

平成26年度福井県原子力防災訓練の プラント事象進展シナリオ解析

Plant Incident Progress Scenario Analysis
for the FY2014 Nuclear Emergency Exercise of Fukui Prefecture

川崎 郁夫 (Ikuo Kawasaki) *¹ 吉田 至孝 (Yoshitaka Yoshida) *¹
山本 泰功 (Yasunori Yamamoto) *¹ 岩城 隆則 (Takanori Iwaki) *²

要約 平成26年度に実施された福井県原子力防災総合訓練のシビアアクシデント事象進展シナリオ解析および放射性物質放出を想定したシナリオ解析を実施し、災害事象進展ならびに災害事象の影響を緩和するための措置（アクシデントマネジメント策）を講じた場合のプラント応答および放出放射エネルギーについて評価を実施した。その結果、(1) 事象発生から原災法第15条該当事象まで約0.9時間、炉心損傷および格納容器から環境への放射性物質の異常漏えい開始まで約8.3時間であった。(2) 炉心損傷後、選定したアクシデントマネジメント策（1次系強制減圧、原子炉キャビティ注水および格納容器自然対流冷却）を実施することにより、事象が収束することを確認した。また、水素爆轟が起こらないことを示した。(3) 放出放射エネルギーは、施設の安全評価における仮想事故時の放出放射エネルギーと比較して、希ガス、ヨウ素ともにほぼ同程度の放出量であることから、放出放射エネルギー評価結果が妥当であることを確認した。

キーワード 原子力防災訓練, PWR, アクシデントマネジメント, 原子力災害対策特別措置法

Abstract A scenario analysis that assumed severe accident phenomena progress scenario and radionuclide release was carried out for the FY2014 nuclear emergency exercise of Fukui Prefecture. The scenario analysis was used to carry out an evaluation of nuclear power plant responses when measures, included in an accident management (AM) plan, were taken to relax the disaster phenomenon progress and the influence of the disaster phenomena. The following points were seen. (1) It was approximately 0.9 hours from phenomenon outbreak to the case where a declaration of a nuclear emergency situation under the provisions of Article 15 of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, and approximately 8.3 hours until the core damage and radiological abnormality leak starts from a containment vessel to environment. (2) After the core damage, phenomenon convergence was confirmed by enforcing the chosen AM plan (primary system forced decompression, reactor cavity irrigation and containment natural convection cooling). In addition, it was shown that the hydrogen detonation was not caused. (3) Because rare gas, iodine were burst sizes approximately at the same level than quantity of release radioactivity at the time of the virtual accident in the safe evaluation of facilities together, so it was confirmed that a quantity of release radioactivity evaluation result was proper.

Keywords nuclear emergency exercise, PWR, accident management,
Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness

1. 緒言

原子力安全の基本的な目的は、放射性物質に起因する危険性を顕在化させない、すなわち放射線による有害な影響から人と環境を守ることにあり、その

目的は5層からなる深層防護の考え方により達成される⁽¹⁾。その第5層にあたる災害対応については訓練が実施されなければならないとされる。

福井県では、原子力災害の発生および拡大を防止し、災害の復旧を図るための必要な対策について、

*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

*2 関西電力(株)

防災関係機関がその有する全機能を有効に発揮して必要な体制を確立するとともに、防災に関してとるべき措置を定め、総合的かつ計画的な防災事務または業務の遂行により、住民の生命、身体および財産を原子力災害から保護することを目的として、福井県地域防災計画（原子力災害対策編）⁽²⁾を策定しており、この中で原子力災害対策特別措置法（以下、原災法という）⁽³⁾に基づき訓練を実施する旨、計画されている。

原災法第6条の2第1項において定められた原子力災害対策指針⁽⁴⁾では、原子力事業者、指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長、地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施し、住民の視点に立った防災計画を策定するよう定められている。また、訓練に当たっては、防災活動の各要素の熟練度を高めていくこと、予防的防護措置を準備する区域（PAZ）及び緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）内の住民等も含めた関係者間の連携を確認するための総合的な防災訓練を行うことが必要であり、複合災害やシビアアクシデント事象等の訓練想定を作成して、可能な限り実地に近い形の防災訓練を行うとともに、様々な事故を考慮した多面的な訓練を計画することが重要であると定められている。さらに、訓練の実施後には、その結果を評価して必要な改善を行う等、防災体制の更なる改善を図ることが必要であると定められている。

原子力事業者においては、原災法第7条第1項の規定に基づき、原子力施設ごとに原子力事業者防災業務計画⁽⁵⁾を作成し、その第2章第7節では、原子力事業者の原子力防災訓練の実施を規定し、国または地方公共団体が主催する訓練にも訓練計画策定に協力するとともに訓練実施に参画するとしている。

こうした背景のもと、福井県では、国、地方自治体、原子力事業者ならびに地域住民が一体となって毎年原子力防災訓練が実施されている。

原子力防災訓練の実施計画策定においては、県は関係市町、原子力事業者その他防災関係機関と連携して、具体的な防災訓練シナリオを作成するものとされている。

平成26年度福井県原子力防災総合訓練は、国、県、関係府市町、防災関係機関および地域住民が一体となって、緊急時における通信連絡体制の確立、緊急時医療活動等の災害対策の習熟、防災関係機関相

互の協力体制の強化を図るとともに、UPZ（30km）圏内の住民の原子力防災に対する理解の促進を図ることを目的として行われた。

訓練は、平成26年8月31日に若狭湾沖で地震が発生し、関西電力（株）高浜発電所3号機において、全交流電源喪失および原子炉冷却機能の喪失により炉心損傷に至り、アニュラス循環・排気系の故障により格納容器から放射性物質が放出されるとの想定で行われた。

今回想定した事象進展シナリオでは、いくつかの機器故障や何段階もの安全装置の故障ならびに回避手順の失敗を想定している。仮にこの事象が発生したとしても、実際のプラントでは何段階もの安全装置や回避手順が用意されており、大量の放射性物質が環境に放出される事象になる可能性は低い。

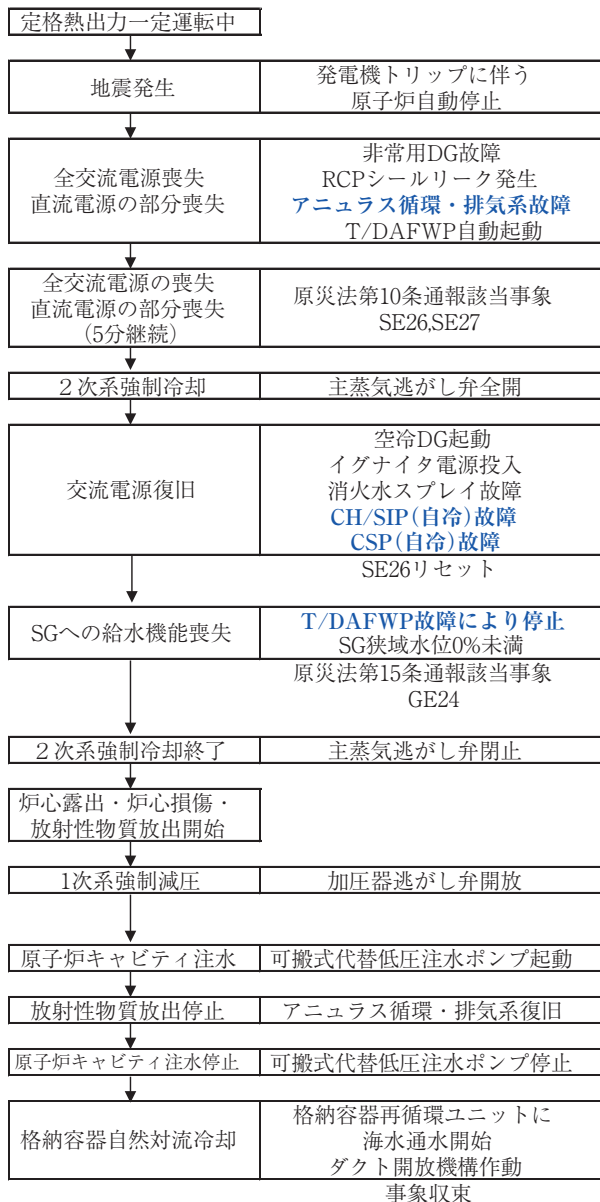
具体的な防災訓練シナリオを作成するにあたって、プラント事象進展シナリオは、関西電力（株）によって行われる災害事象の影響を緩和するための措置（以下、アクシデントマネジメント策、AM策という）を考慮し、事象収束へのプロセスを示すとともに事象進展中における環境への放出放射量を求めるうえで重要である。

（株）原子力安全システム研究所では、関西電力（株）より提示された訓練シナリオに基づいて、訓練シナリオの解析を実施しプラント事象進展評価を行うとともに各種防災システム用のデータ作成を行っている。

本報では、関西電力（株）高浜発電所3号機を対象として実施された事象進展シナリオの結果から、プラント事象進展の評価、AM策を講じた場合のプラント応答評価および放出放射量評価について報告する。

2. 事象進展シナリオの作成

関西電力（株）より提示された事象進展シナリオの条件は、福島第一原子力発電所事故を考慮して、起因事象は地震による外部電源喪失、その後全交流電源喪失に至るものとした。また、実践的な訓練を実施するため、工学的安全設備の多重故障として、タービン動補助給水ポンプ、充てん／高圧注入ポンプ、格納容器スプレイポンプ、アニュラス循環・排気系の故障を仮定し、炉心損傷および放射性物質漏えいに至るという事象を想定した。これらの条件を基にシビアアクシデント解析コード（MAAP4⁽⁶⁾）を用



略語 DG ディーゼル発電機
RCP 1次冷却材ポンプ
T/DAFWP タービン動補助給水ポンプ
CH/SIP 充てん/高圧注入ポンプ
CSP 格納容器スプレイポンプ
SG 蒸気発生器
原災法 原子力災害対策特別措置法
SE 特定事象
GE 緊急事態事象

図1 訓練想定の概要

いて解析を実施した。

図1に訓練想定概要を示す。訓練は、地震により全交流電源が喪失し5分継続の後原災法第10条事象となり、給水系が停止し蒸気発生器狭域水位が0%未満となり原災法第15条事象となり、炉心損傷および放射性物質漏えいに至る。その後、加圧器逃がし弁開放による1次系強制減圧、可搬式代替低圧

注水ポンプによる原子炉キャビティ注水、アンユラス循環・排気系復旧、格納容器再循環ユニットによる格納容器自然対流冷却実施により事象が収束するという想定である。青字で記した部分は失敗(故障)を想定した工学的安全設備である。

3. 事象進展シナリオの解析結果

MAAP4コードを用いて事象進展シナリオ解析を実施した結果、主要事象の発生時刻は表1の通りであり、以下詳細を説明する。

訓練は、事象収束までの約40時間のうち、主要ポイントを抜き出して約5時間に短縮して実施された。

3.1 事象発生～炉心損傷

関西電力(株)高浜発電所3号機定格熱出力一定運転中のところ、若狭湾沖にて地震が発生し、外部電源が喪失し、発電機トリップにより原子炉が自動停止した。この時、非常用ディーゼル発電機が故障により自動起動せず、全交流電源喪失が発生した。同時に、1次冷却材ポンプシールリーク、アンユラス循環・排気系の故障、直流電源の部分喪失が発生した。その5分後、全交流電源喪失5分継続(特定事象, SE26), 直流電源の部分喪失5分継続(特定事象, SE27)により原災法第10条通報該当事象となった。

30分後に、主蒸気逃がし弁開放による2次系強制冷却を実施するとともに空冷ディーゼル発電機の起動に成功して電源が回復したことによりSE26はリセットされたが、SE27は継続中である。47分後、タービン動補助給水ポンプが故障により停止して蒸気発生器への給水がなくなり、55分後に蒸気発生器狭域水位が0%未満となり原災法第15条該当事象(緊急事態事象, GE24)となった。また、蒸気発生器への給水がなくなったことにより、1時間後に主蒸気逃がし弁を閉止して2次系強制冷却を停止した。

2次系強制冷却を停止したことにより、1次系の冷却が減少して、1次系圧力が上昇し、規定圧力に達すると加圧器逃がしタンクラブチャディスクが破損して1次冷却水が徐々に失われる。蒸気発生器2次側水が喪失するまでは蒸気発生器による除熱により炉心の冷却が維持されるが、炉心への注水手段が回復しないため、約6.4時間後に炉心露出、約7.6時

表1 主要事象の発生時刻

経過時間	主要事象
事象発生前	定格熱出力一定運転中
0分	地震発生 発電機トリップに伴う原子炉自動停止 全交流電源喪失（非常用DG故障） T/DAFWP自動起動 RCPシールリーク発生 アニュラス循環・排気系故障 直流電源の部分喪失
5分	全交流電源喪失5分継続（SE26） 直流電源の部分喪失5分継続（SE27） 原災法第10条通報該当事象
30分	2次系強制冷却 空冷DG起動（SE26リセット） イグナイタ電源投入 消火水スプレイ故障 CH/SIP故障 CSP故障
47分	T/DAFWP故障により停止（SG給水機能喪失）
55分	SG狭域水位0%未満（GE24） 原災法第15条該当事象
1.0時間	2次系強制冷却停止
6.1時間	加圧器逃がしタンクラブチャディスク破損
6.4時間	炉心出口温度350℃超過
6.5時間	炉心露出
7.6時間	被覆管破損
8.3時間	炉心損傷（格納容器エリアモニタ（高レンジ）が $1 \times 10^5 \text{mSv/h}$ を超過）
8.5時間	1次系強制減圧（加圧器逃がし弁開放）
9.3時間	可搬式代替低圧注水ポンプ起動
14.3時間	下部ヘッドへ溶融物移動開始
16.1時間	原子炉容器破損
17.0時間	アニュラス循環・排気系復旧
18.6時間	可搬式代替低圧注水ポンプ停止 格納容器自然対流冷却開始
20.2時間	格納容器自然対流冷却ダクト開放機構作動
-	事象収束

略語 DG : ディーゼル発電機
 RCP : 1次冷却材ポンプ
 T/DAFWP : タービン動補助給水ポンプ
 CH/SIP : 充てん/高圧注入ポンプ
 CSP : 格納容器スプレイポンプ
 SG : 蒸気発生器
 原災法 : 原子力災害対策特別措置法
 SE : 特定事象
 GE : 緊急事態事象

間後に燃料被覆管破損、約8.3時間後に格納容器内高レンジエリアモニタの指示値が $1 \times 10^5 \text{mSv/h}$ を超過し炉心損傷を検知した。設計漏えい率（0.16%）

相当で環境へ放射性物質の漏えいが発生するものとした。

プラント主要パラメータである炉心温度の経時変化を図2に、1次系圧力の経時変化を図3に、蒸気発生器狭域水位の経時変化を図4に示す。

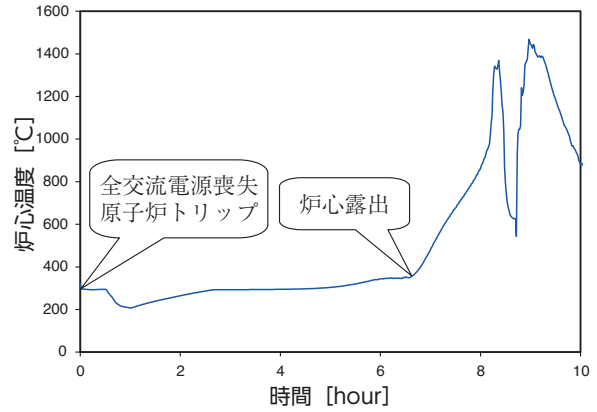


図2 炉心温度の経時変化

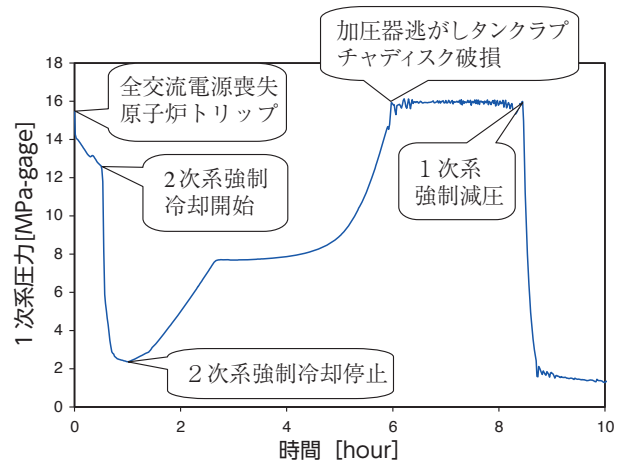


図3 1次系圧力の経時変化

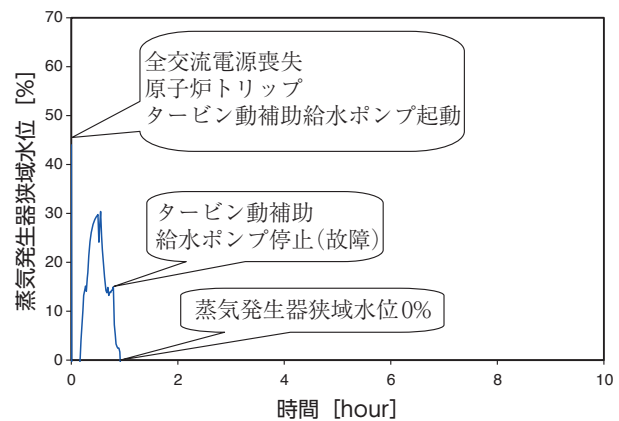


図4 蒸気発生器狭域水位の経時変化

3.2 炉心損傷～事象収束

事象発生から約8.5時間後（炉心損傷検知10分後）に1次系強制減圧、約9.3時間後（炉心損傷検知1時間後）に可搬式代替低圧注水ポンプによる原子炉キャビティ注水を開始した。約14.3時間後に下部ヘッドへ溶融物が移動を開始し、約16.1時間後に原子炉容器が破損した。この時の1次系圧力は0.083MPa-gage、原子炉キャビティ水位は2.43m（水量148m³）であった。

事象発生から17時間後にアニュラス循環・排気系の復旧により環境への放射性物質の放出は抑制されるが、訓練では格納容器からの漏えいが停止するものとした。約18.6時間後に格納容器再循環サンプ水位が77%に到達して可搬式代替低圧注水ポンプを停止した。その後格納容器ファンクーラに海水の通水を開始し、ダクト開放機構が作動して格納容器自然対流冷却が始まることにより、格納容器圧力、格納容器雰囲気温度の上昇が抑制され、格納容器最高使用圧力を超えることは無く約40時間以降原子

炉キャビティに十分な水位が確保され、格納容器圧力、温度が低下傾向を示したため事象は収束した。

プラント主要パラメータである炉心温度の経時変化を図5に、1次系圧力の経時変化を図6に、格納容器圧力の経時変化を図7に、格納容器雰囲気温度の経時変化を図8に、格納容器水素濃度（ドライ換算）の経時変化を図9に示す。

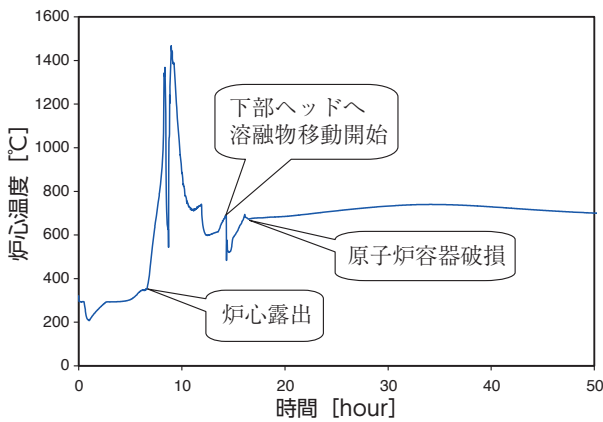


図5 炉心温度の経時変化

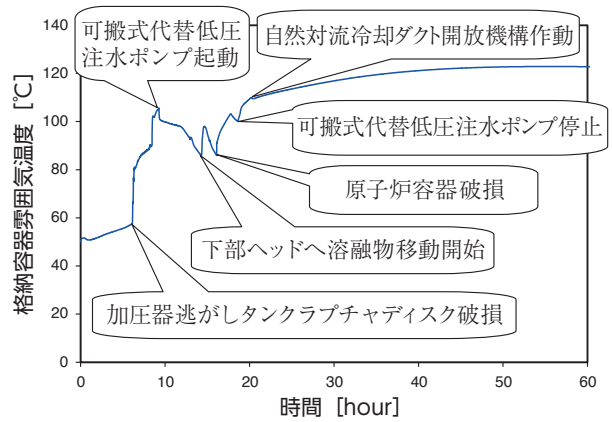


図8 格納容器雰囲気温度の経時変化

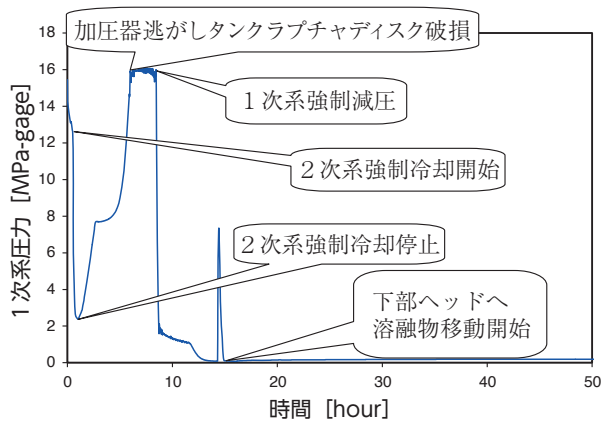


図6 1次系圧力の経時変化

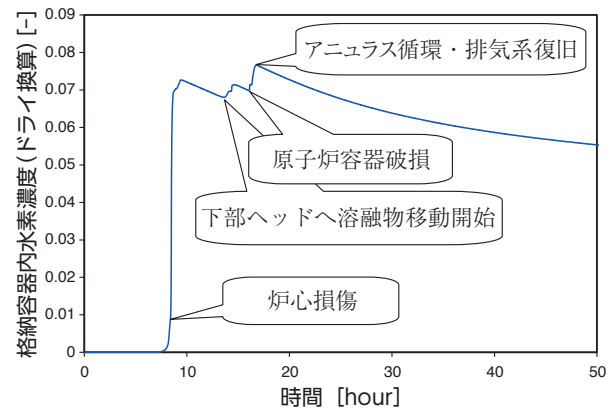


図9 格納容器水素濃度（ドライ換算）の経時変化

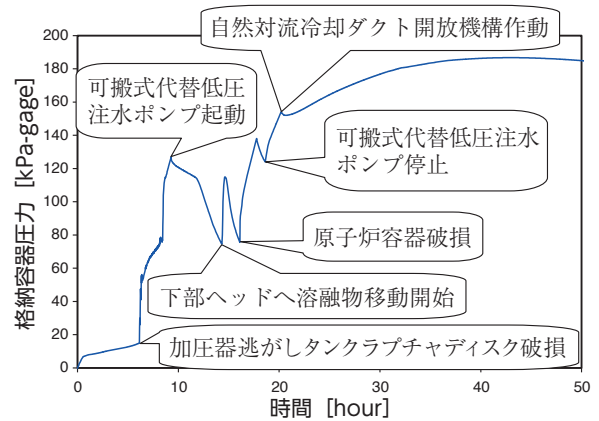


図7 格納容器圧力の経時変化

3.3 選定したAM策の妥当性評価

今回の訓練シナリオでは、給水が復旧せずに炉心損傷に至り、1次系圧力、炉心温度、格納容器圧力、格納容器雰囲気温度が上昇する。

このとき、1次冷却系保有水を確保し、格納容器圧力を低下させるには、1次冷却系統へ注水して、炉心溶融進展を抑制し、格納容器内の水蒸気を凝縮する必要がある。

工学的安全設備の多重故障を想定するため、非常用炉心冷却装置および格納容器スプレイの使用不能を想定したため、ここで選定したAM策は、加圧器逃がし弁開放による1次系強制減圧、可搬式代替低圧注水ポンプ起動による原子炉キャビティ注水および格納容器再循環ユニットを用いた格納容器自然対流冷却である。

図10にAM策に用いられる設備の模式図を示す。図中の赤色で示した設備が加圧器逃がし弁、青色で示した設備が可搬式代替低圧注水ポンプ、緑色で示した設備が格納容器再循環ユニットである。

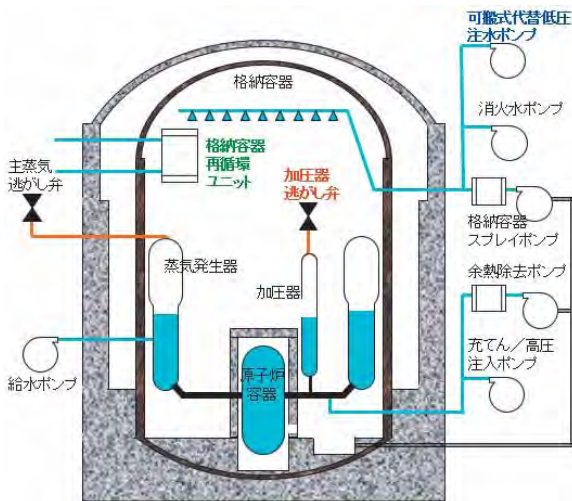


図10 AM策に用いられる設備の模式図
(代表的なPWRプラントの例)

【1次系強制減圧】

1次系強制減圧は、加圧器逃がし弁を開放して1次系圧力を強制的に減圧するものである。

このAM策で期待される正の効果は、減圧により蓄圧注入系が作動し炉心は冷却され、原子炉容器破損時刻が遅延する。また、原子炉容器破損時の高圧溶融物放出や格納容器直接加熱を防止できる。

一方、懸念される負の効果は、格納容器圧力および温度の上昇である。

MAAP4コードによる解析結果から、炉心損傷後に1次系強制減圧を実施することにより、1次系圧力は16MPa-gageから2MPa-gageまで下がり、徐々に低下していく。事象発生から14.3時間後に溶融物が炉心から下部ヘッドへ移動を開始したため、下部ヘッドに残っていた冷却水と接触して水蒸気が発生し、1次系圧力は一時的に7.3MPa-gageまで上昇するがその後すぐに低下し、ほぼ0MPa-gageで安定する。

【原子炉キャビティ注水】

原子炉キャビティ注水は、格納容器スプレイ系に接続した可搬式代替低圧注水ポンプにより格納容器上部からスプレイを実施し、原子炉キャビティへ注水するものである。

このAM策で期待される正の効果は、原子炉容器および燃料デブリの冷却、格納容器圧力および温度上昇の抑制である。

一方、懸念される負の効果は、格納容器内の水蒸気を凝縮させることによって、水-ジルコニウム反応や、溶融炉心-コンクリート反応(MCCI反応)などによって発生した水素の濃度が相対的に上昇し、高濃度で着火した場合には爆燃、爆轟により格納容器に大きな圧力負荷を与える可能性がある。また、注水に伴い重要な設備・機器・計器類が水没する可能性がある。

MAAP4コードによる解析結果から、炉心損傷から1時間後(事象発生から9.3時間後)に可搬式代替低圧注水ポンプを起動して、140m³/hで原子炉キャビティへ注水を開始する。注水は格納容器上部からのスプレイにより実施するため、格納容器圧力は127.0kPa-gageから徐々に低下する。その後、下部ヘッドへの溶融物移動開始、原子炉容器破損により、一時的に格納容器圧力は上昇するが、すぐに低下する。格納容器再循環サンプが規定水量(77%)に達すると、可搬式低圧代替注水ポンプは停止し、重要な設備・機器・計器類の水没は回避されるものの格納容器圧力は徐々に上昇する。

格納容器内水素濃度については、炉心損傷時に大量に発生し、原子炉キャビティ注水後約7.3%(ドライ換算)まで上昇するが、爆轟限界13%(ドライ換算)に対して十分低い。イグナイタ、静的触媒式水素再結合装置(PAR)による水素濃度制御により水素濃度は徐々に減少するが、下部ヘッドの溶融物移動、原子炉容器破損により上昇傾向となる。そ

の後、アニュラス循環・排気系復旧により徐々に低下していくことから、懸念される爆轟は起こらない。

【格納容器自然対流冷却】

格納容器自然対流冷却は、格納容器再循環ユニットに原子炉補機冷却水または海水を通水することにより、格納容器再循環ユニット内に冷気が形成され、ダクト開放機構を通して冷気が放出されることにより格納容器内の除熱を行うものである。

格納容器再循環ユニットによる格納容器除熱の確立は、燃料デブリの崩壊熱により飽和蒸気が発生していることが前提（燃料デブリの崩壊熱を飽和蒸気に伝達→飽和蒸気の熱を原子炉補機冷却水または海水に伝達→飽和蒸気の凝縮→凝縮水の還流のサイクルにより格納容器除熱が確立）であるため、格納容器再循環ユニットによる格納容器除熱を確立させるためには、原子炉キャビティ注水等により格納容器内に水を持込んでおく必要がある。

このAM策で期待される正の効果は、格納容器圧力、温度上昇の抑制である。

一方、懸念される負の効果は、原子炉キャビティ注水と同様に水素の濃度が相対的に上昇することである。ただし、自然対流冷却は、原子炉キャビティ注水に比べて緩やかな減圧であるため、原子炉キャビティ注水よりも水素濃度の上昇は少ない。

MAAP4コードによる解析結果から、可搬式代替低圧注水ポンプ停止後、格納容器自然対流冷却を開始する。ダクト開放機構が作動した後は格納容器圧力、温度の上昇は緩やかになり、格納容器圧力は事象発生から43.0時間後の187kPa-gage、格納容器温度は事象発生から55.3時間後の122.9℃をピークに、その後は徐々に低下していく。

水素濃度については、この時点では水素の発生が抑制されており、徐々に低下していくため、懸念される爆轟は起こらない。

4. 放射性物質放出量評価結果

今回の訓練シナリオでは、事象発生直後にアニュラス循環・排気系が故障し、炉心損傷により格納容器外へ放射性物質が放出され、その後アニュラス循環・排気系復旧により放射性物質の放出を停止するとしている。

訓練シナリオの解析結果からは、主要事象の発生時刻やプラント過渡応答の他に、炉内に存在する放

射性物質の質量を1で規格化した1次系内、格納容器内ならびに周辺環境へ移行した放射性物質の質量割合を得ることができる。すなわち、放射性崩壊を考慮した炉内に存在する放射性物質の質量（以下、炉内蓄積放射エネルギーという）を定めれば、周辺環境へ移行した放射エネルギーを求めることができる。

ここでは、炉心平均燃焼度30GWd/t（定期検査後約12ヶ月運転されたプラント状態（1/4MOX炉心）を想定）における希ガス15核種、ヨウ素10核種、セシウム2核種の炉内蓄積放射エネルギーをSADOSEシステム⁽⁷⁾⁻⁽¹⁰⁾により求め、周辺環境への放出放射エネルギー評価を行った。

放射性物質の放出率を図11に、放射性物質放出量を図12に示す。また、高浜発電所3号機設置許可申請書（建設時）記載の仮想事故による放出放射エネルギー（11）との比較結果を表2に示す。

放出放射エネルギー評価の結果、希ガスは0.5MeV等価値で 6.63×10^{14} [Bq]、ヨウ素はI-131等価値で 3.59×10^{13} [Bq]となった。この結果は、施設の安全評価における仮想事故時の放出放射エネルギー⁽¹¹⁾と比較し

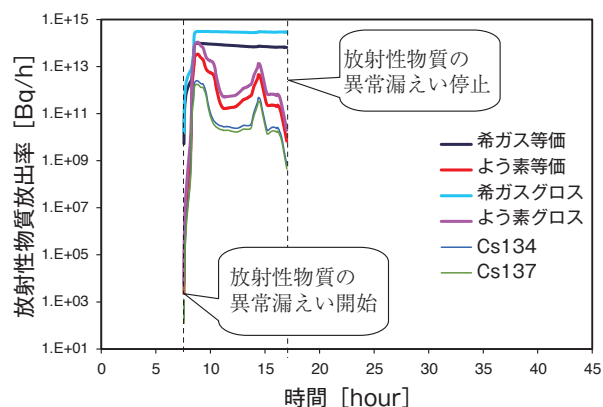


図11 放射性物質放出率

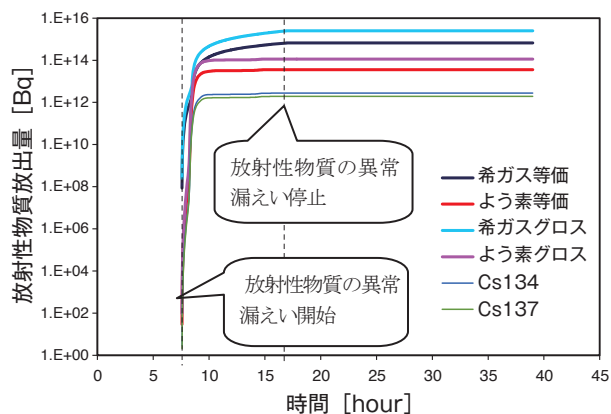


図12 放射性物質放出量

表2 高浜発電所3号機 設置許可申請書(建設時)記載値との比較結果

	事故の想定	希ガス放出量 [Bq]	ヨウ素放出量 [Bq]
仮想事故	LOCA	7.2E+15	7.4E+13
	SGTR	3.4E+15	3.5E+12
訓練シナリオ		6.63E+14	3.59E+13

LOCA:冷却材喪失事故

SGTR:蒸気発生器細管破損事故

て、希ガス、ヨウ素ともにほぼ同程度の放出量であることから、放出放射線量評価結果が妥当であることを確認した。

5. 結言

平成26年8月31日に実施された関西電力(株)高浜発電所3号機を対象とした訓練シナリオ(放射性物質放出含む)解析の結果から、災害事象進展ならびにAM策を講じた場合のプラント応答について評価を実施した。その結果、以下に示す知見が得られた。

- (1) 事象発生から原災法第15条該当事象まで約0.9時間、炉心損傷および格納容器から環境への放射性物質の異常漏えい開始まで約8.3時間であった。
- (2) 炉心損傷後、選定したAM策である加圧器逃がし弁開放による1次系強制減圧、可搬式代替低圧注水ポンプ起動による原子炉キャビティ注水および格納容器自然対流冷却を実施することにより、1次系圧力、炉心温度が低下し、格納容器圧力、温度の上昇が抑制され、その後低下傾向となり事象が収束することを確認した。また、水素爆轟が起こらないことを示した。
- (3) 放出放射線量は、施設の安全評価における仮想事故時の放出放射線量と比較して、希ガス、ヨウ素ともにほぼ同程度の放出量であることから、放出放射線量評価結果が妥当であることを確認した。

文献

- (1) IAEA, "Basic Safety Principles Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev.1", INSAG-12, (1999).

- (2) 福井県防災会議, "福井県原子力防災計画(福井県地域防災計画・原子力災害対策編)", (2015).
- (3) 内閣府ホームページ, "原子力災害対策特別措置法", <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H11/H11HO156.html>, (2014).
- (4) 原子力規制委員会, "原子力災害対策指針(平成27年4月22日全部改正)", (2015).
- (5) 関西電力(株), "高浜発電所 原子力事業者防災業務計画", (2015).
- (6) Electric Power Research Institute (EPRI), "Modular Accident Analysis Program, MAAP User's Manual", (1994).
- (7) 吉田至孝, 入江隆, 郡山民男, 工藤清一, 西村和哉, "シビアアクシデント時の発電所内被ばく線量評価手法の検討", INSS Journal, Vol.8, P.174 (2001).
- (8) 吉田至孝, 入江隆, 郡山民男, 工藤清一, 西村和哉, "シビアアクシデント時原子力発電所内被ばく線量評価手法の検討", 日本原子力学会和文論文誌, Vol.1, pp.85-95 (2002).
- (9) 恩田隆司, 吉田至孝, 工藤清一, 西村和哉, "シビアアクシデント時原子力発電所内線量評価システムの改良", INSS Journal, Vol.10, p.241 (2003).
- (10) 川崎郁夫, 吉田至孝, "シビアアクシデント時発電所内被ばく線量評価技術の開発と適用～アクシデントマネジメントガイドライン知識ベースの整備～", INSS Journal, Vol.20, p.236 (2013).
- (11) 関西電力(株), "高浜発電所3,4号機 原子炉設置許可申請書 添付書類十 4章 重大事故及び仮想事故の解析", (1969).