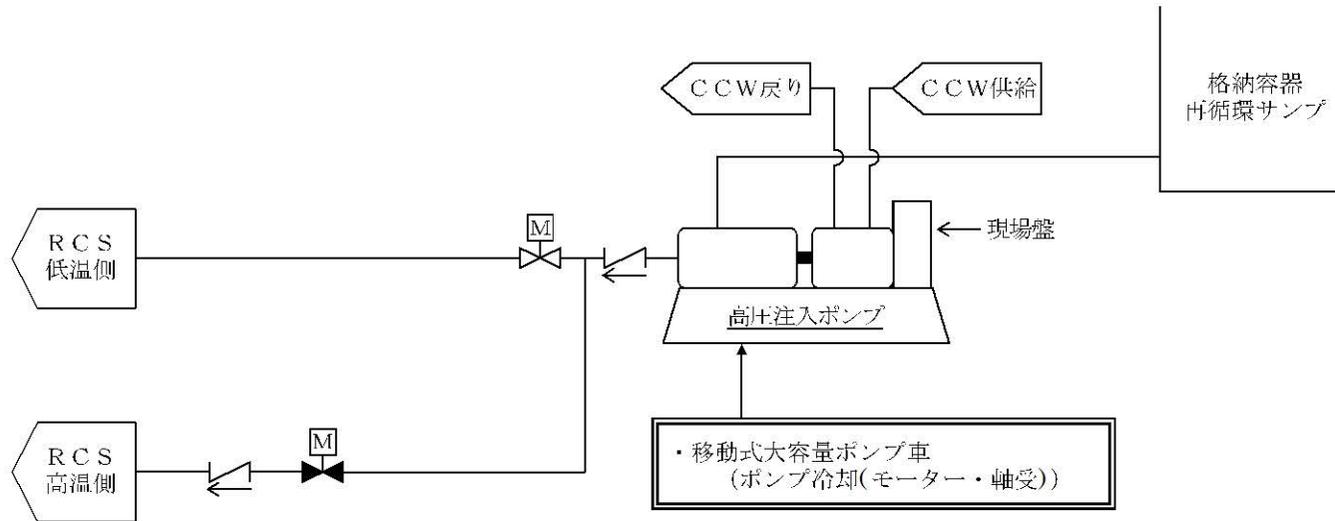
必要なサポート系は以下のとおり
 ・6.6kV AC電源 (15/19)
 ・440V ΔC電源 (15/19)
 ・115V AC計装用電源 (15/19)
 具体的な系統については、() のページに示す。



第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止時炉心損傷) (7/19)

高圧注入による再循環炉心冷却（海水）（フロントライン系）

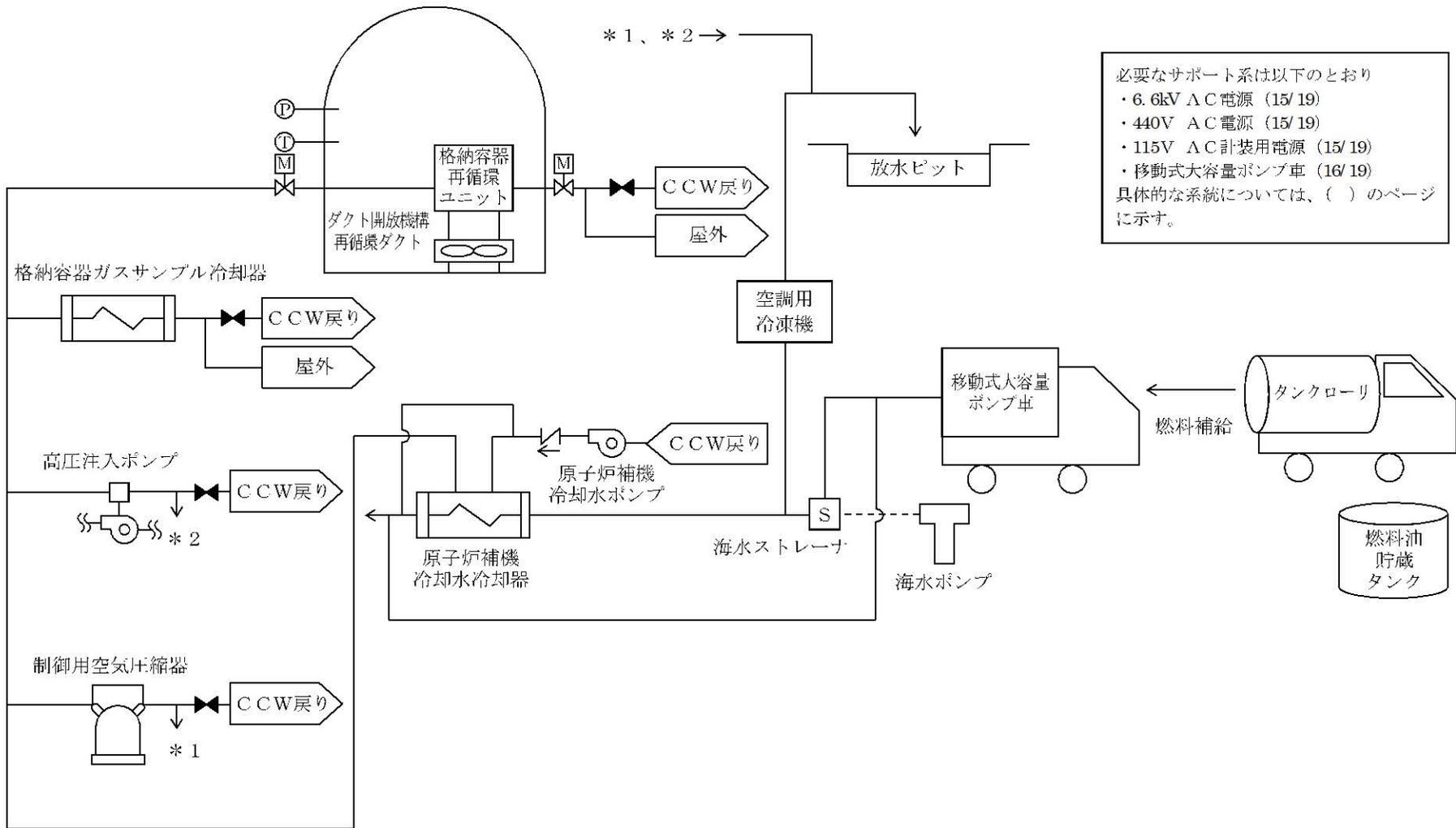
必要なサポート系は以下のとおり
 ・ 6.6kV AC電源 (15/19)
 ・ 440V AC電源 (15/19)
 ・ 125V DC電源 (15/19)
 ・ 115V AC計装用電源 (15/19)
 ・ 移動式大容量ポンプ車 (16/19)
 ・ 再循環切替 (17/19)
 具体的な系統については、() のページに示す。



3.1.4-199

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止時炉心損傷)(8/19)

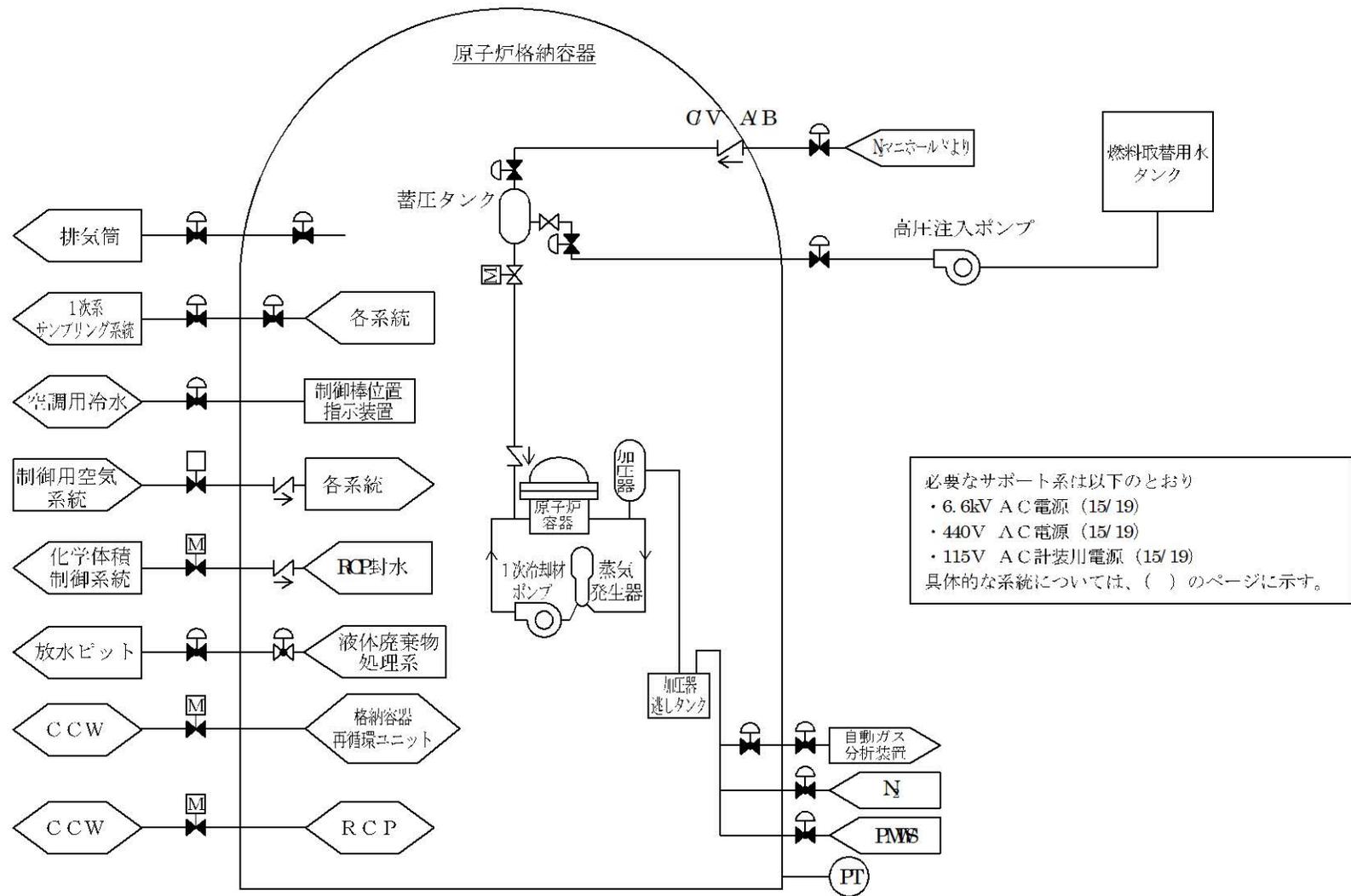
格納容器内自然対流冷却による格納容器除熱（海水）（フロントライン系）



3.1.4-200

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止時炉心損傷、格納容器機能喪失) (9/19)

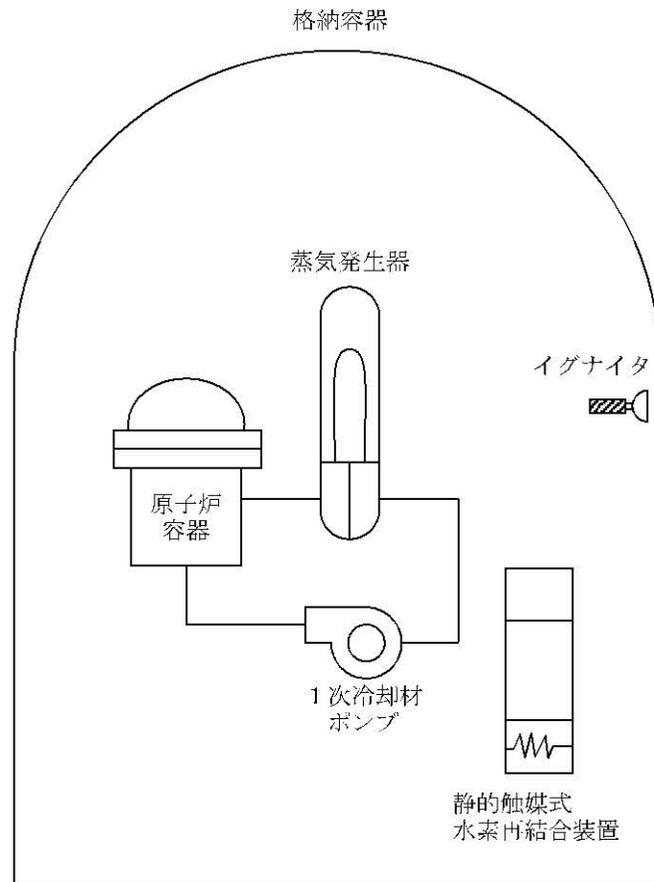
格納容器隔離 (フロントライン系)



3.1.4-201

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:格納容器機能喪失)(10/19)

静的触媒式水素再結合装置による水素処理（フロントライン系）



必要なサポート系は以下のとおり

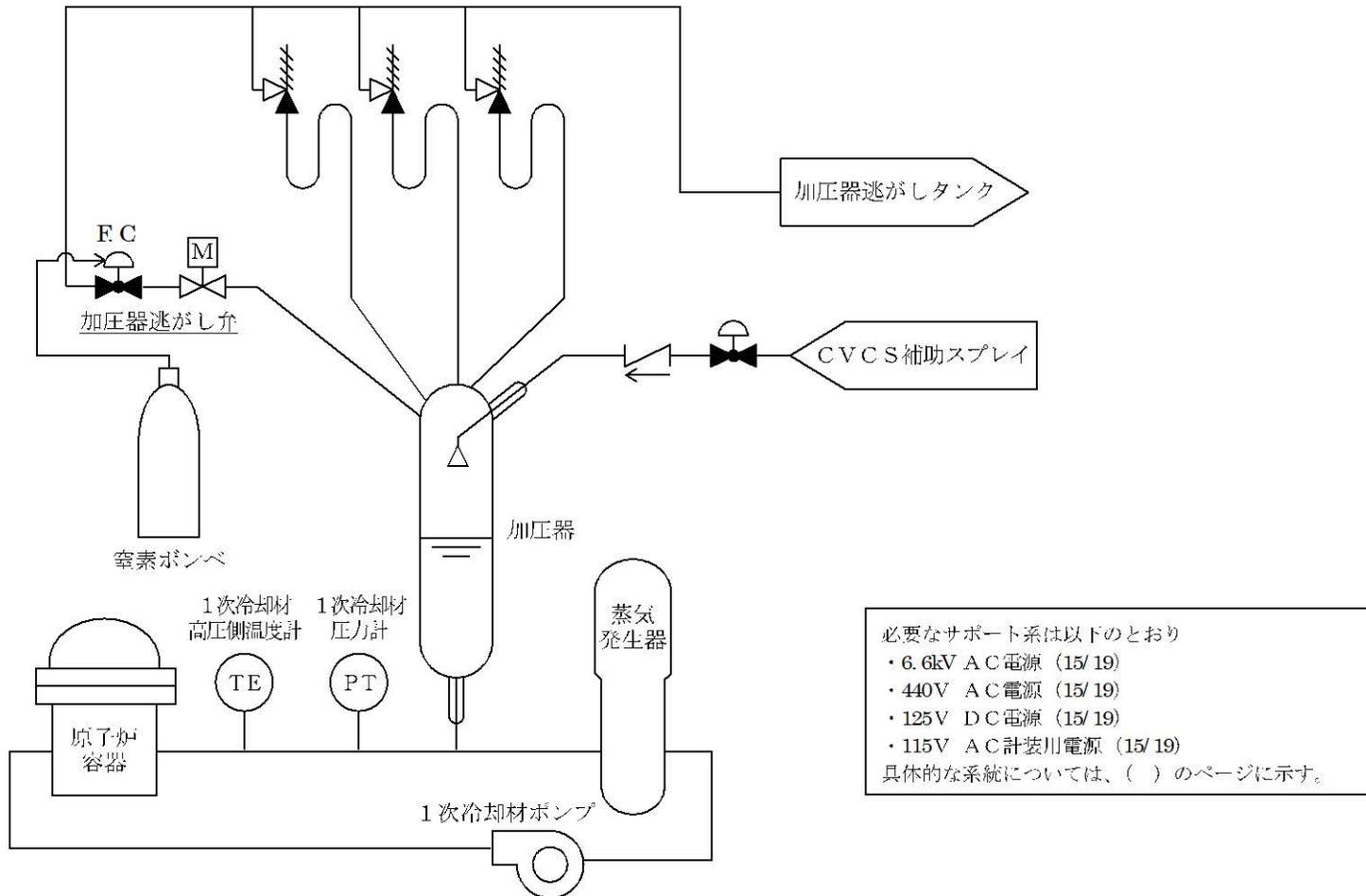
- ・ 6.6kV AC電源 (15/19)
- ・ 440V AC電源 (15/19)
- ・ 115V AC計装用電源 (15/19)

具体的な系統については、() のページに示す。

3.1.4-202

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:格納容器機能喪失)(11/19)

加圧器逃がし弁（窒素ボンベ）による1次系強制減圧（フロントライン系）



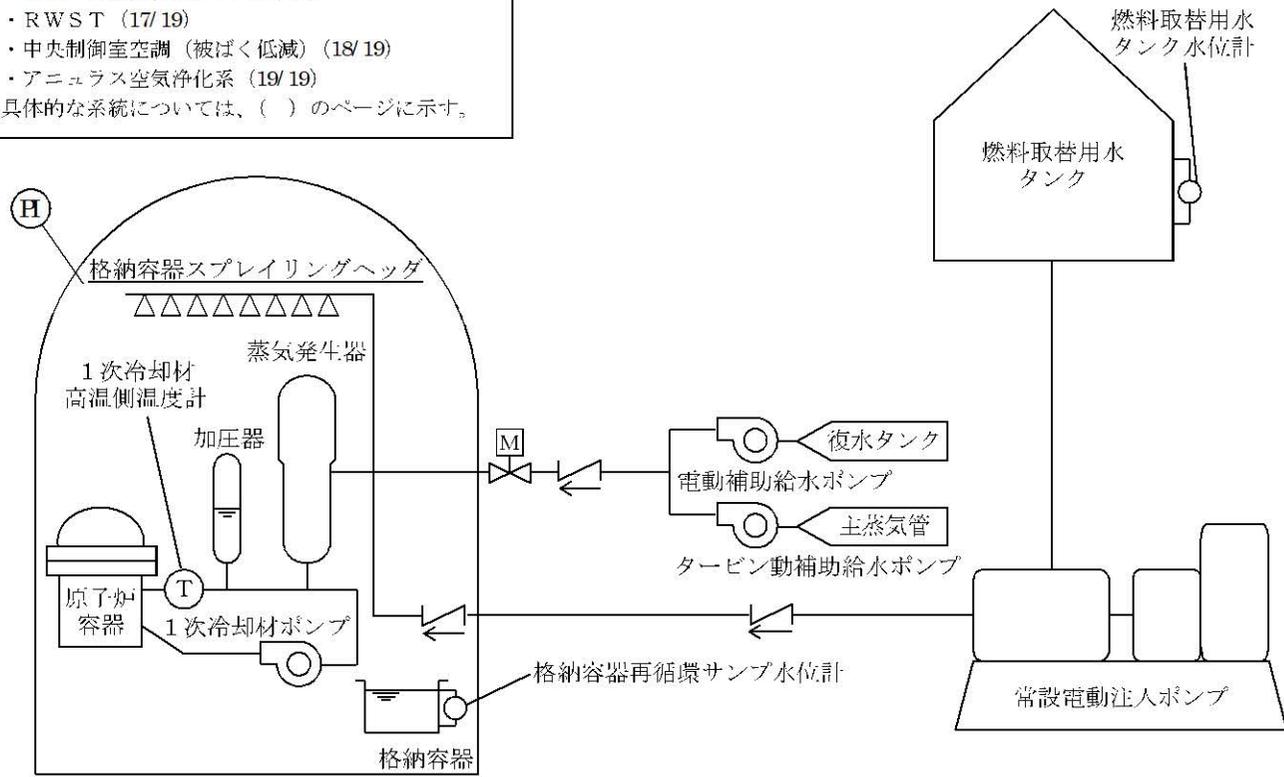
3.1.4-203

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:格納容器機能喪失)(12/19)

常設電動注入ポンプによる格納容器スプレイ (フロントライン系)

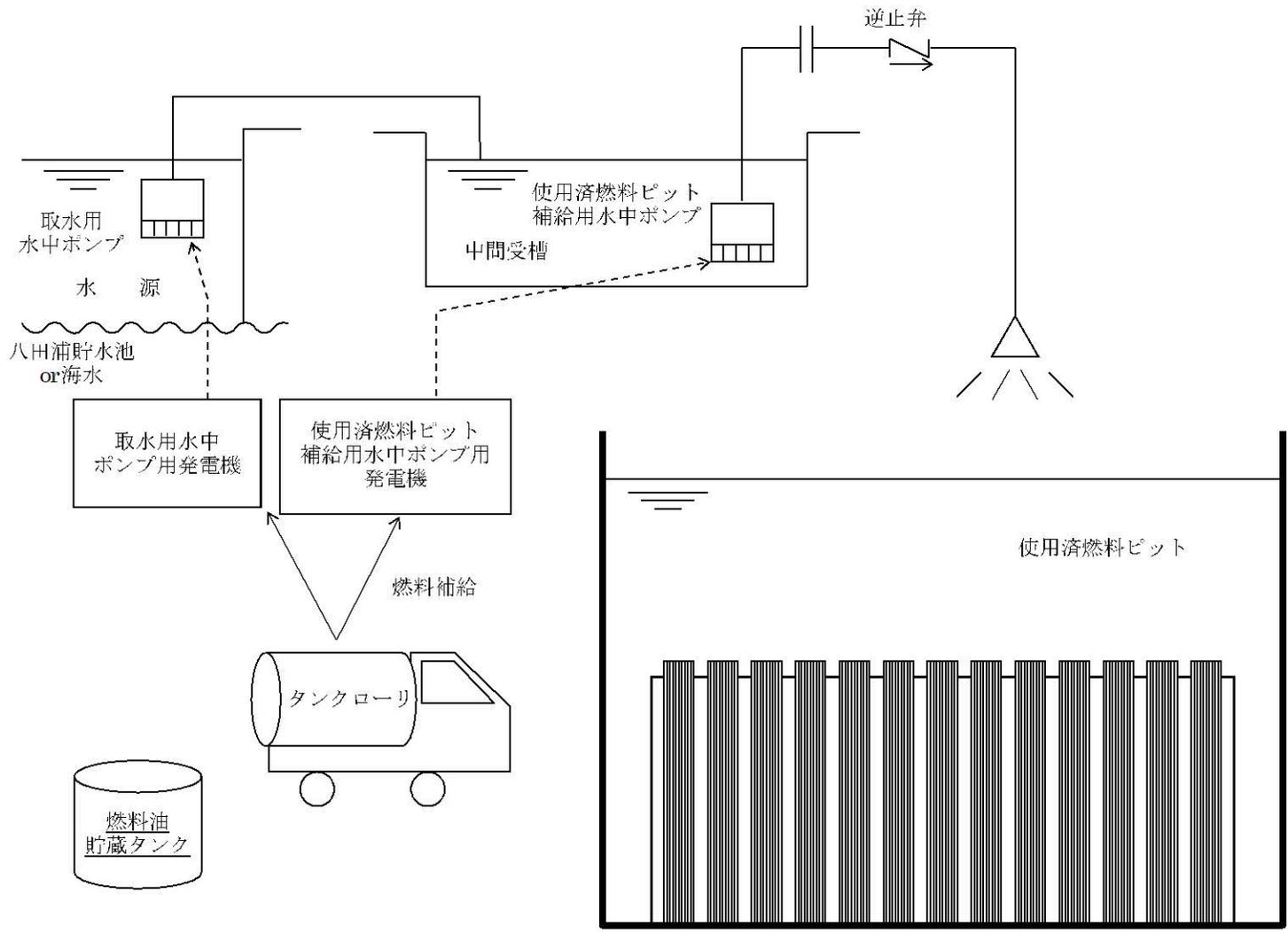
- 必要なサポート系は以下のとおり
- ・ 6.6kV AC電源 (15/19)
 - ・ 440V AC電源 (15/19)
 - ・ 125V DC電源 (15/19)
 - ・ 115V AC計装用電源 (15/19)
 - ・ RWS T (17/19)
 - ・ 中央制御室空調 (被ばく低減) (18/19)
 - ・ アニュラス空気浄化系 (19/19)
- 具体的な系統については、() のページに示す。

3.1.4-204



第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:格納容器機能喪失)(13/19)

SFP補給用水中ポンプによる海水注水（フロントライン系）



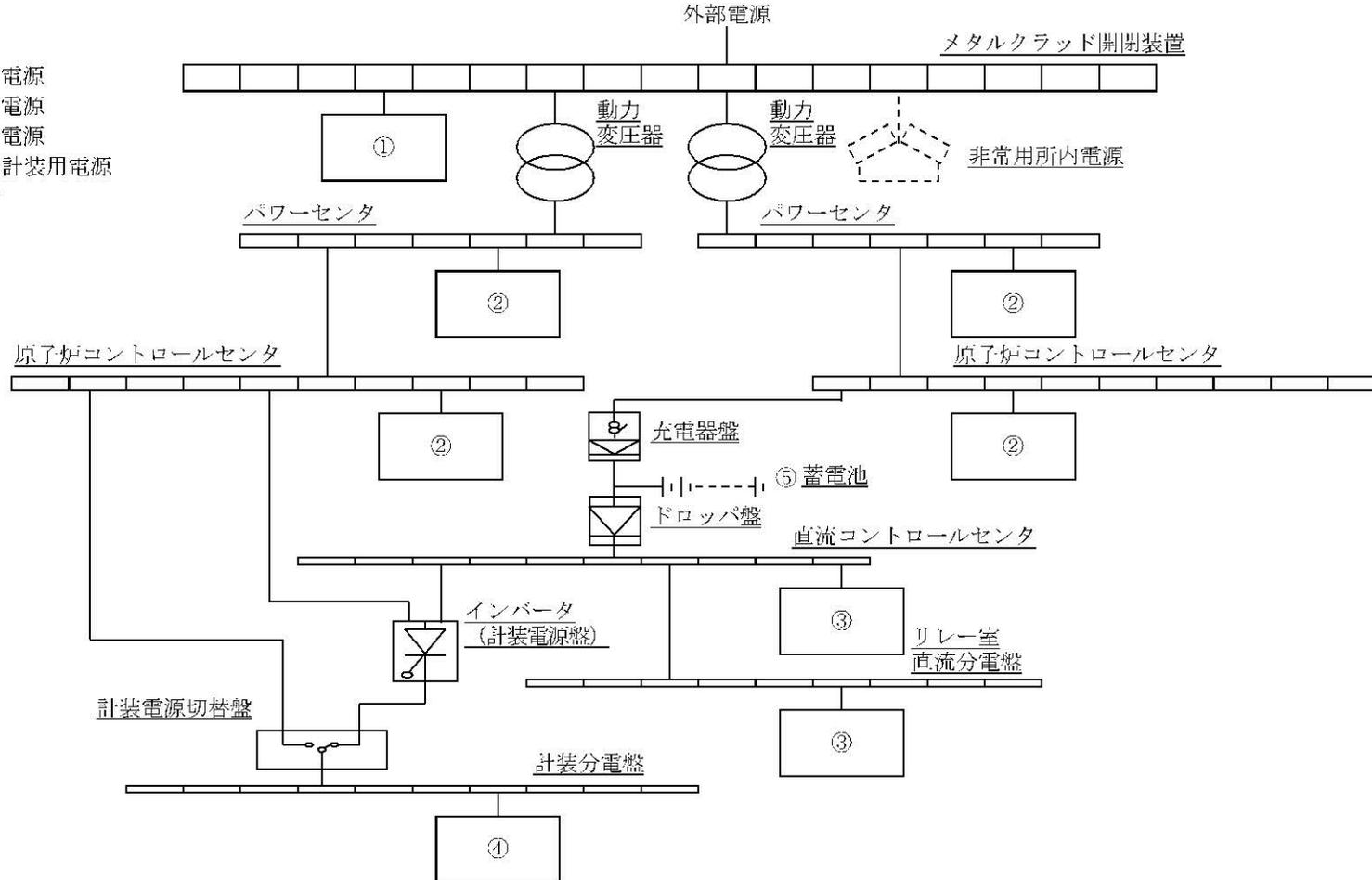
3.1.4-205

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:SFP損傷) (14/19)

6. 6kV AC電源、440V AC電源、125V DC電源、
115V AC計装用電源、バッテリー（サポート系）

系統の説明

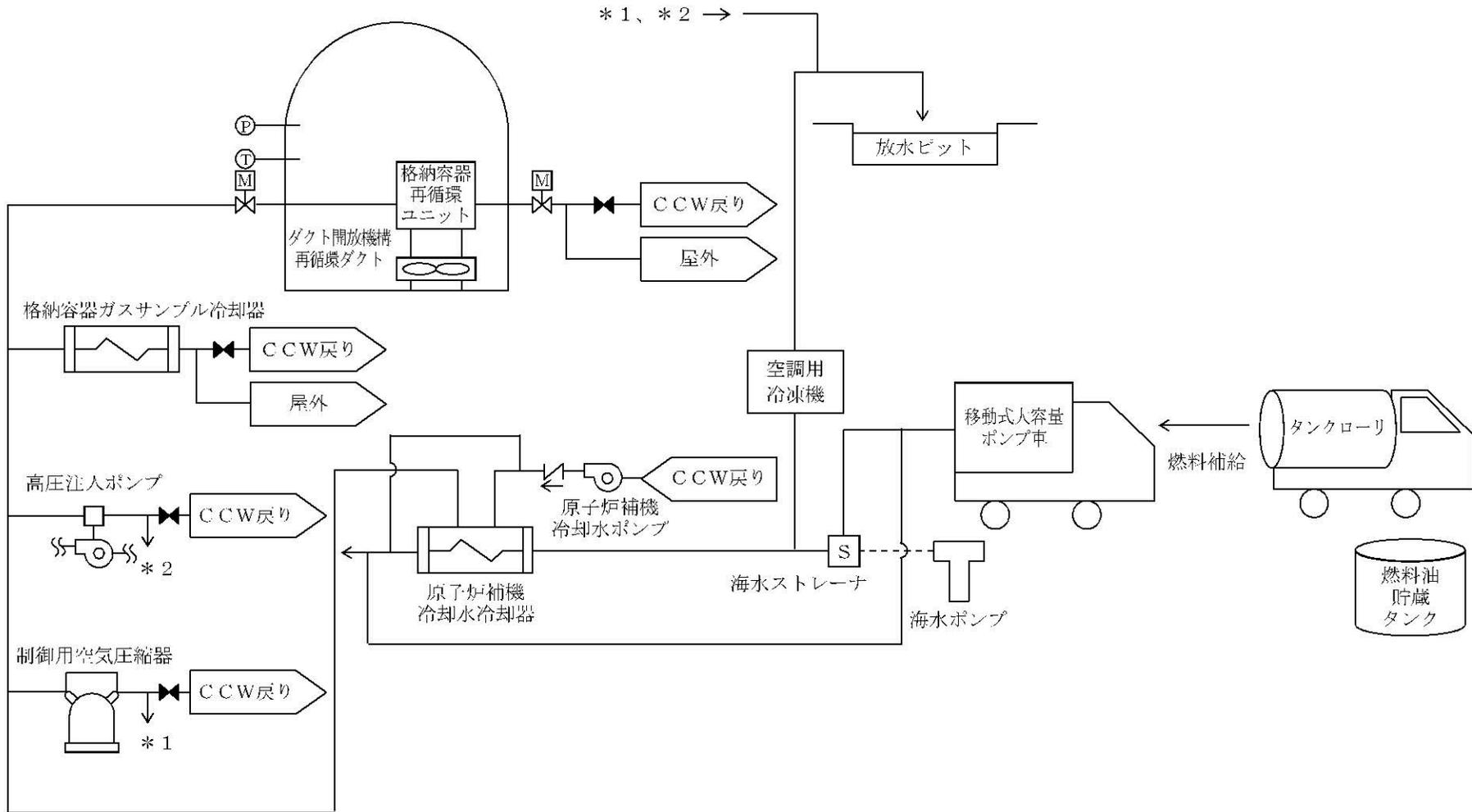
- ① 6kV AC電源
- ② 440V AC電源
- ③ 125V DC電源
- ④ 115V AC計装用電源
- ⑤ バッテリー



第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図

(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止時炉心損傷、格納容器機能喪失) (15/19)

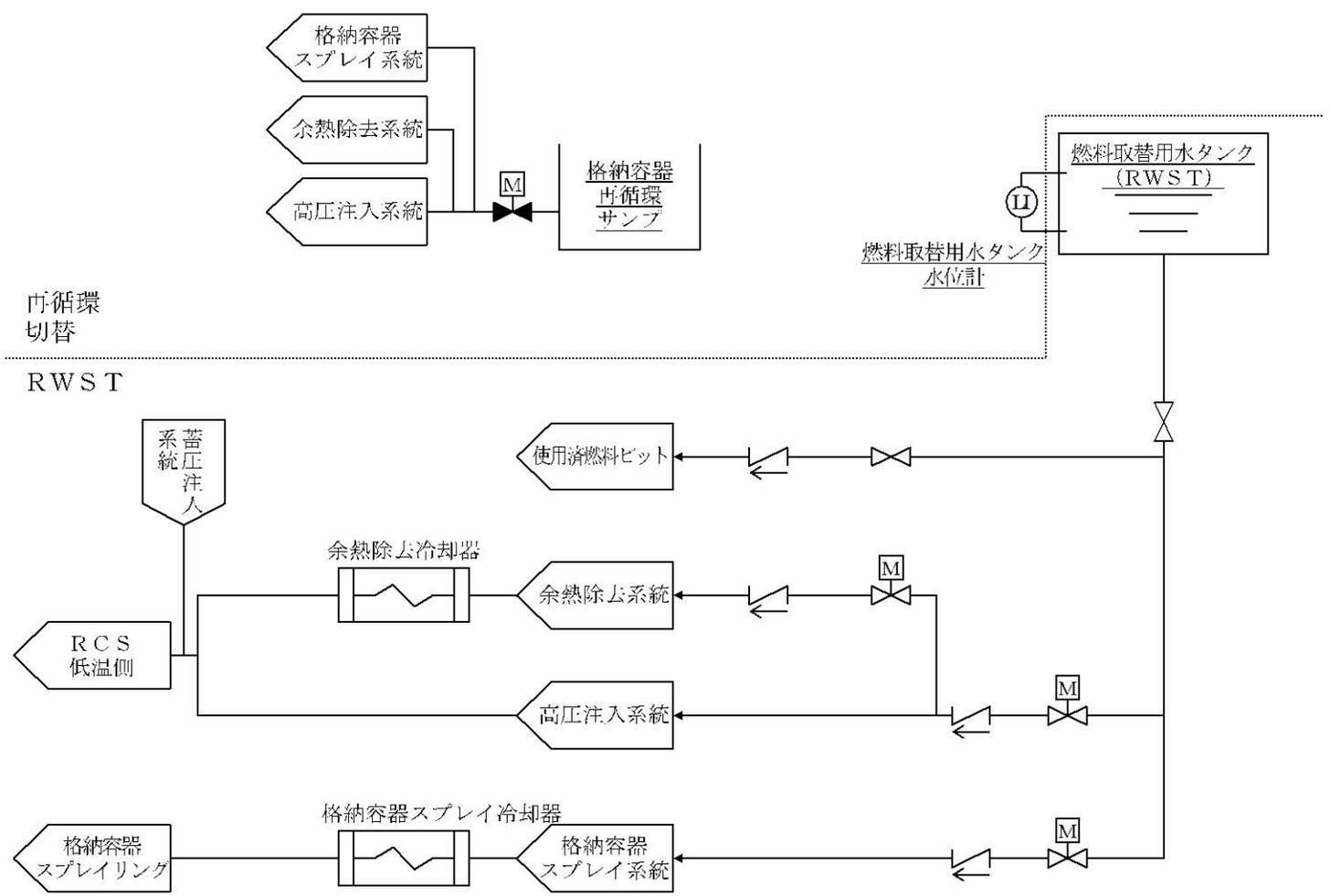
移動式大容量ポンプ車 (サポート系)



3.1.4-207

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止時炉心損傷、格納容器機能喪失) (16/19)

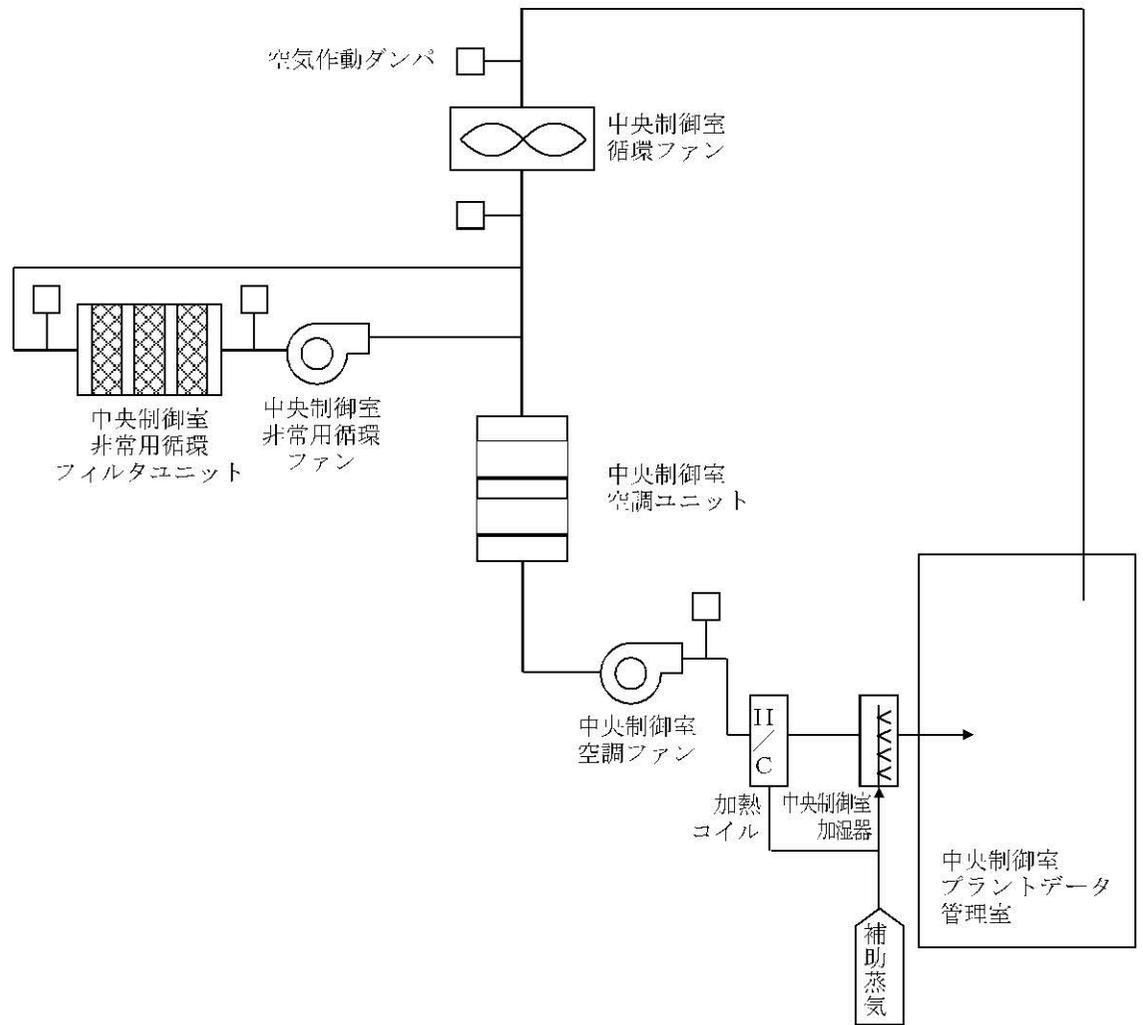
再循環切替 (サポート系)、RWST (サポート系)



3.1.4-208

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:出力運転時炉心損傷、運転停止時炉心損傷、格納容器機能喪失) (17/19)

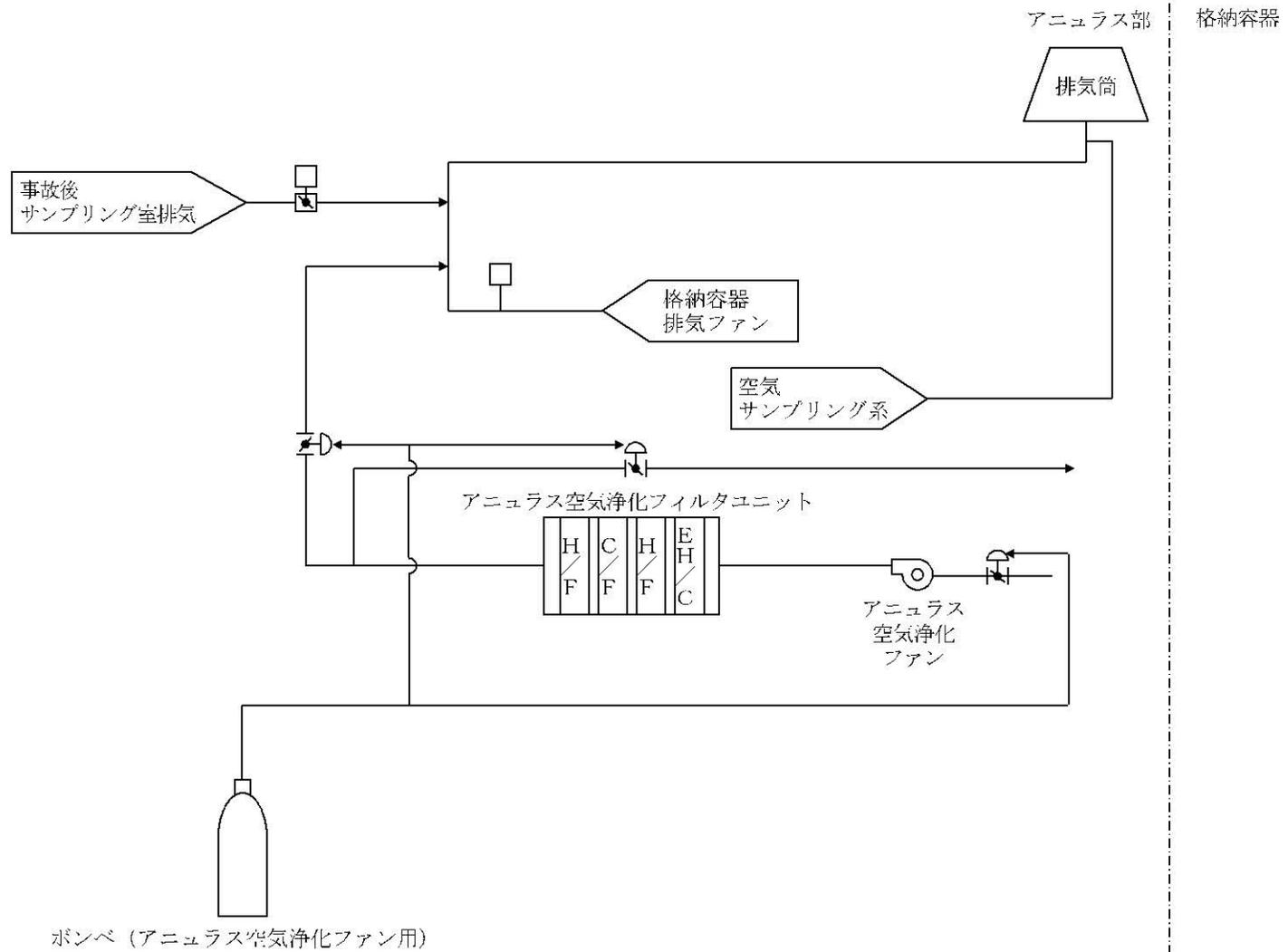
中央制御室空調系（被ばく低減）（サポート系）



3.1.4-209

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:格納容器機能喪失)(18/19)

アニュラス空気浄化系（サポート系）



3.1.4-210

第3.1.4.2-44図 各影響緩和機能の系統概要図(津波:格納容器機能喪失) (19/19)

(3) 地震及び津波の重畳

地震に伴い発生する津波を考えた場合、大規模な地震が合わせて発生することが想定されるが、クリフエッジ津波は基準津波の設定に用いた前提をはるかに超える事象であり、それを引き起す震源(波源)を定量的かつ科学的に想定することは困難である。したがって、地震及び津波の重畳評価では、地震と津波をそれぞれ独立した事象として想定し、“波源を特定しないクリフエッジ高さの波”が発電所に到達すると同時に“クリフエッジ加速度を生じる大地震”が発生するものとして、HCLPFと許容津波高さの両パラメータの全ての組合せを考慮することとする。

a. 炉心損傷防止対策

(a) 出力運転時

イ 評価方法

出力運転時の炉心損傷を防止するための措置について、以下の評価を実施する。(第 3.1.4.2-45 図参照)

(イ) 起回事象の選定

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」において実施した出力運転時炉心評価の結果に基づき特定されたクリフエッジとしてのHCLPF及び許容津波高さまでの範囲で、発生する各起回事象を選定する。

また、選定された各起回事象発生や各影響緩和機能に係るHCLPF又は許容津波高さについては、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」において評価した結果を用いる。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定

(イ)項にて選定した各起因事象について、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」の評価において特定されている収束シナリオを対象に、各収束シナリオを成立させるための各影響緩和機能に関するHCLPF及び許容津波高さのそれぞれの最小値を求め、それらの最小値の組合せを、当該収束シナリオに対する地震及び津波への耐力として求める。その上で、全ての収束シナリオから、最も耐力を有するシナリオを抽出し、そのシナリオの耐力を地震及び津波の重畳によるクリフエッジとして特定する。

ロ 評価結果

(イ) 起因事象の選定結果

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」の評価結果から、考慮すべき起因事象として、地震による起因事象である外部電源喪失、主給水流量喪失及び原子炉補機冷却水系の全喪失並びに津波による起因事象である主給水流量喪失、外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系の全喪失を対象とした。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定結果

i 地震による起因事象をベースとした評価

(イ)項の各起因事象について、3.1.4.2(1)a.(a)ロ(ハ)項で述べたように、外部電源喪失及び主給水流量喪失は、外部電源喪失にまとめて評価をすることができる。そのため、本評価においては「外部電源喪失+原子炉補機冷却水系の全喪失」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-4図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-46図のとおり抽出した。

その結果、地震におけるクリフエッジシナリオは、津波高さ13mまで津波の影響を受けないことを確認した。

ii 津波による起因事象をベースとした評価

(イ)項の各起因事象について、「主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-25図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-47図のとおり抽出した。

その結果、津波におけるクリフエッジシナリオは、地震加速度1.10Gまで地震の影響を受けないことを確認した。

上記の評価結果から、HCLPFが1.10G以上又は許容津波高さが13m以上の領域では、炉心にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線をクリフエッジとして特定した。(第3.1.4.2-48図参照)

(b) 運転停止時

イ 評価方法

運転停止時の炉心損傷を防止するための措置について、以下の評価を実施する。(第 3.1.4.2-45 図参照)

(イ) 起因事象の選定

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」において実施した運転停止時評価の結果に基づき特定されたクリフエッジとしてのHCLPF及び許容津波高さまでの範囲で、発生する各起因事象を選定する。

また、選定された各起因事象発生や各影響緩和機能の喪失に係るHCLPF又は許容津波高さについては、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」において評価した結果を用いる。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定

(イ)項にて選定した各起因事象について、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」の評価において特定されている収束シナリオを対象に、各収束シナリオを成功させるための各影響緩和機能の喪失に係るHCLPF及び許容津波高さのそれぞれの最小値を求め、それらの最小値の組合せを、当該収束シナリオに対する、地震及び津波への耐力として求める。その上で全ての収束シナリオから、最も耐力を有するシナリオを抽出し、そのシナリオの耐力を地震及び津波の重畳によるクリフエッジとして特定する。

ロ 評価結果

(イ) 起回事象の選定結果

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」の評価結果から、考慮すべき起回事象として、地震による起回事象である外部電源喪失及び原子炉補機冷却水系の全喪失並びに津波による起回事象である外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系の全喪失を対象とした。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定結果

i 地震による起回事象をベースとした評価

(イ)項の各起回事象について、「外部電源喪失+原子炉補機冷却水系の全喪失」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-9図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-49図のとおり抽出した。

その結果、地震におけるクリフエッジシナリオは、津波高さ13mまで津波の影響を受けないことを確認した。

ii 津波による起回事象をベースとした評価

(イ)項の起回事象について、「外部電源喪失+原子炉補機冷却海水系の全喪失」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-30図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波

高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-50図のとおり抽出した。

その結果、津波におけるクリフエッジシナリオは、地震加速度1.10Gまで地震の影響を受けないことを確認した。

上記の評価結果から、HCLPFが1.10G以上又は許容津波高さが13m以上の領域では、炉心にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線をクリフエッジとして特定した。(第3.1.4.2-51図参照)

b. 格納容器機能喪失防止対策

イ 評価方法

格納容器機能喪失を防止するための措置について、以下の評価を実施する。(第 3.1.4.2-45 図参照)

(イ) 起因事象の選定

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」において実施した格納容器機能評価の結果に基づき特定されたクリフエッジとしてのHCLPF及び許容津波高さまでの範囲で、発生する各起因事象を選定する。

また、選定された各起因事象発生や各影響緩和機能の喪失に係るHCLPF又は許容津波高さについては、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」において評価した結果を用いる。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定

(イ)項にて選定した各起因事象について、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」の評価において特定されている収束シナリオを対象に、各収束シナリオを成立させるための各影響緩和機能の喪失に係るHCLPFと許容津波高さのそれぞれの最小値を求め、それらの最小値の組合せを、当該収束シナリオに対する地震及び津波の耐力として求める。その上で全ての収束シナリオから、最も耐力を有するシナリオを抽出し、そのシナリオの耐力を地震及び津波の重畳によるクリフエッジとして特定する。

ロ 評価結果

(イ) 起回事象の選定結果

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」の評価結果から、考慮すべき起回事象として、地震による起回事象である外部電源喪失、主給水流量喪失及び原子炉補機冷却水系の全喪失が発生し、炉心損傷防止対策の収束シナリオが成立せず炉心損傷が発生している状態、並びに津波による起回事象である主給水流量喪失、外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系の全喪失が発生し、炉心損傷防止対策の収束シナリオが成立せず炉心損傷が発生している状態を対象とした。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定結果

i 地震による起回事象をベースとした評価

(イ)項の各起回事象について、3.1.4.2(1)a.(a)ロ(ハ)項で述べたように、外部電源が期待できないことを考慮すると外部電源喪失及び主給水流量喪失は、外部電源喪失にまとめて評価をすることができる。そのため、本評価においては「外部電源喪失+原子炉補機冷却水系の全喪失」により炉心が損傷した状態のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-12図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-52図のとおり抽出した。

その結果、地震におけるクリフエッジシナリオは、津波高さ13mまで津波の影響を受けないことを確認した。

ii 津波による起因事象をベースとした評価

(イ)項の各起因事象について、「主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」により炉心が損傷した状態のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-33図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-53図のとおり抽出した。

その結果、津波におけるクリフエッジシナリオは、地震加速度1.10Gまで地震の影響を受けないことを確認した。

上記の評価結果から、HCLPFが1.10G以上又は許容津波高さが13m以上の領域では、炉心にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線をクリフエッジとして特定した。(第3.1.4.2-54図参照)

c. 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策

イ 評価方法

SFP にある燃料の損傷を防止するための措置について、以下の評価を実施する。(第 3.1.4.2-45 図参照)

(イ) 起因事象の選定

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」において実施したSFP燃料評価の結果に基づき特定されたクリフエッジとしてのHCLPF及び許容津波高さまでの範囲で、発生する各起因事象を選定する。

また、選定された各起因事象発生や各影響緩和機能の喪失に係るHCLPF又は許容津波高さについては、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」において評価した結果を用いる。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定

(イ)項にて選定した各起因事象について、「3.1.4.2(1)地震」又は「3.1.4.2(2)津波」の評価において特定されている収束シナリオを対象に、各収束シナリオを成立させるための各影響緩和機能の喪失に係るHCLPF及び許容津波高さのそれぞれの最小値を求め、それらの最小値の組合せを、当該収束シナリオに対する地震及び津波の耐力として求める。その上で全ての収束シナリオから、最も耐力を有するシナリオを抽出し、そのシナリオの耐力を地震及び津波の重畳によるクリフエッジとして特定する。

ロ 評価結果

(イ) 起回事象の選定結果

「3.1.4.2(1)地震」及び「3.1.4.2(2)津波」の評価結果から、考慮すべき起回事象として、地震による起回事象である外部電源喪失、原子炉補機冷却水系の全喪失及びSFP冷却機能喪失、並びに津波による起回事象である外部電源喪失、原子炉補機冷却海水系の全喪失及びSFP冷却機能喪失を対象とした。

(ロ) 収束シナリオ及びクリフエッジの特定結果

i 地震による起回事象をベースとした評価

(イ)項の各起回事象について、「外部電源喪失＋原子炉補機冷却水系の全喪失＋ SFP冷却機能喪失」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-19図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-55図のとおり抽出した。

その結果、地震におけるクリフエッジシナリオは、津波高さ28mまで津波の影響を受けないことを確認した。

ii 津波による起回事象をベースとした評価

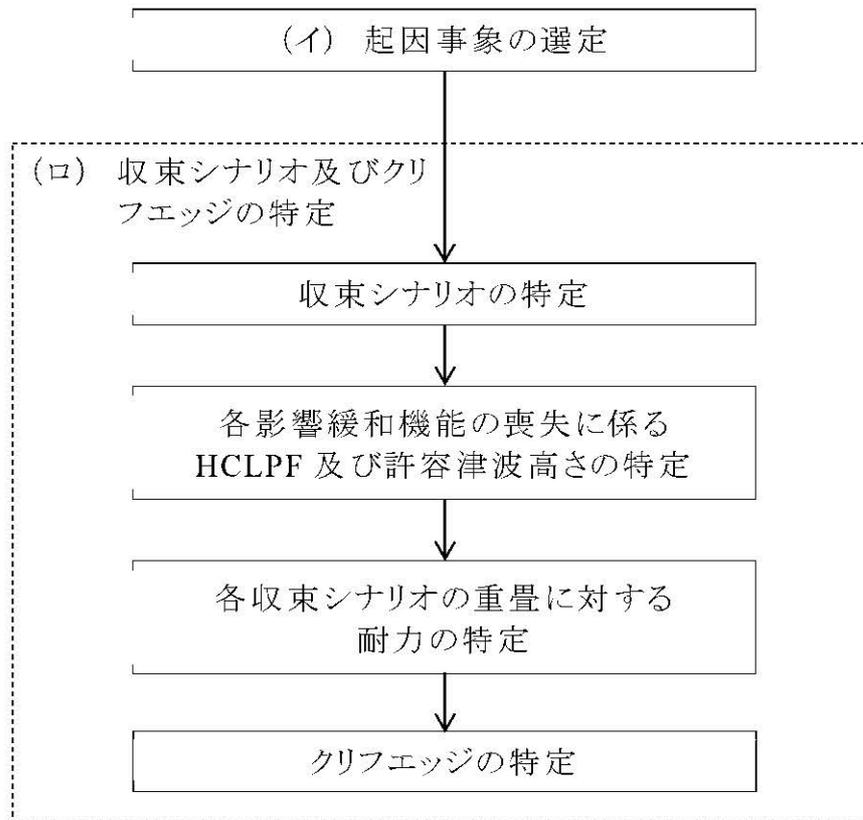
(イ)項の各起回事象について、3.1.4.2(2)c.ロ(ハ)項で述べたように、原子炉補機冷却海水系の全喪失に対して、SFP冷却機能喪失が従属的に発生する場合であっても、原子炉補機冷却海水系を必要としない影響緩和機能に期待できれば、燃料を安定、継続的に冷却す

ることができるため、原子炉補機冷却海水系の全喪失にまとめて評価をすることができる。そのため、本評価においては「外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、第3.1.4.2-38図のイベントツリーに対し、全ての収束シナリオにおける各影響緩和機能の耐力として、HCLPF及び許容津波高さの組合せの評価を行い、最も耐力を有するシナリオを第3.1.4.2-56図のとおり抽出した。

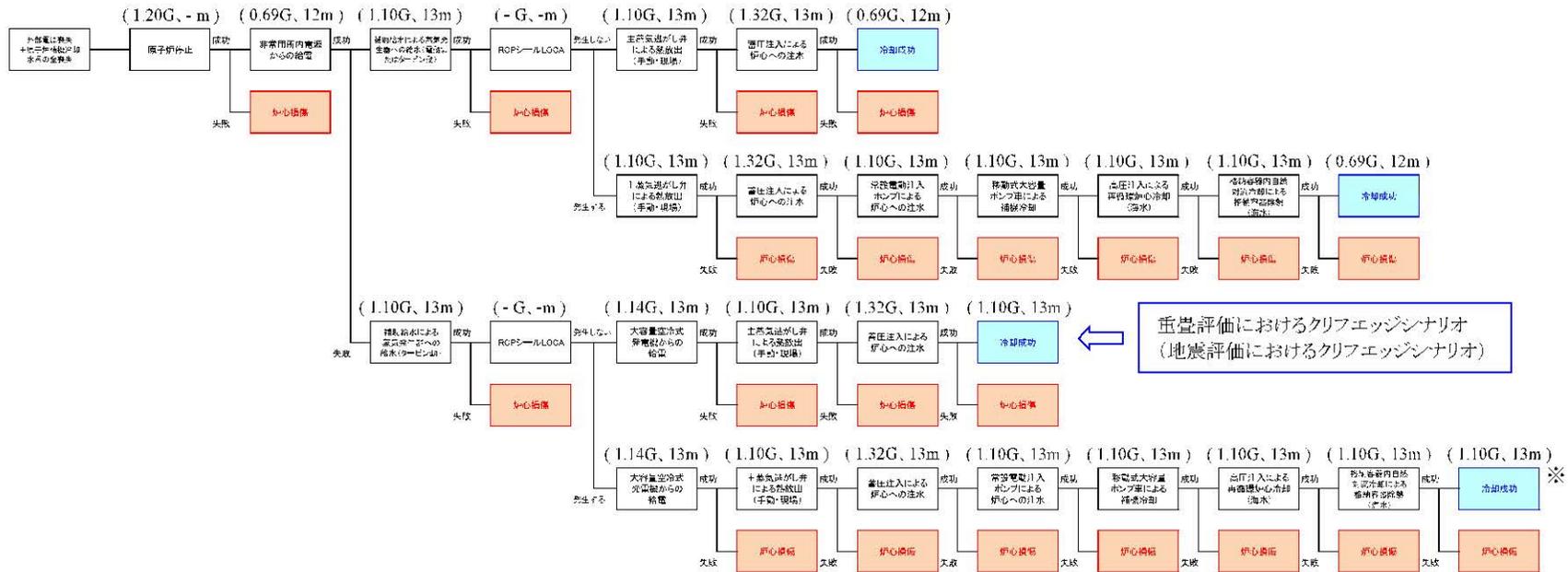
その結果、津波におけるクリフエッジシナリオは、地震加速度1.40Gまで地震の影響を受けないことを確認した。

上記の評価結果から、HCLPFが1.40G以上又は許容津波高さが28m以上の領域では、SFPにある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線をクリフエッジとして特定した。(第3.1.4.2-57図参照)



第 3.1.4.2-45 図 クリフエッジの特定に係るフロー図(地震及び津波の重畳)

起因事象：外部電源喪失＋原子炉補機冷却水系の全喪失

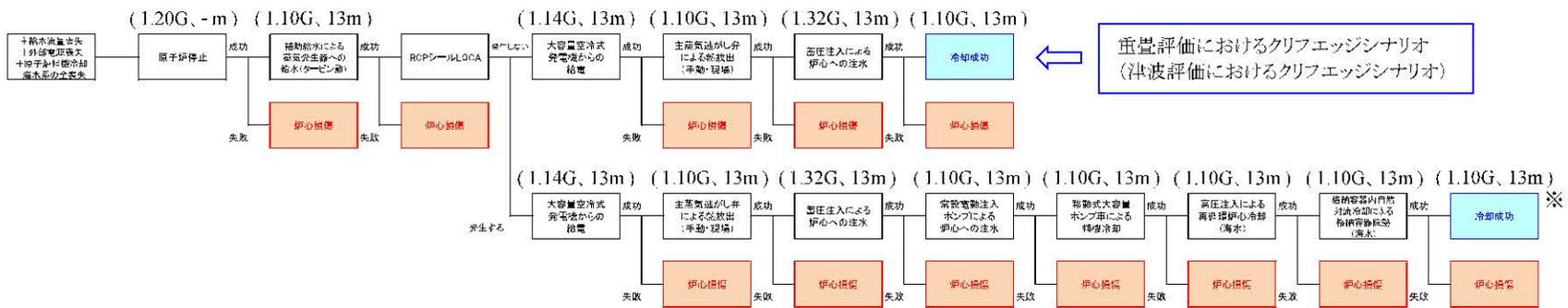


※当該起因事象が発生する地震加速度 0.82~1.10G 未満の範囲において、RCPシールドLOCAの発生を想定しないが、参考として発生した場合の収束シナリオの耐力を記載

第 3.1.4.2-46 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果

(重畳:出力運転時炉心損傷(地震による起因事象をベースとした評価))

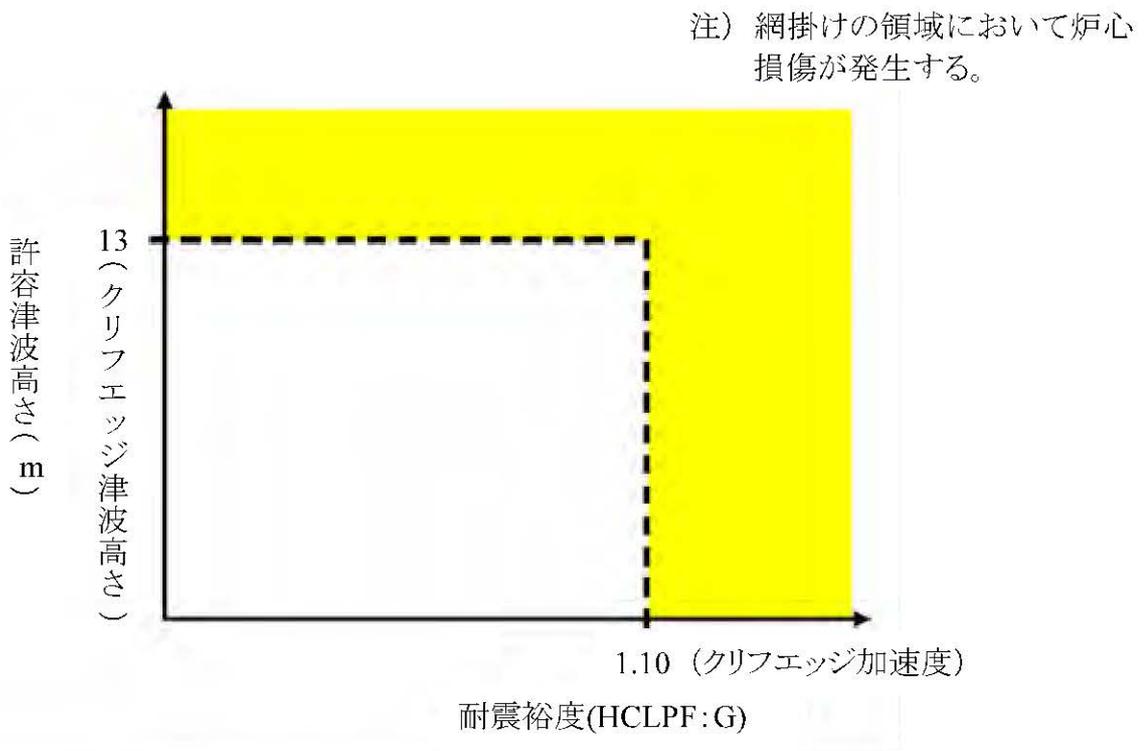
起因事象：主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失



※津波によって RCP シールドの健全性が損なわれることはないため RCP シールド LOCA の発生を想定しないが、参考として発生した場合の収束シナリオの耐力を記載。

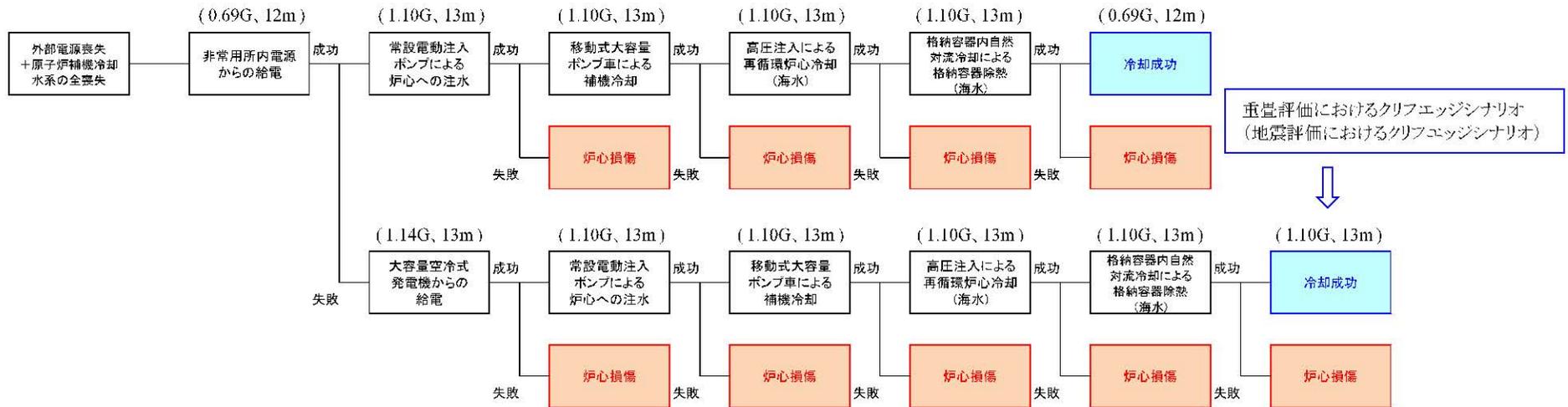
第 3.1.4.2-47 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果

(重畳：出力運転時炉心損傷(津波による起因事象をベースとした評価))



第 3.1.4.2-48 図 地震及び津波の重畳に関するクリフエッジ評価結果
(重畳:出力運転時炉心損傷)

起因事象：外部電源喪失＋原子炉補機冷却水系の全喪失



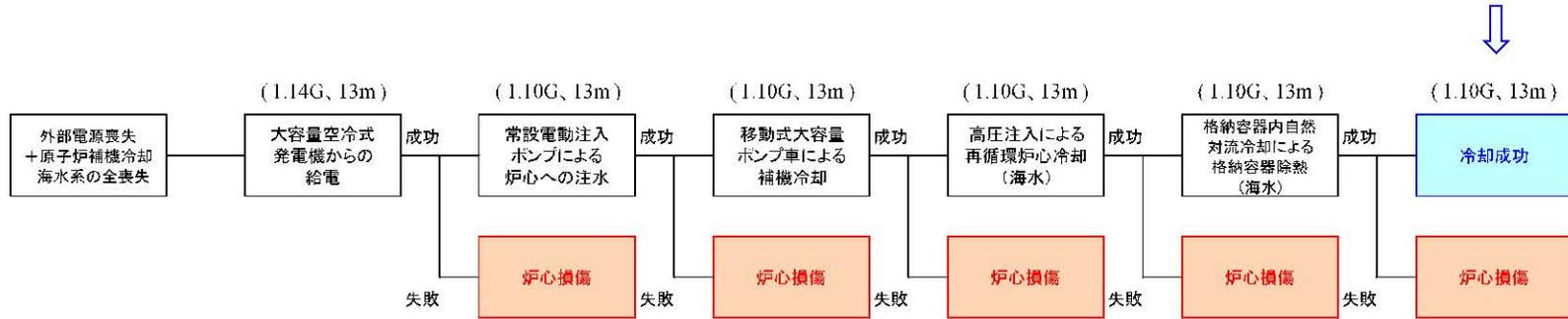
3.1.4-227

第 3.1.4.2-49 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果

(重畳：運転停止時炉心損傷(地震による起因事象をベースとした評価))

起因事象：外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失

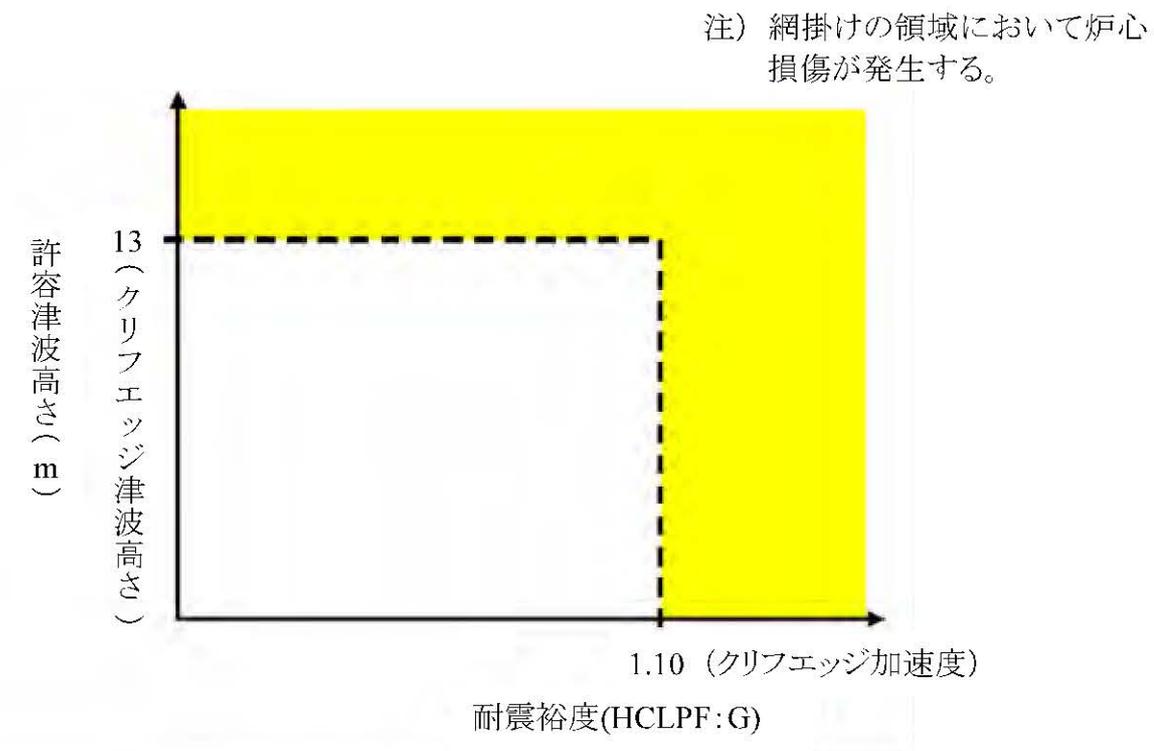
重畳評価におけるクリアエッジシナリオ
(津波評価におけるクリアエッジシナリオ)



3.1.4-228

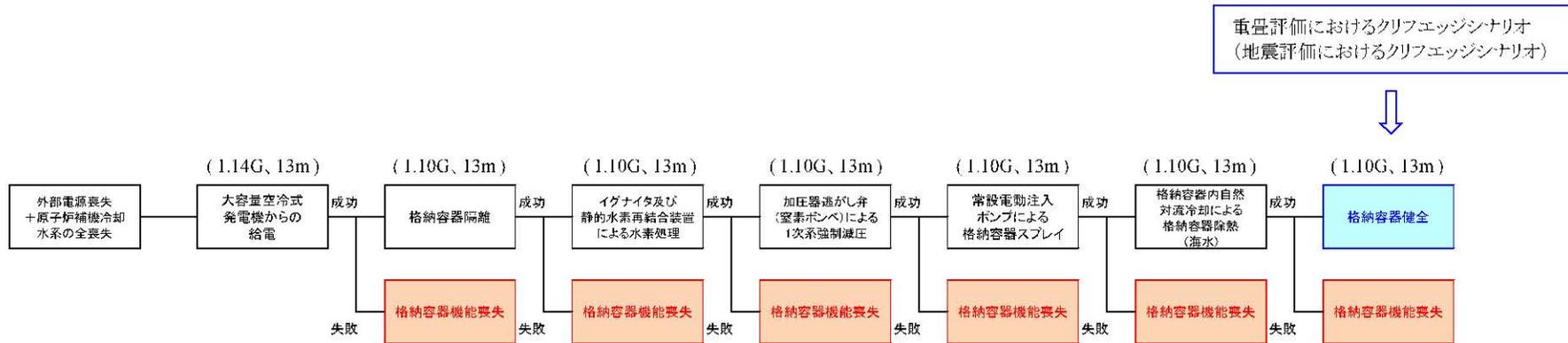
第 3.1.4.2-50 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果

(重畳：運転停止時炉心損傷(津波による起因事象をベースとした評価))



第 3.1.4.2-51 図 地震及び津波の重畳に関するクリフエッジ評価結果
(重畳: 運転停止時炉心損傷)

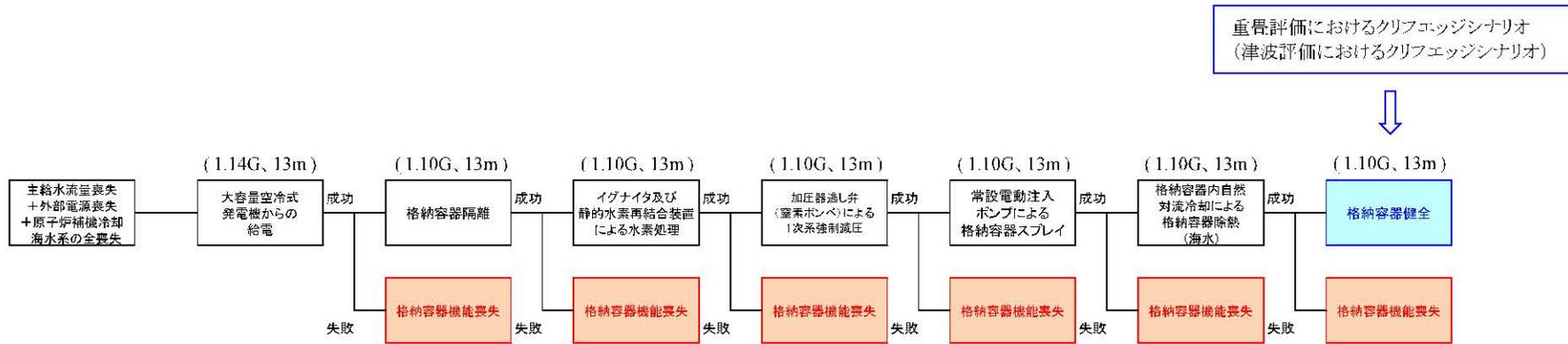
起因事象：外部電源喪失＋原子炉補機冷却水系の全喪失



3.1.4-230

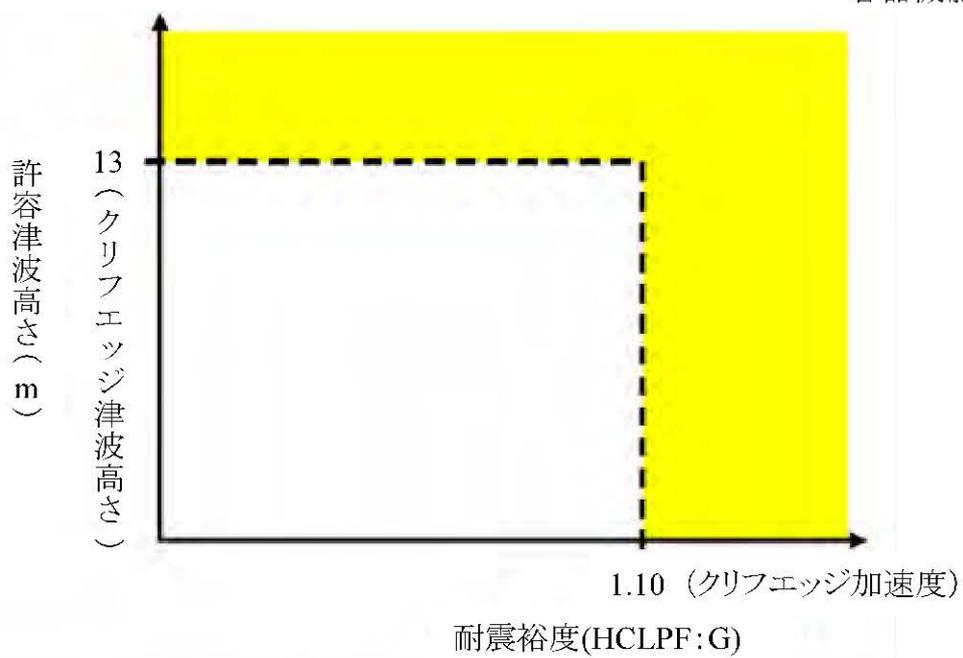
第 3.1.4.2-52 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果
(重畳：格納容器機能喪失(地震による起因事象をベースとした評価))

起因事象：主給水流量喪失＋外部電源喪失＋原子炉補機冷却海水系の全喪失



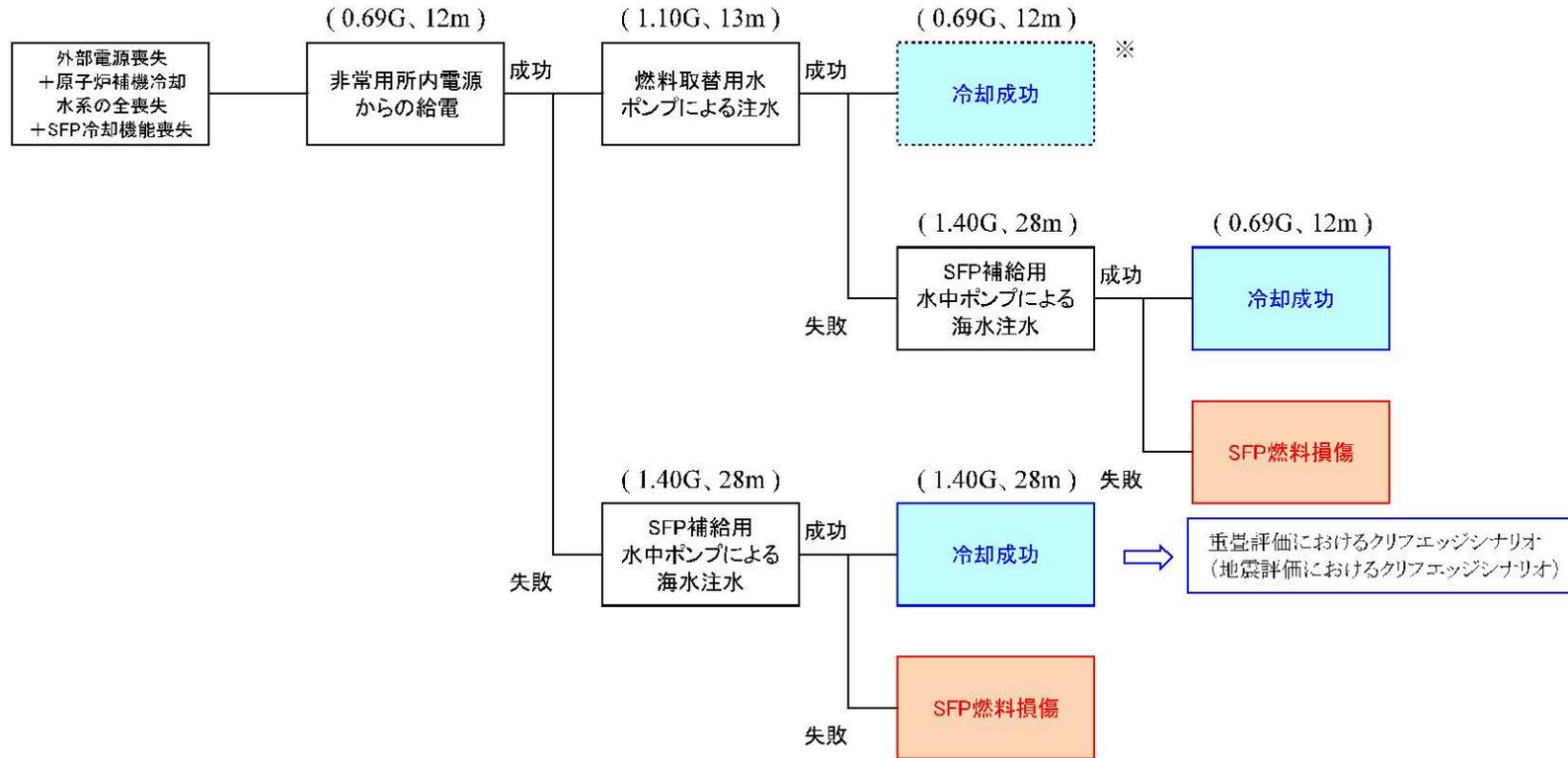
第 3.1.4.2-53 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果
(重畳：格納容器機能喪失(津波による起因事象をベースとした評価))

注) 網掛けの領域において格納容器機能喪失が発生する。



第 3.1.4.2-54 図 地震及び津波の重畳に関するクリフエッジ評価結果
(重畳:格納容器機能喪失)

起因事象：外部電源喪失＋原子炉補機冷却水系の全喪失＋SFP冷却機能喪失

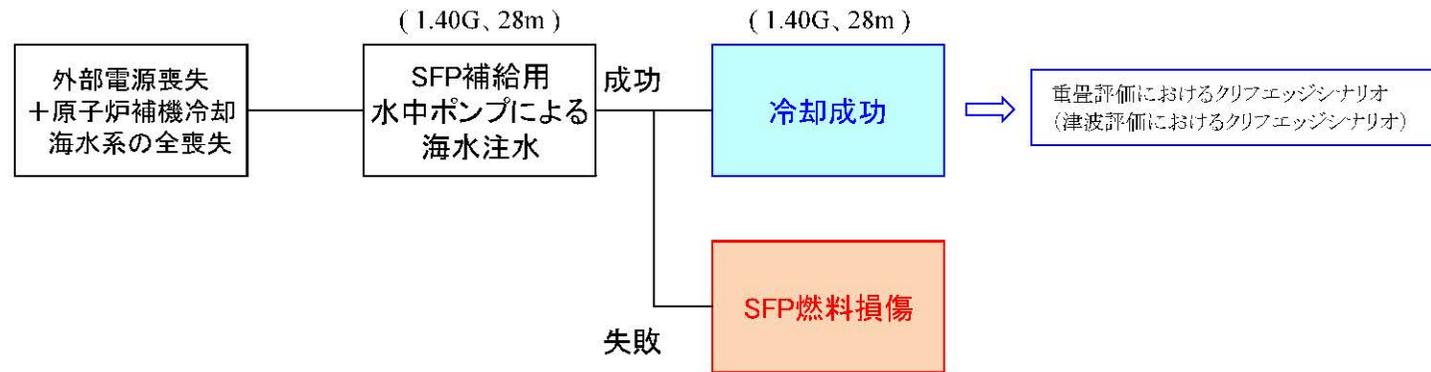


※炉心燃料損傷防止又は格納容器機能喪失防止に燃料取替用水タンク保有水を使用することを想定し、SFP燃料に対する評価では、当該成功シナリオを評価に含めず、参考として耐力を示す。

第 3.1.4.2-55 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果

(重畳：SFP燃料損傷(地震による起因事象をベースとした評価))

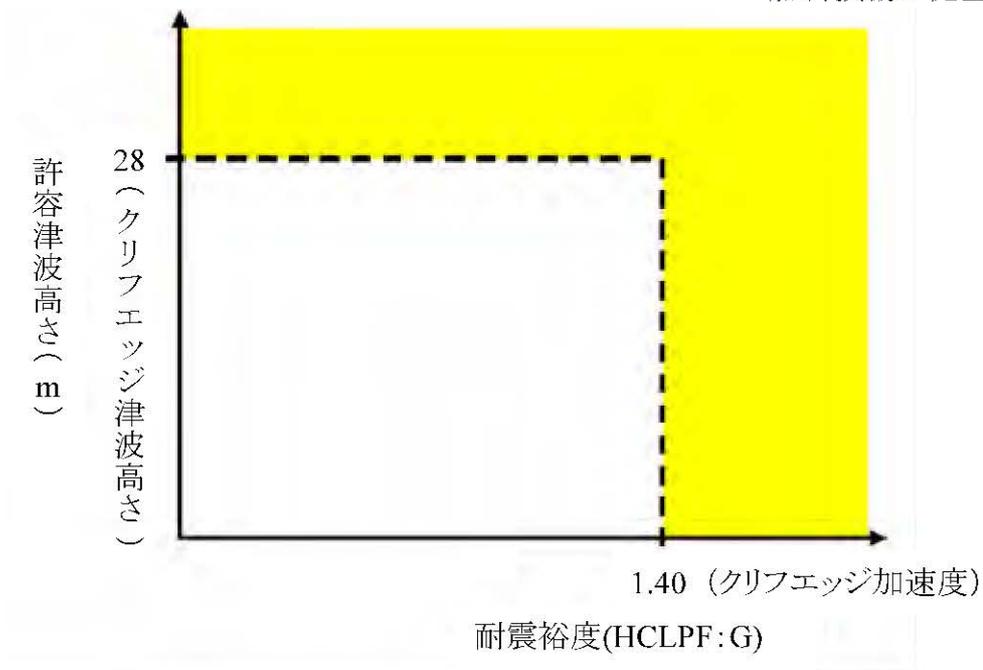
起 因 事 象 : 外 部 電 源 喪 失 + 原 子 炉 補 機 冷 却 海 水 系 の 全 喪 失



第 3.1.4.2-56 図 各収束シナリオの重畳に対する耐力の評価結果

(重畳:SFP 燃料損傷(津波による起 因 事 象 を ベ ー ス と し た 評 価))

注) 網掛けの領域において SFP
燃料損傷が発生する。



第 3.1.4.2-57 図 地震及び津波の重畳に関するクリフエッジ評価結果
(重畳:SFP 燃料損傷)

(4) クリフエッジに至った場合の対応措置

安全裕度評価の結果から、地震、津波並びに地震及び津波の重畳が発生した場合の炉心損傷、格納容器機能喪失及び SFP 燃料損傷に至るクリフエッジ・エフェクトを回避する可能性がある対応措置を検討した。

なお、検討に当たっては、クリフエッジの特定までに考慮していた設計基準対象施設及び発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類十の有効性評価において考慮した重大事故等対策に含まれていない重大事故等対処設備及び多様性拡張設備、並びに発電所外部からの支援等も含めて措置の検討を実施した。

a. 地震

第 3.1.4.2-37 表に、各評価項目におけるクリフエッジとなる事象及びその時のクリフエッジ加速度を示す。各クリフエッジシナリオでクリフエッジに至った場合に以下の対応を行うことで、炉心損傷又は使用済燃料損傷防止を図る。

(a) 炉心(出力運転時)については、クリフエッジで機能喪失するパワーセンタに替え、大容量空冷式発電機を用いた代替所内電源設備(重大事故等対処用変圧器受電盤、重大事故等対処用変圧器盤等)による監視計器及び蓄圧タンク出口弁への給電を行い、炉心損傷防止を図る。

(b) 炉心(運転停止時)については、クリフエッジで機能喪失するパワーセンタに替え、大容量空冷式発電機を用いた代替所内電源設備(重大事故等対処用変圧器受電盤、重大事故等対処用変圧器盤等)による常設電動注入ポンプへの給電を行い、炉心損傷防止を図る。

(c) 使用済燃料ピットについては、クリフエッジで機能喪失するタンクローリ及び水中ポンプ用発電機に替え、発電所外より手配した発電機、燃料により、SFP 補給用水中ポンプを用いた SFP への注水により使用済燃料損傷防止を図る。

b. 津波

第 3.1.4.2-38 表に、各評価項目におけるクリフエッジとなる事象及びその時のクリフエッジ許容津波高さを示す。各クリフエッジシナリオでクリフエッジに至った場合に以下の対応を行うことで、炉心損傷又は使用済燃料損傷防止を図る。

(a) 炉心(出力運転時、運転停止時)については、クリフエッジで機能喪失するタービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水、常設電動注入ポンプによる注水に替え、可搬型ディーゼル注入ポンプによる蒸気発生器若しくは炉心に注水することにより、炉心損傷防止を図る。

(b) 使用済燃料ピットについては、クリフエッジで機能喪失するタンクローリ、水中ポンプ及び水中ポンプ用発電機に替え、発電所外より手配した消防自動車、燃料により使用済燃料ピットへの注水を行うことにより、使用済燃料損傷防止を図る。

c. 地震及び津波の重畳

地震及び津波の重畳の評価結果では、津波評価におけるクリフエッジシナリオで要求される各機能が、同時に発生した地震により機能を喪失しないこと、及び、地震評価におけるクリフエッジシナリオで要求される各機能が同時に発

生じた津波により機能を喪失しないことをそれぞれ確認し、事象が重なったとしても互いのクリフエッジの値に影響しあうことがないことが確認された。このことから、地震及び津波の重畳に対する対応は、地震及び津波において抽出された各クリフエッジに至った場合の対応措置が有効である。

第 3.1.4.2-37 表 各評価項目におけるクリフエッジとなる事象及びその時のクリフエッジ地震動

| 評価項目 | | クリフエッジとなる事象 | クリフエッジ 加速度 |
|------|-----------|-------------|---|
| 地震 | 出力 運転時 | 炉心 | タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水不能 1,080Gal (1.10G) |
| | | 格納容器 | 格納容器隔離不能 1,080Gal (1.10G) |
| | | SFP 燃料 | SFP 補給用水中ポンプによる海水注水不能 1,372Gal (1.40G) |
| | 運転 停止時 | 炉心 | 常設電動注入ポンプによる炉心への注水不能 1,080Gal (1.10G) |

第 3.1.4.2-38 表 各評価項目におけるクリフエッジとなる事象及びその時のクリフエッジ許容津波高さ

| 評価項目 | | クリフエッジとなる事象 | クリフエッジ 津波高さ |
|------|-----------|-------------|--|
| 津波 | 出力 運転時 | 炉心 | タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水不能 13m |
| | | 格納容器 | 大容量空冷式発電機からの給電不能による格納容器隔離不能 13m |
| | | SFP 燃料 | SFP 補給用水中ポンプによる海水注水不能 28m |
| | 運転 停止時 | 炉心 | 大容量空冷式発電機からの給電不能による常設電動注入ポンプによる注水不能 13m |

3.1.4.3 事象進展と時間評価に関する評価

地震、津波並びに地震及び津波の重畳について、クリフエッジとなる収束シナリオ(以下「クリフエッジシナリオ」という。)に対し、炉心や燃料体の著しい損傷の防止あるいは原子炉格納容器の破損及び発電所外への放射性物質の異常な水準の放出の防止に講ずることとしている措置(以下「重大事故等対策」という。)を踏まえた事象進展を評価し、重大事故等対策の有効性を評価するとともに、重大事故等対策を開始するまでの余裕時間及び緩和機能の継続を必要とする時間を評価する。

(1) 事象進展と時間評価に関する評価の基本的考え方

a. 概 要

本発電用原子炉施設において、クリフエッジとなる地震等が発生した場合にも、重大事故等対策が有効であることを示すため、対応する評価項目を設定した上で、計算プログラムを用いた解析等を踏まえて、設備、手順及び体制の有効性を評価する。また、必要な緩和機能について、重大事故等対策を開始するまでの余裕時間及び緩和機能の継続を必要とする時間を評価する。

b. 評価対象の整理及び評価項目の設定

本発電用原子炉施設を対象とした安全裕度評価結果におけるクリフエッジシナリオを踏まえ、措置の有効性を確認するためのクリフエッジシナリオを選定して、対応する措置の有効性の評価を行う。

重大事故等対策の有効性を確認するため、「3.1.4.2 地震及び津波に対する評価」に示すクリフエッジシナリオについて、事象進展と時間評価（以下「時間評価等」という。）に関する評価を実施するクリフエッジシナリオ（以下「評価シナリオ」という。）の選定及び有効性を確認するための評価項目の設定を行う。

(a) 事象進展と時間評価に関する評価を実施するクリフエッジシナリオの選定

地震、津波並びに地震及び津波の重畳における以下、イ項～ロ項に示すクリフエッジシナリオに対し、評価シナリオを選定する。なお、地震、津波並びに地震及び津波の重畳のクリフエッジシナリオが同様のシナリオとなった場合は、事象進展等が厳しくなる地震及び津波の重畳の評価シナリオにて時間評価等を実施する。

イ 地震

(イ) 炉心損傷防止対策

- ・ 外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故

(ロ) 格納容器破損防止対策

- ・ 外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失し、補助給水機能が喪失する事故

(ハ) 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策

- ・ 外部電源喪失、原子炉補機冷却水系の機能喪失及び SFP 冷却系機能喪失時に非常用所内電源が喪失する事故

(ニ) 運転停止時の燃料損傷防止対策

- ・ 燃料取出前のミッドループ運転中に外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故

ロ 津波

(イ) 炉心損傷防止対策

- ・ 外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故

(ロ) 格納容器破損防止対策

- ・ 外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失し、補助給水機能が喪失する事故

(ハ) 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策

- ・ 外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系の全喪失時に非常用所内電源が喪失する事故

(ニ) 運転停止時の燃料損傷防止対策

- ・ 燃料取出前のミッドループ運転中に外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故

ハ 地震及び津波の重畳

(イ) 炉心損傷防止対策

- ・ 外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故

(ロ) 格納容器破損防止対策

- ・ 外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失し、補助給水機能が喪失する事故

(ハ) 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策

- ・ 外部電源喪失、原子炉補機冷却機能喪失及びSFP冷却系機能喪失時に非常用所内電源が喪失する事故

(ニ) 運転停止時の燃料損傷防止対策

- ・ 燃料取出前のミッドループ運転中に外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故

ニ 評価シナリオの選定

イ項からハ項に示したとおり、炉心損傷防止対策、使用済燃料ピット及び運転停止時の燃料損傷防止対策において、地震、津波並びに地震及び津波の重畳は、同様のクリフエッジシナリオとなる。

したがって、いずれの評価においても、事象進展等が厳しくなる地震及び津波の重畳におけるクリフエッジシナリオを評価シナリオとして選定し、時間評価等を実施する。

なお、格納容器破損防止対策について、「3.1.4.2 地震及び津波に対する評価」に示すとおり、格納容器破損防止対策の緩和手段の耐力は炉心損傷防止対策のクリフエッジ地震加速度及び津波高さと同じであり、炉心損傷となる地震加速度及び津波高さにおいて格納容器機能喪失に至ることから、時間評価等に関する評価は、炉心損傷防止対策の評価で代表させることとした。

(b) 有効性を確認するための評価項目の設定

「第 1 章 1.15.3.2(1)c. 重大事故等への対処に係る措置の有効性評価」に同じ。

c. 重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価

評価シナリオに対して、シナリオを成立させるために必要な緩和機能が、炉心損傷、格納容器破損等を回避する観点からどの程度まで遅れることが許容されるかを特定するために、重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価を実施する。

具体的には、評価シナリオにおいて重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価の対象となる緩和機能を選定し、評価項目を満足することを感度解析等により確認することで、余裕時間を評価する。なお、緩和機能については、イベントツリーのヘディングを用いて抽出する。

但し、以下のとおり、(a)項から(d)項については評価対象外とする。

(a) 自動で作動又は停止する緩和機能

余裕時間の評価は、運転員等操作がどの程度まで遅れることが許容されるかを特定するものである。そのため、自動で作動又は停止する緩和機能については、余裕時間を評価しない。

(b) サポート系の緩和機能

サポート系の緩和機能が想定どおり作動したとしても、フロントライン系の緩和機能が作動しない場合には、緩和機能を果たせないことから、サポート系の緩和機能の余裕時間はフロントライン系の緩和機能の余裕時間と同等である。そのため、サポート系の緩和機能については、余裕時間を評価しない。

(c) 中央制御室内で操作を行う緩和機能

中央制御室内で完結する操作は、現場操作と比較して、時間遅れが発生するとは考えにくい。そのため、中央制御室内で操作を行う緩和機能については、余裕時間を評価しない。

(d) 長期冷却に係る緩和機能

事象初期の緩和機能の操作により炉心等の冷却状態が確立し、炉心等の冷却に係るパラメータが安定した後の長期冷却に係る緩和機能の操作は既に十分な余裕時間がある。そのため、長期冷却に係る緩和機能については、余裕時間を評価しない。

d. 緩和機能の継続を必要とする時間の評価

クリフエッジシナリオに対して、シナリオを成立させるために必要な緩和機能が、炉心損傷、格納容器破損等を回避する観点から、どの程度維持を必要とするのかを特定するために、緩和機能の継続を必要とする時間の評価を実施する。

具体的には、原子炉施設でクリフエッジシナリオが発生することを想定し、必要となる発電所内の水源、燃料及び電源の資源の確保の観点から、必要水量、燃料消費量及び電源負荷を確認するとともに、7日間継続してこれらの資源が供給可能であることを評価する。また、有効性の評価において考慮されていない機器についても、使用した場合を想定して、各資源について7日間継続して資源の供給が可能であることを確認する。

(2) 炉心損傷防止対策

a. 評価シナリオ

炉心損傷防止対策における有効性を確認する評価シナリオは「(1) b. 評価対象の整理及び評価項目の設定」に示すとおり、「外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故」である。

b. 炉心損傷防止対策における有効性の評価結果

(a) 有効性の評価条件

本評価シナリオに対する主要な解析条件を第 3.1.4.3-1 表に示す。

(b) 有効性の評価結果

本評価シナリオにおける対策の概略系統図を第 3.1.4.3-1 図に、事象進展及び対応手順の概要を第 3.1.4.3-2 図に、必要な要員と作業項目について第 3.1.4.3-3 図に示す。第 3.1.4.3-2 図及び第 3.1.4.3-3 図に示すとおり、運転員、緊急時対策本部要員及び重大事故等対策要員にて対処可能である。また、1 次系圧力、1 次系温度、1 次系保有水量、原子炉容器内水位、燃料被覆管温度等の 1 次系パラメータの変化を第 3.1.4.3-4 図から第 3.1.4.3-10 図に、2 次系圧力、蒸気発生器水位等の 2 次系パラメータの変化を第 3.1.4.3-11 図から第 3.1.4.3-16 図に示す。

イ 事象進展

事象発生後、全交流動力電源喪失に伴い RCP の母線電圧が低下することにより、「1 次冷却材ポンプ電源電圧低」信号のトリップ限界値に到達し、原子炉は自動停止する。また、全交流動力電源喪失と同時に原子炉

補機冷却機能喪失を想定するが、RCP シール LOCA は発生しないことから 1 次系は高圧で維持される。

事象発生約 1 分後にタービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への注水が開始されることにより蒸気発生器の保有水量は回復する。事象発生約 30 分後に主蒸気逃がし弁の開放による 2 次系強制冷却を開始し、1 次系を減温、減圧することで、事象発生約 74 分後に蓄圧注入系が作動する。

事象発生約 24 時間後に 1 次系圧力が約 1.7MPa[gage]に到達し、その状態を維持し、その 10 分後に蓄圧タンクの出口弁を閉止し、さらに 10 分後に再び主蒸気逃がし弁を調整し 2 次系強制冷却を再開する。

事象発生約 28 時間後に、1 次系圧力が 0.83MPa[gage]に到達した時点で、RCP 封水戻りラインに設置されている逃がし弁が吹き止まることにより、RCP シール部からの 1 次冷却材の漏えいは停止し、事象発生約 30 時間後に 1 次系圧力が約 0.7MPa[gage]に到達する。

ロ 評価項目等

燃料被覆管温度は第 3.1.4.3-10 図に示すとおり、炉心は冠水状態にあることから初期値(約 390℃)以下にとどまる。このため、当該温度条件では、燃料被覆管の酸化反応は著しくならない。

1 次系圧力は第 3.1.4.3-4 図に示すとおり、初期値(約 15.9MPa[gage])以下となる。このため、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は、1 次系において生じる圧力損失等を考慮しても約 16.3MPa[gage]にとどまり、最高使用圧力の 1.2 倍(20.59MPa[gage])を下回る。

また、RCP シール部からの漏えいが停止するまでに原子炉格納容器内に漏えいした 1 次冷却材による原子炉格納容器圧力及び温度の上昇は

わずかであり、原子炉格納容器の最高使用圧力(0.392MPa[gage])及び最高使用温度(144℃)を下回る。

第 3.1.4.3-4 図及び第 3.1.4.3-5 図に示すように、1 次系圧力及び温度は低下傾向を示し、炉心は安定して冷却されており、安定停止状態に到達する。その後も主蒸気逃がし弁を用いた蒸気発生器による炉心冷却を継続することにより、安定停止状態を維持できる。

c. 重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価結果

重大事故等対策を開始するまでの余裕時間として、本評価シナリオにおける緩和機能を選定し、緩和機能の余裕時間を評価した結果を以下に示す。

(a) 余裕時間を評価する緩和機能の選定結果

本評価シナリオにおける緩和機能は、以下のとおりである。

- ・ 補助給水による蒸気発生器への給水(タービン動)
- ・ 主蒸気逃がし弁による熱放出(手動・現場)
- ・ 蓄圧注入による炉心への注水
- ・ 大容量空冷式発電機からの給電

余裕時間を評価する緩和機能として、「(1)c. 重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価」に示す考え方に基づき選定した結果は以下のとおりである。

- ・ 補助給水による蒸気発生器への給水(タービン動)

「(1)c. 重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価」の(a)項及び(d)項に該当することから、余裕時間を評価しない。

- ・ 主蒸気逃がし弁による熱放出(手動・現場)

余裕時間を評価する。

- ・ 蓄圧注入による炉心への注水

「(1)c. 重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価」の(a)項及び(d)項に該当することから、余裕時間を評価しない。

- ・ 大容量空冷式発電機からの給電

「(1)c. 重大事故等対策を開始するまでの余裕時間の評価」の(b)項に該当することから、余裕時間を評価しない。

(b) 余裕時間の評価結果

(a)項にて選定した主蒸気逃がし弁による熱放出の余裕時間を評価するため、主蒸気逃がし弁による熱放出の開始を RCP シール部の耐熱 O リング耐力が確認されている事象開始から 8 時間後に開始した場合の感度解析を実施した。その結果、第 3.1.4.3-17 図から第 3.1.4.3-20 図に示すとおり、1 次系の減温、減圧が遅くなることで、1 次系からの漏えい量が多くなり、1 次系保有水量の低下が早くなるが、評価項目となるパラメータに対して十分余裕がある。このため、余裕時間として事象発生から 8 時間程度は確保できる。

d. 緩和機能の継続を必要とする時間の評価結果

緩和機能の継続を必要とする時間として、必要な水源、燃料及び電源における評価結果を以下に示す。なお、今回の評価シナリオにおいては、「3.1.4.2 地震及び津波に対する評価」に示すとおり RCP シール LOCA の発生を想定しないが、評価結果が厳しくなる「外部電源喪失時に非常用所内交流電源が喪失し、原子炉補機冷却機能の喪失及び RCP シール LOCA が発生する事故」の評価結果を示す。

(a) 水 源

燃料取替用水タンクを水源とする常設電動注入ポンプによる代替炉心注水については、燃料取替用水タンク水位が水位異常低警報値となるまでの水量である約 1,960m³を使用し、事象発生後約 67.5 時間の注水継続が可能である。事象発生約 59 時間以降は、格納容器再循環サンプを水源とした高圧再循環による炉心注水を継続することにより、燃料取替用水タンクへの補給は不要である。

復水タンクを水源とするタービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への注水については、復水タンク枯渇までの水量約 970m³の使用を考慮し、事象発生後約 14.8 時間の注水継続が可能である。以降は、復水タンク(ピット)補給用水中ポンプにより淡水(八田浦貯水池)又は海水を復水タンクに補給する。

(b) 燃 料

大容量空冷式発電機による電源供給については、事象発生直後から全負荷での運転を想定して、7 日間の運転継続に約 230.2kℓ の重油が必要となる。

移動式大容量ポンプ車による格納容器内自然対流冷却、復水タンクへの補給及び使用済燃料ピット監視装置用空気供給システムについては、事象発生直後からの運転を想定して、7 日間の運転継続に約 46.5kℓ の重油が必要となる。使用済燃料ピットへの注水については、復水タンクへの補給に必要な重油に包絡される。

代替緊急時対策所用発電機による電源供給については、事象発生直後からの運転を想定して、7 日間の運転継続に約 7.8kℓ の重油が必要となる。

7 日間の運転継続に必要な重油は、これらを合計して約 284.5kℓ となるが、燃料油貯蔵タンク容量及び大容量空冷式発電機用燃料タンクの重油量約 376kℓ にて供給可能である。

(c) 電 源

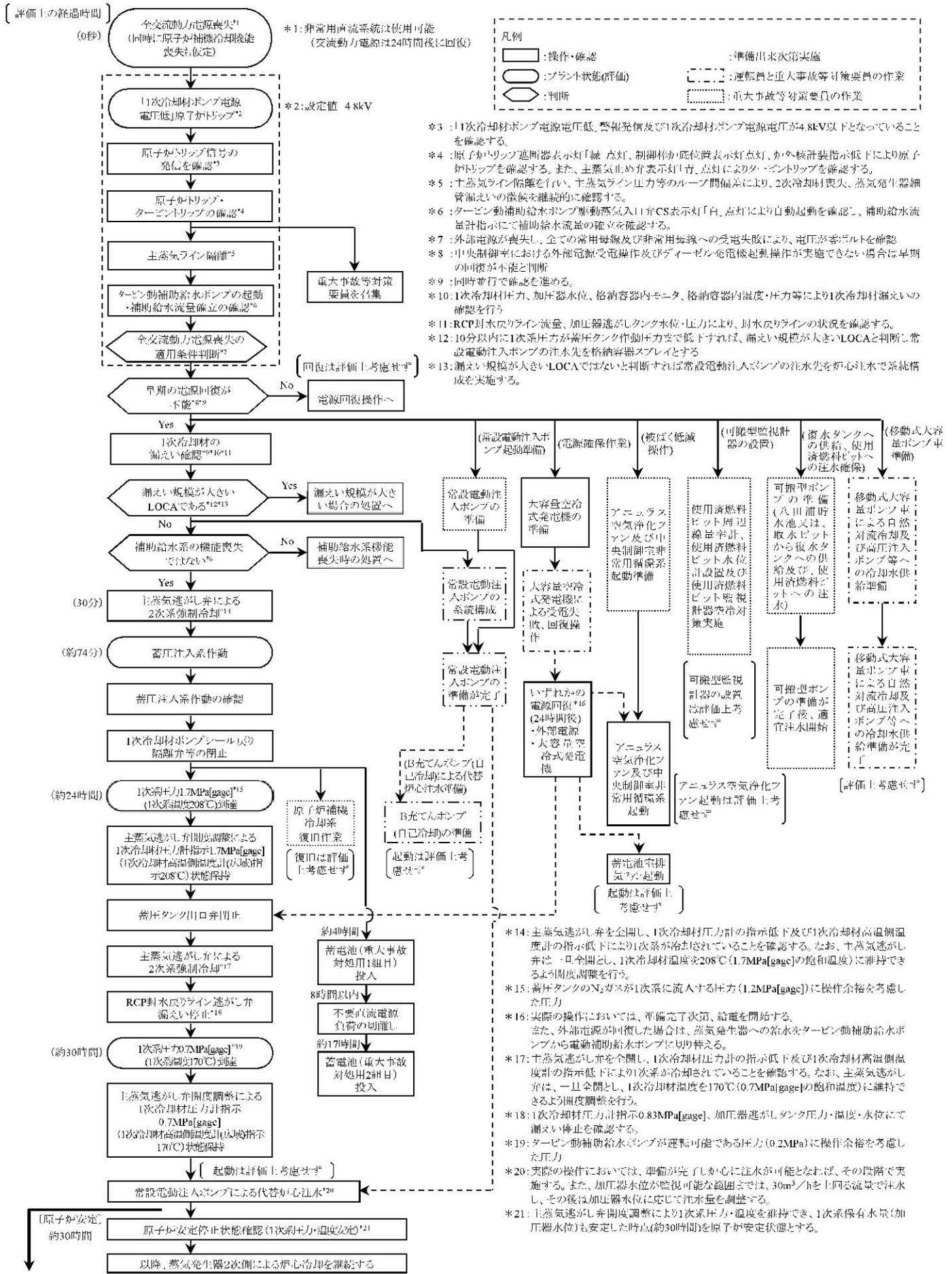
大容量空冷式発電機の電源負荷については、重大事故等対策に必要な負荷及びその他負荷として約 2,550kW の負荷が必要となるが、大容量空冷式発電機の給電容量約 3,200kW にて電源供給が可能である。

第 3.1.4.3-1 表 主要解析条件(炉心損傷防止対策(外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故))(1/2)

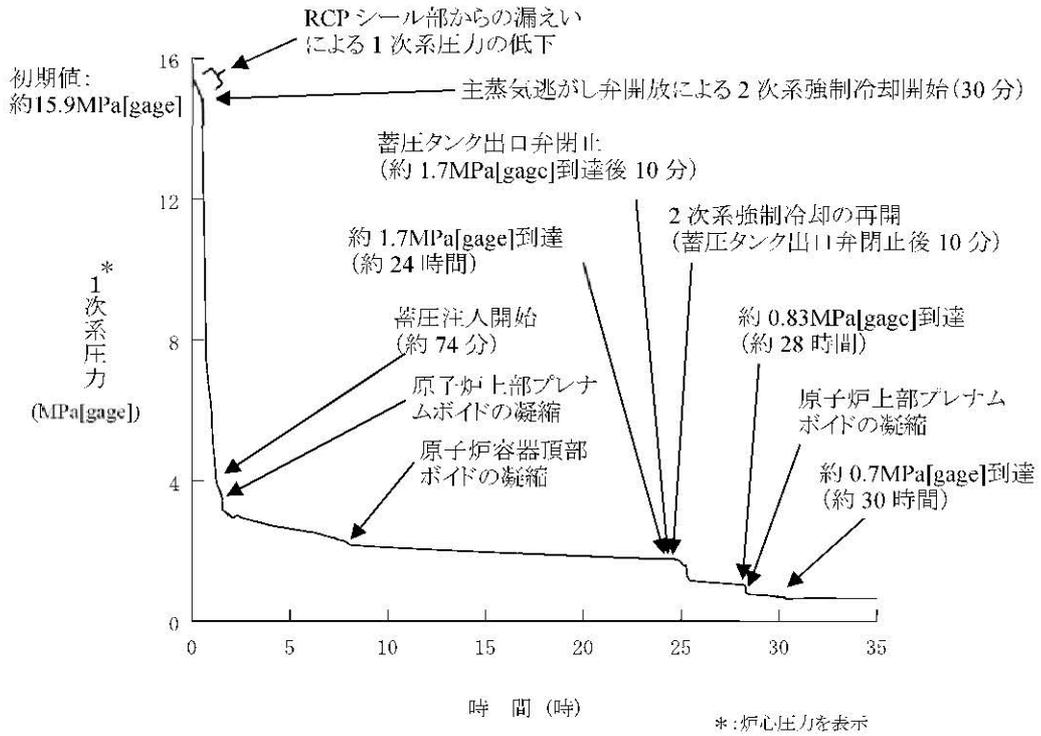
| 項目 | 主要解析条件 | 条件設定の考え方 | |
|-------|--------------------|---|--|
| 解析コード | M-RELAP5 | 本評価シナリオに係る事象進展等を適切に評価することが可能であるコード。 | |
| 初期条件 | 炉心熱出力 (初期) | 100%(3,411MWt)×1.02 | 評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。 炉心熱出力が大きいと崩壊熱及び炉心保有熱が大きくなり、1次冷却材の蒸散量及び燃料被覆管温度の評価の観点から厳しい設定。 |
| | 1次系圧力 (初期) | 15.41+0.21MPa[gage] | 評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。 1次系圧力が高いと2次系強制冷却による1次系の減温、減圧が遅くなるとともに、蓄圧注入のタイミングが遅くなり、比較的低温の冷却水を注水するタイミングも遅くなることから厳しい設定。 |
| | 1次冷却材平均温度 (初期) | 307.1+2.2℃ | 評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。 1次冷却材平均温度が高いと2次系強制冷却による1次系の減温、減圧が遅くなるとともに、蓄圧注入のタイミングが遅くなり、比較的低温の冷却水を注水するタイミングも遅くなることから厳しい設定。 |
| | 炉心崩壊熱 | FP:日本原子力学会推奨値 アクチニド:ORIGEN2 (サイクル末期を仮定) | サイクル末期炉心の保守的な値を設定。燃焼度が高いと高次のアクチニドの蓄積が多くなるため長期冷却時の崩壊熱は大きくなる。このため、燃焼度が高くなるサイクル末期時点を対象に崩壊熱を設定。また、使用する崩壊熱はウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の装荷を考慮。 |
| 事故条件 | 起回事象 | 外部電源喪失 原子炉補機冷却機能喪失 | 外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失が発生するものとして設定。 |
| | 安全機能の喪失 に対する仮定 | 非常用所内交流電源喪失 | 非常用所内交流電源が喪失するものとして設定。 |
| | RCPからの漏えい率 (初期) | 定格圧力において1.5m ³ /h/台 相当となる 口径約0.2cm(約0.07インチ)/台 (4台) (事象発生時からの漏えいを仮定) | RCPシール部の機能が維持されている場合の漏えい率を評価した結果と同程度の値として設定。 |

第 3.1.4.3-1 表 主要解析条件(炉心損傷防止対策(外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故))(2/2)

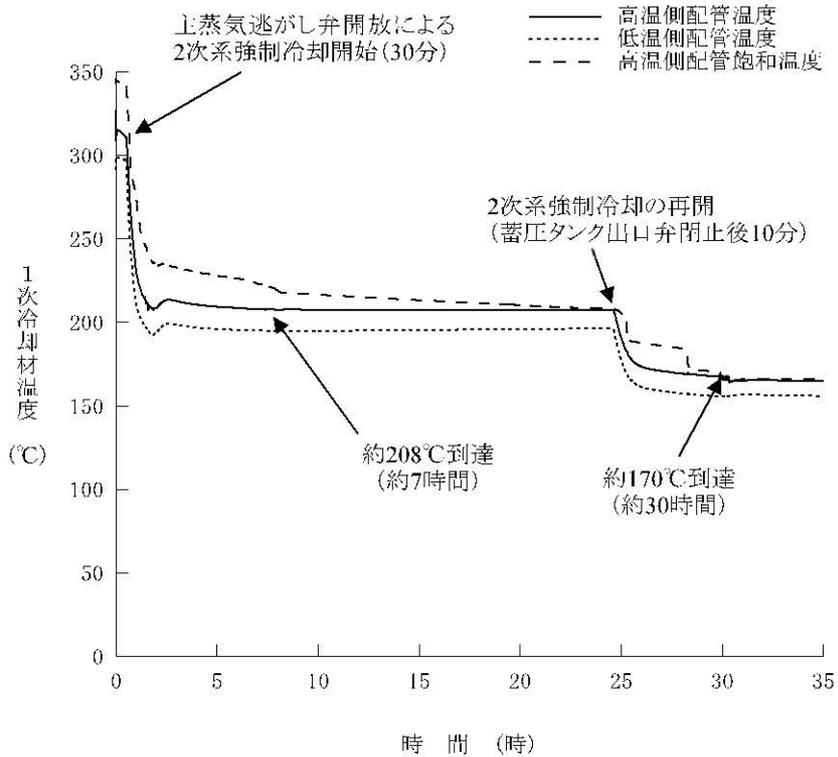
| 項目 | 主要解析条件 | 条件設定の考え方 | |
|------------------|-------------------------|--|---|
| 重大事故等対策に関連する機器条件 | 原子炉トリップ信号 | 1次冷却材ポンプ電源電圧低 (定格値の65%) (応答時間1.5秒) | トリップ設定値に計装誤差を考慮した低めの値として、解析に用いるトリップ限界値を設定。検出遅れ、信号発信遅れ時間等を考慮した遅めの値として、応答時間を設定。 |
| | タービン動補助給水ポンプ | 事象発生から60秒後に注水開始 | タービン動補助給水ポンプの作動時間は、信号遅れ及びポンプの定速達成時間に余裕を考慮して設定。 |
| | | 200m ³ /h/4SG | タービン動補助給水ポンプの設計値から、ミニフロー流量を除いた値により4基の蒸気発生器へ注水される場合の注水流量から設定。 |
| | 主蒸気逃がし弁 | 定格ループ流量の10%/個 (定格運転時) | 定格運転時において、設計値として各ループに設置している主蒸気逃がし弁1個当たり定格主蒸気流量(ループ当たり)の10%を処理できる流量として設定。 |
| | 蓄圧タンク保持圧力 | 4.04MPa[gage] (最低保持圧力) | 炉心への注水のタイミングを遅くする最低の圧力として設定。 |
| | 蓄圧タンク保有水量 | 26.9m ³ /基 (最小保有水量) | 標準的に最小の保有水量を設定。 |
| 漏えい停止圧力 | 0.83MPa[gage] | 1次冷却材ポンプ封水戻りラインに設置している逃がし弁の閉止圧力を基に設定。 | |
| 重大事故等対策に関連する操作条件 | 2次系強制冷却開始 (主蒸気逃がし弁開) | 事象発生から30分後 | 運転員等操作時間として、事象発生の検知及び判断に10分、主蒸気逃がし弁の現場での入力による開操作に20分を想定して設定。 |
| | 1次系温度、圧力の保持 | 1次冷却材温度208℃ (約1.7MPa[gage])到達時及び 1次冷却材温度170℃ (約0.7MPa[gage])到達時 | 208℃については、蒸気発生器による炉心冷却に伴う1次系の自然循環を阻害するおそれがある窒素の混入を防止するために、蓄圧タンクから1次系に窒素が混入する圧力である約1.2MPa[gage]に対して、0.5MPaの余裕を考慮して設定。また、170℃については、余熱除去系による炉心冷却への切替え等を考慮して設定。 |
| | 蓄圧タンク出口弁閉止 | 1次系圧力約1.7MPa[gage]到達 から10分後 | 運転員等操作時間として、蓄圧タンク出口弁の駆動源である代替交流電源確立の検知及び判断に10分を想定し設定。 |
| | 2次系強制冷却再開 (主蒸気逃がし弁開) | 蓄圧タンク出口弁閉止から10分後 | 運転員等操作時間として、主蒸気逃がし弁の調整操作に10分を想定して設定。 |
| | 補助給水流量の調整 | 蒸気発生器狭域水位内 | 運転員等操作として、蒸気発生器狭域水位内に維持するように設定。 |



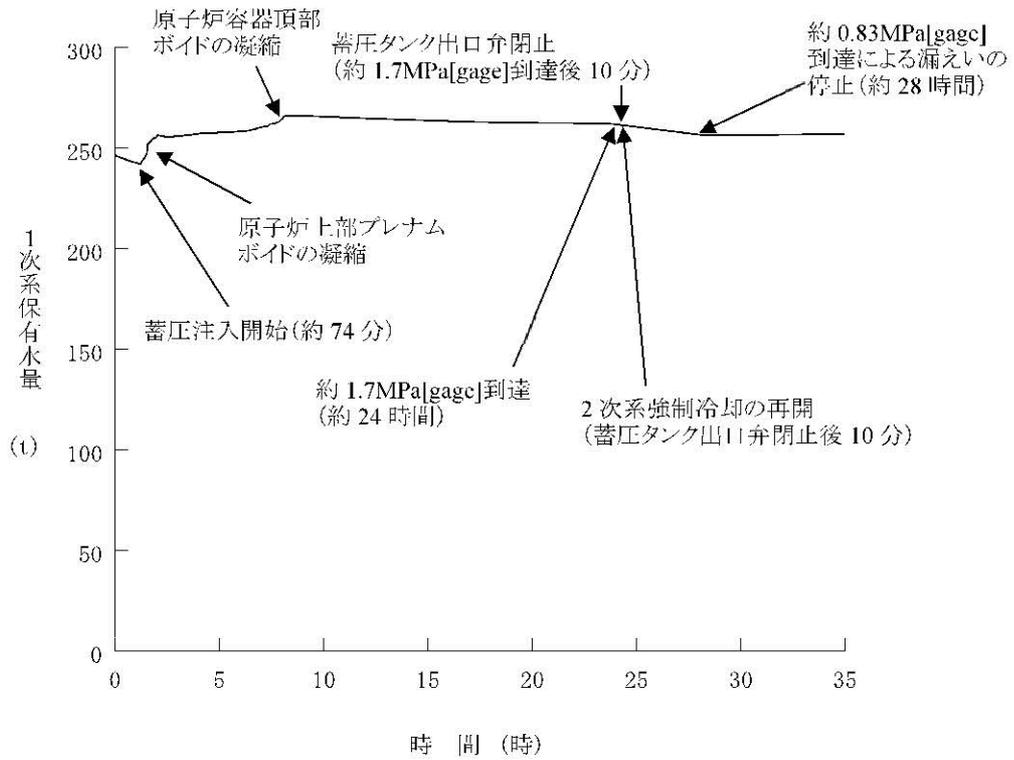
第 3.1.4.3-2 図 炉心損傷防止対策における対応手順の概要
 (「外部電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失時に非常用所内交流電源が喪失する事故」の事象進展)



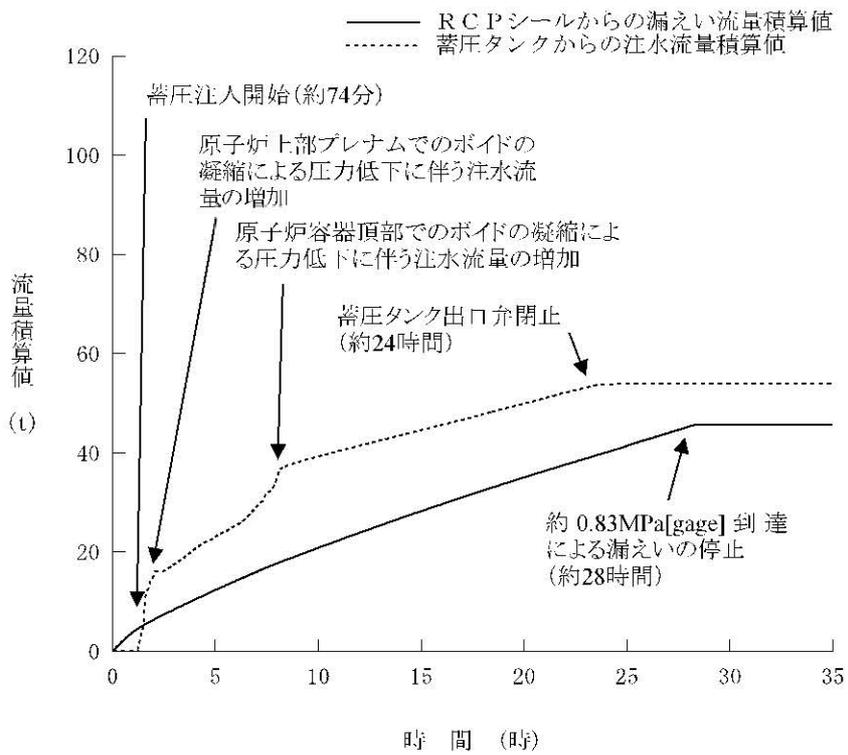
第 3.1.4.3-4 図 1次系圧力の推移



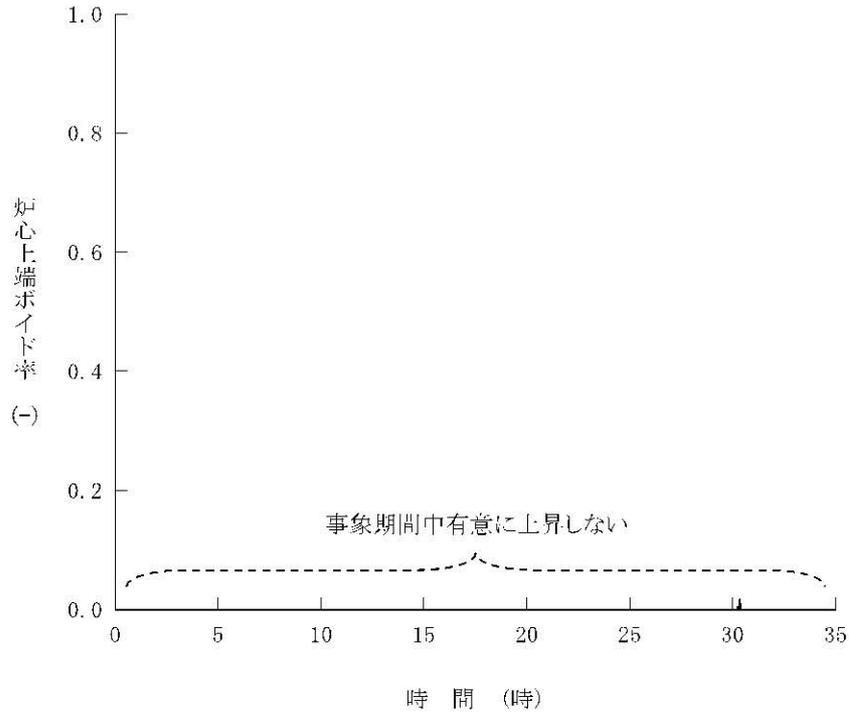
第 3.1.4.3-5 図 1次系温度の推移



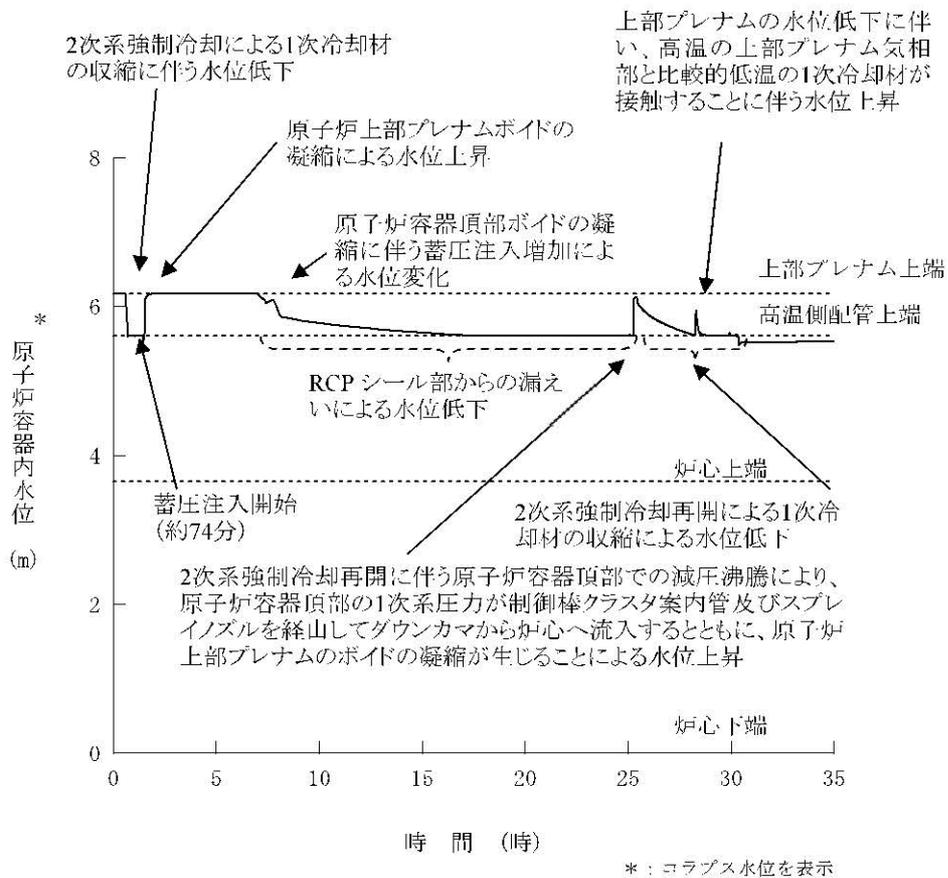
第 3.1.4.3-6 図 1 次系保有水量の推移



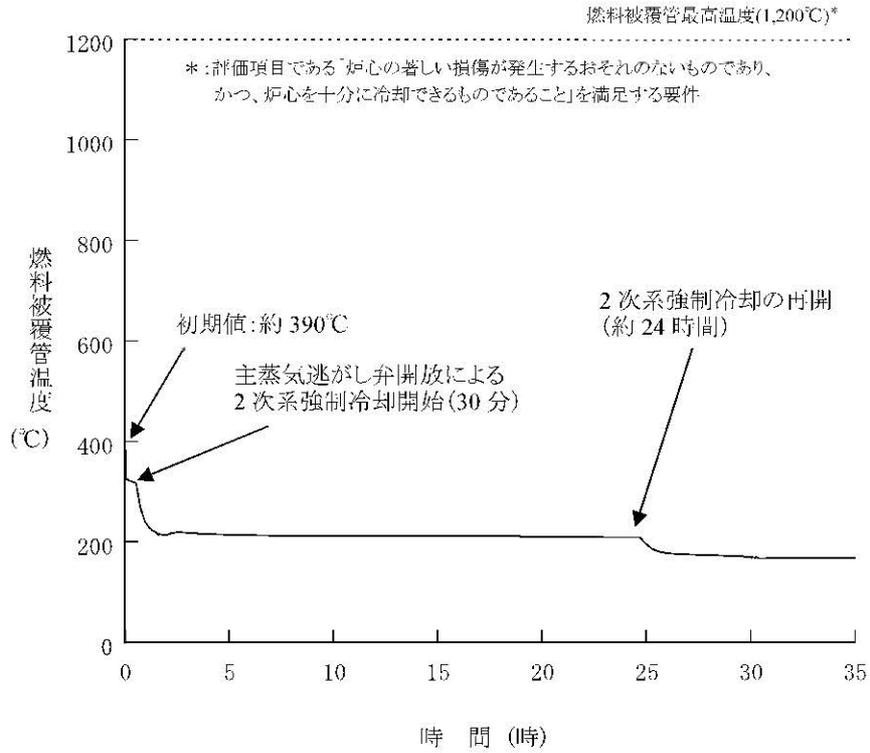
第 3.1.4.3-7 図 漏えい流量と注水流量の積算値の推移



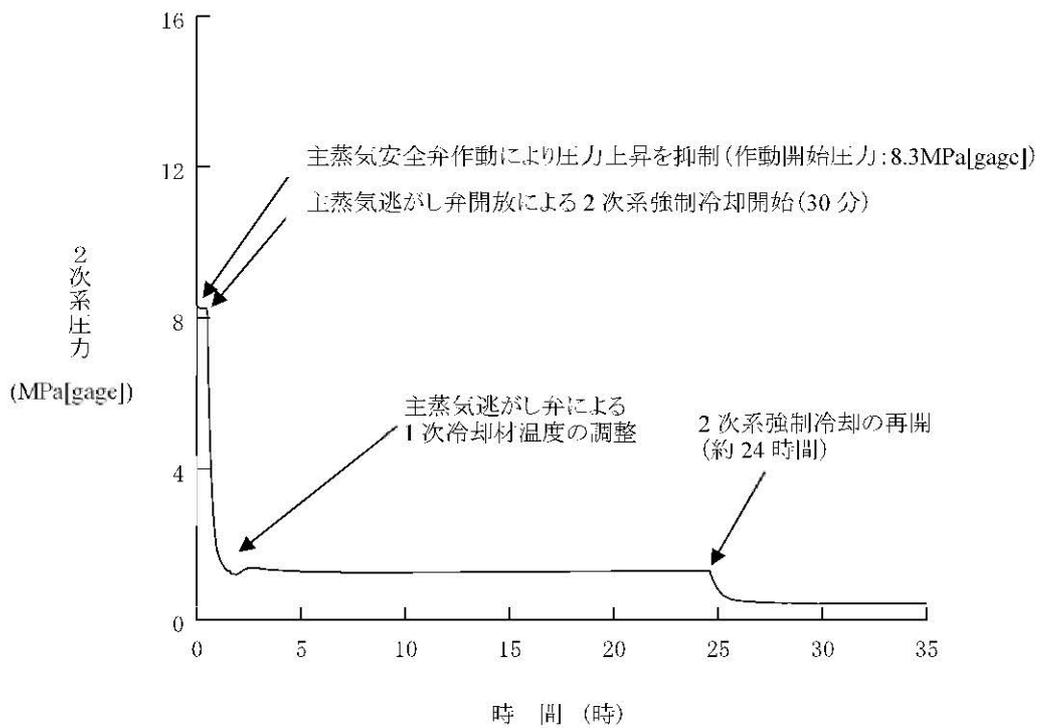
第 3.1.4.3-8 図 炉心上端ボイド率の推移



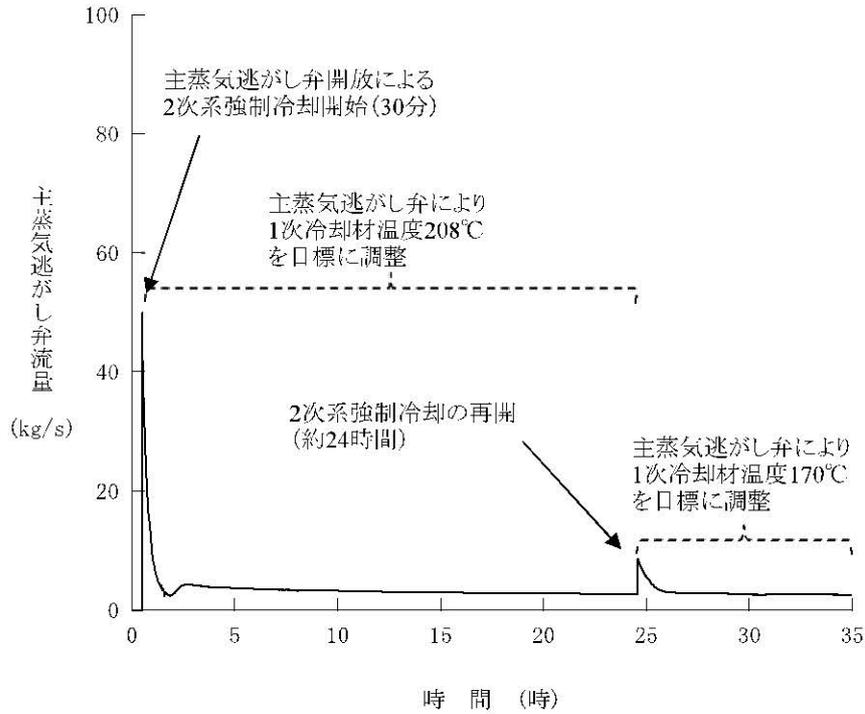
第 3.1.4.3-9 図 原子炉容器内水位の推移



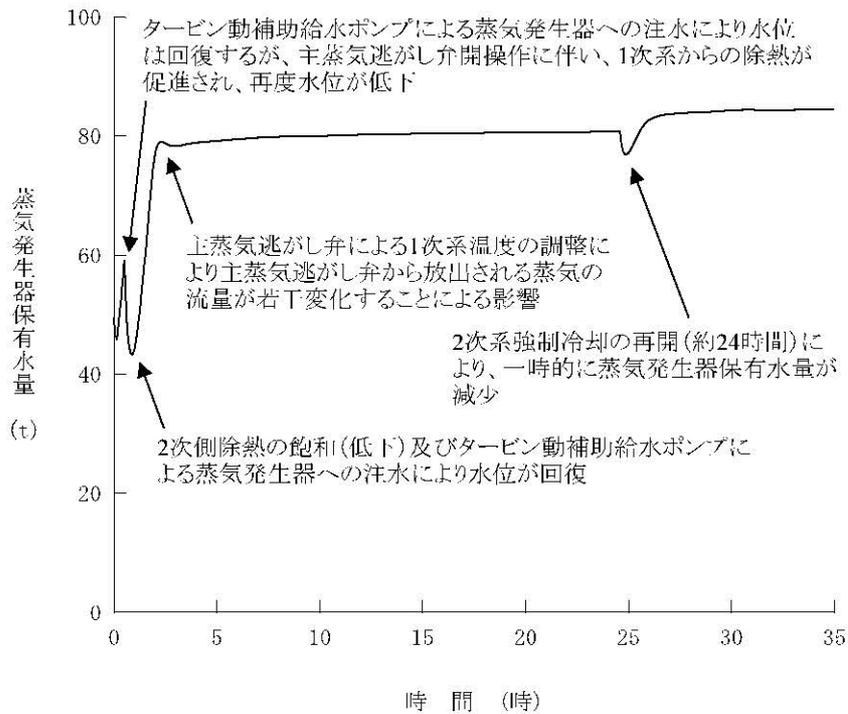
第 3.1.4.3-10 図 燃料被覆管温度の推移



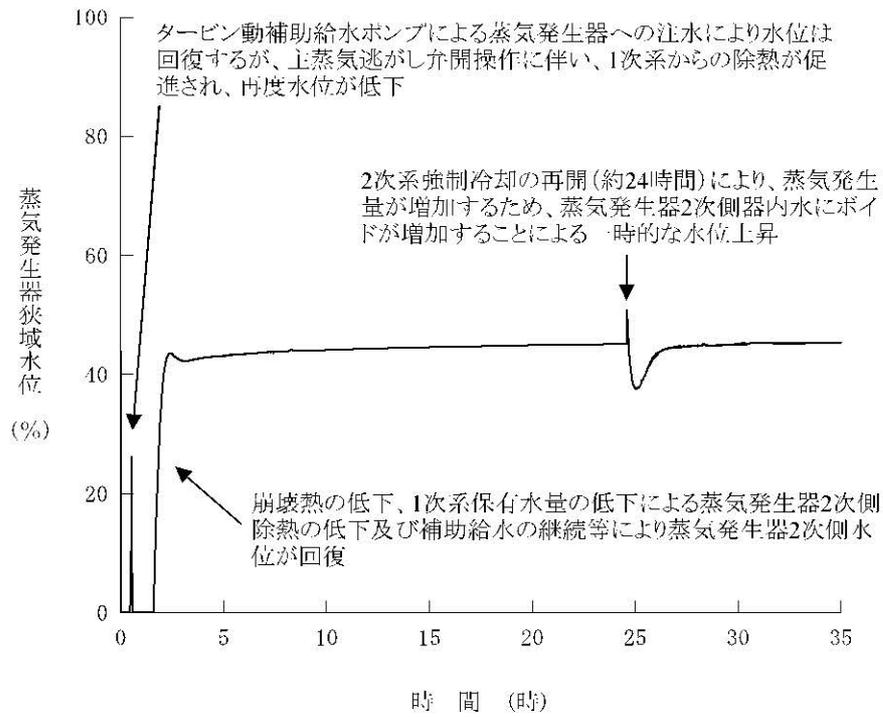
第 3.1.4.3-11 図 2次系圧力の推移



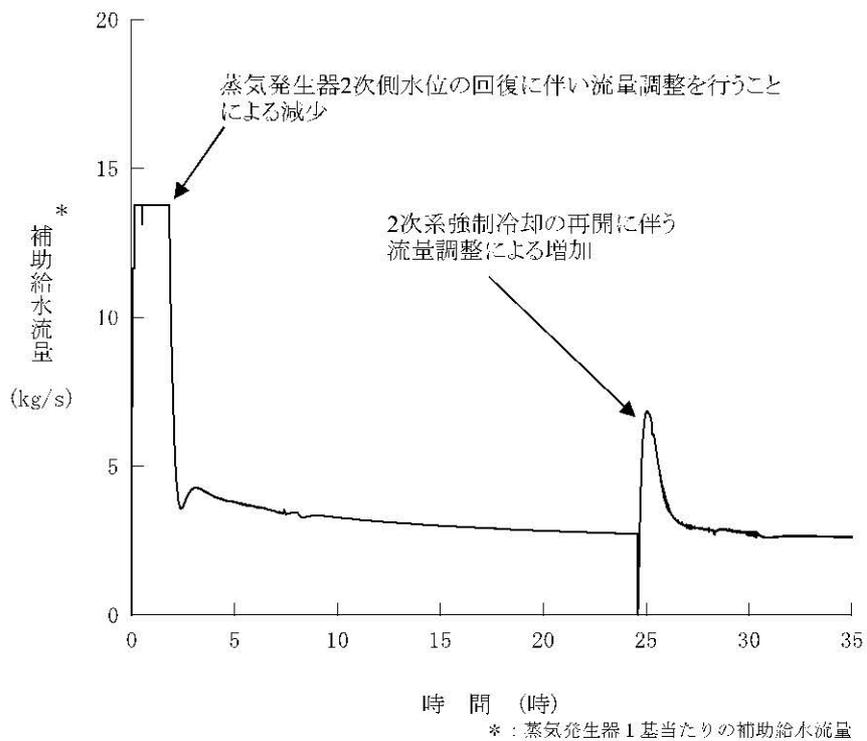
第 3.1.4.3-12 図 主蒸気逃がし弁流量の推移



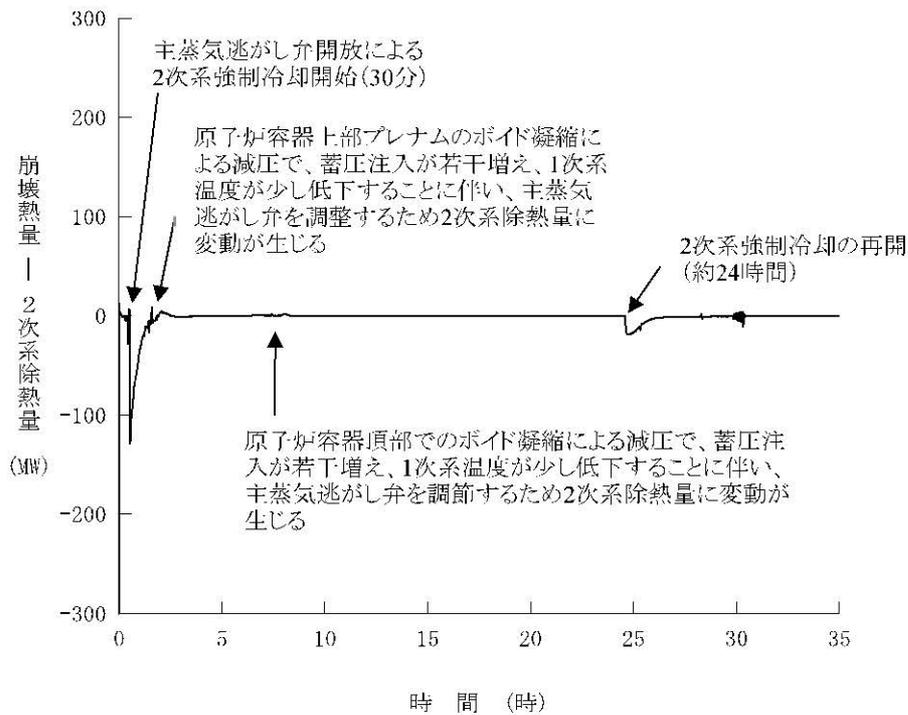
第 3.1.4.3-13 図 蒸気発生器保有水量の推移



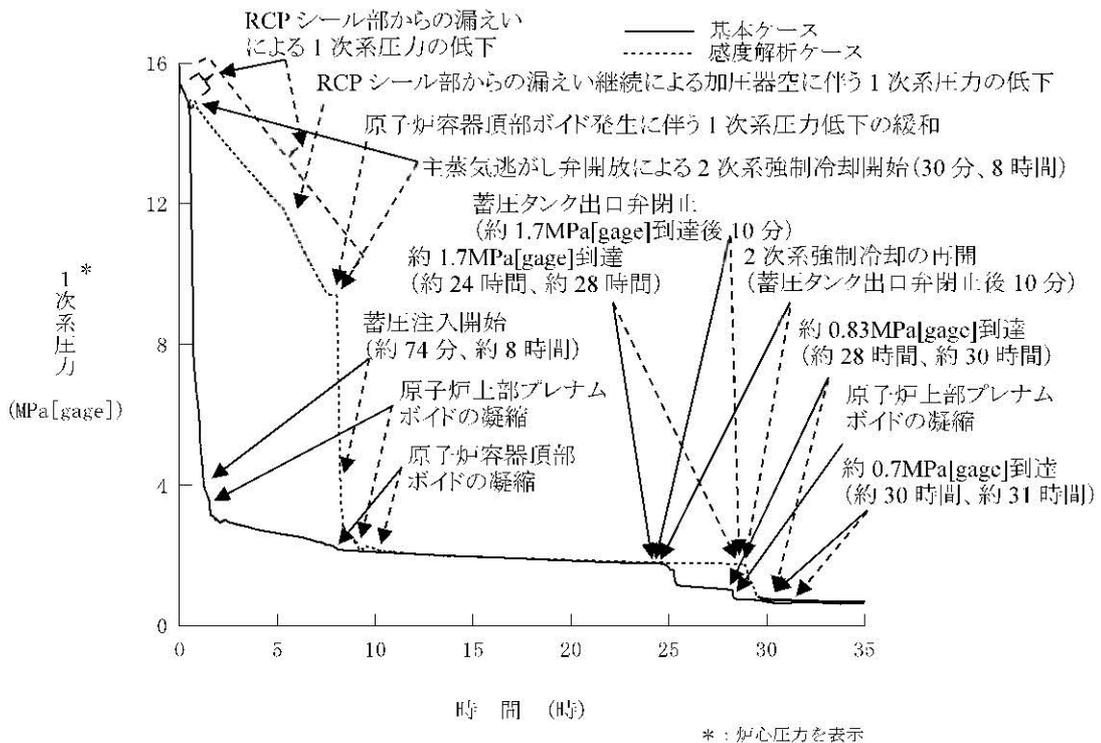
第 3.1.4.3-14 図 蒸気発生器狭域水位の推移



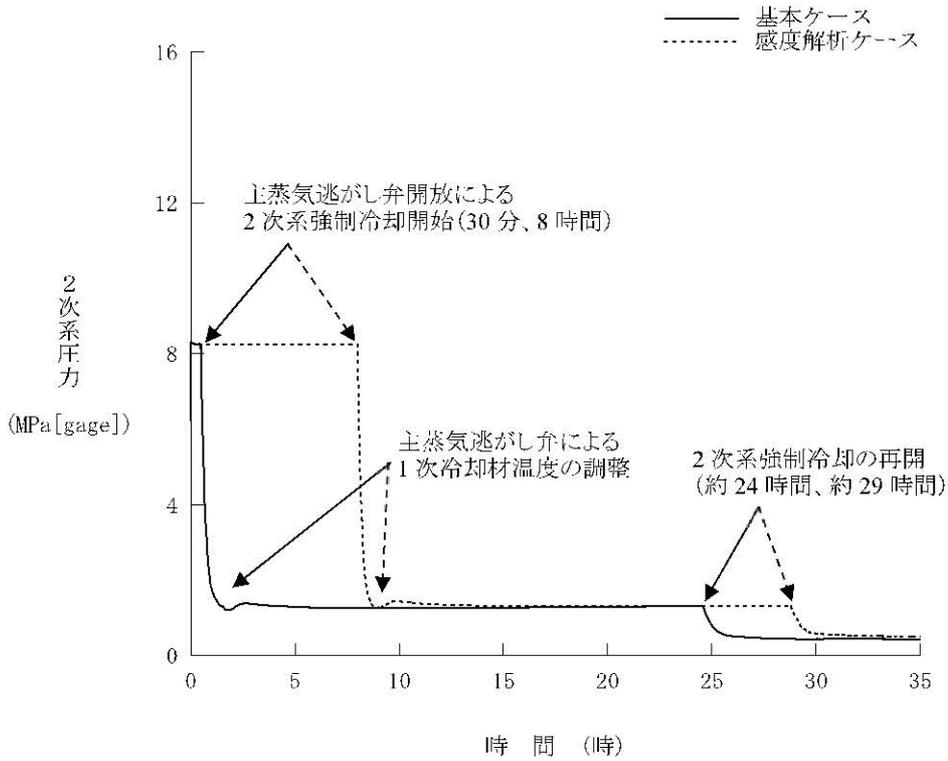
第 3.1.4.3-15 図 補助給水流量の推移



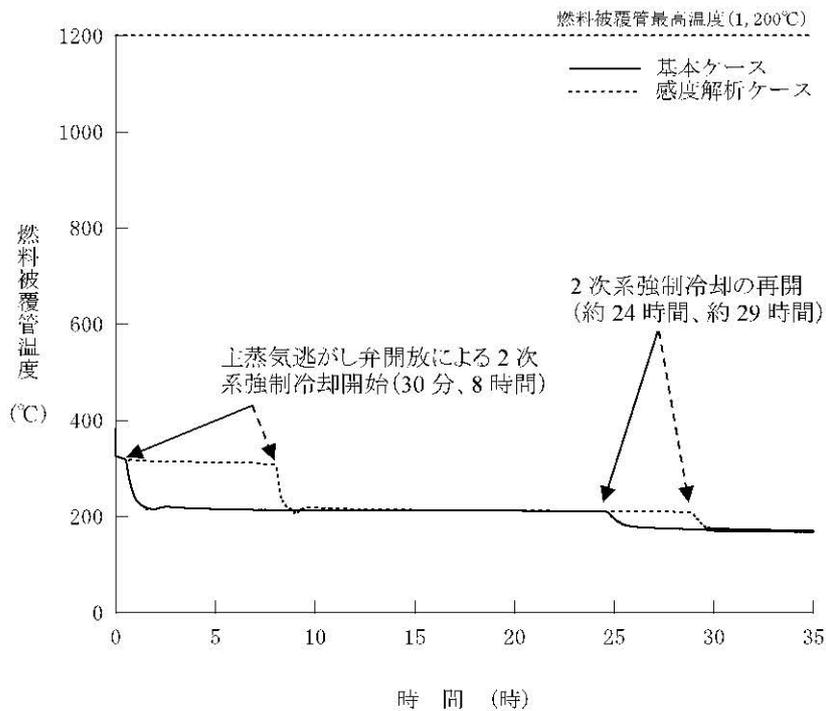
第 3.1.4.3-16 図 崩壊熱量と2次系除熱量の推移



第 3.1.4.3-17 図 1次系圧力の推移
(主蒸気逃がし弁による熱放出に係る起動操作余裕時間評価)



第3.1.4.3-18 図 2次系圧力の推移
(主蒸気逃がし弁による熱放出に係る起動操作余裕時間評価)



第3.1.4.3-19 図 燃料被覆管温度の推移
(主蒸気逃がし弁による熱放出に係る起動操作余裕時間評価)