

# 平成28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 FY2016 Nuclear Emergency Exercise of Fukui Prefecture

川崎 郁夫 (Ikuo Kawasaki) \*<sup>1</sup>      山本 泰功 (Yasunori Yamamoto) \*<sup>2</sup>  
 中村 晶 (Akira Nakamura) \*<sup>1</sup>      高橋 俊佑 (Shunsuke Takahashi) \*<sup>3</sup>  
 豎田 泰浩 (Yasuhiro Tateda) \*<sup>3</sup>

**要約** 平成28年度に実施された福井県原子力防災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) 事象発生からの時間は、原災法第10条通報事象まで45分、原災法第15条該当事象まで1時間40分、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8時間15分であった。(2) 炉心損傷後、選定したアクシデントマネジメント策（格納容器スプレイ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。(3) 放出放射エネルギーは、施設の安全評価における重大事故時の放出放射エネルギーと比較して、希ガスは1桁程度、ヨウ素は2～3桁程度多い放出量となることを確認した。

**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 a severe accident phenomena progression scenario and radionuclide release was carried out for the FY2016 nuclear emergency exercise organized by the Fukui Prefecture government. The scenario analysis was used: to evaluate nuclear power plant responses when measures, included in an accident management (AM) plan, were taken to relax the disaster phenomenon progression; and to evaluate the influence of the disaster phenomena. The following points were seen. (1) It was 45 minutes from the start of the event as defined by Article 10 of the Nuclear Disaster Act, 1 hour 40 minutes from the start of the event to the time of a declaration of a nuclear emergency situation under the provisions of Article 15 of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, and 8 hours 15 minutes until the core damage and abnormal leakage of radiological materials started from the containment vessel to the environment. (2) After the core damage, phenomena convergence was confirmed by enforcing the chosen AM plan (containment vessel spray and containment natural convection cooling). In addition, it was shown that no hydrogen explosion occurred. (3) It was confirmed that the released radioactivity amount was about one order of magnitude for rare gases and about 2 to 3 orders of magnitude for iodine, compared with the released radioactivity at the time of a serious accident in the facility safety assessment.

**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であり、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<sup>(1)</sup>。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。

\*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

\*2 元(株)原子力安全システム研究所技術システム研究所(現北海道大学)

\*3 関西電力(株)

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、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、災害対策基本法<sup>(2)</sup>及び原子力災害対策特別措置法（以下、原災法という）<sup>(3)</sup>に基づき福井県地域防災計画（原子力災害対策編）<sup>(4)</sup>を策定しており、この中で訓練を実施する旨、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<sup>(5)</sup>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<sup>(6)</sup>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おいても訓練計画策定に協力するとともに、訓練内容に応じて要員の派遣、資機材の貸与等も含め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28年度福井県原子力防災訓練は、国、県、

関係市町、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。今回は2日間かけて、1日目は高浜地域における内閣府・3府県及び関西広域連合との合同原子力防災訓練、2日目は大飯地域における原子力防災訓練を実施することにより、両地域のPAZ圏およびUPZ圏全ての市町（高浜町、おおい町、小浜市、若狭町、美浜町）において広域避難を実施し、従来の県内避難訓練だけでなく初めて県外（兵庫県宝塚市、三田市、丹波市）への避難訓練を実施した。

高浜発電所の訓練は、平成28年8月27日に若狭湾沖で地震が発生し、関西電力㈱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、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、いくつも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㈱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エネルギーを求めらるうえで重要である。

㈱原子力安全システム研究所では、関西電力㈱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㈱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エネルギー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、充てん/高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプ、恒設代替低圧注水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ等の故障を仮定し、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<sup>(7)</sup>を用いて解析を実施した。

図1に訓練想定の概要を示す。訓練は、地震により原子炉自動停止および外部電源喪失が発生し、非常用ディーゼル発電機が1台起動するが、もう1台は起動に失敗し、1系統のみの電源供給状態が15分継続したことにより警戒事象（AL25）となった。その後運転中の非常用ディーゼル発電機が故障により停止し、全交流電源喪失となり、RCPシール部より原子炉冷却材漏洩が発生したことにより、原災法第10条事象（SE21）となった。全交流電源喪失により、ECCS注入不可となり、恒設代替低圧注水ポンプ起動失敗、充てん/高圧注入ポンプ自己冷却による炉心注入失敗により、炉心への注水手段が回復しないため、原災法第15条事象（GE21）となり、炉心損傷および放射性物質漏えいに至る。その後、可搬式代替低圧注水ポンプによる格納容器スプレイ実施、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。赤字は起因事象、青字は失敗（故障）を想定した設備である。

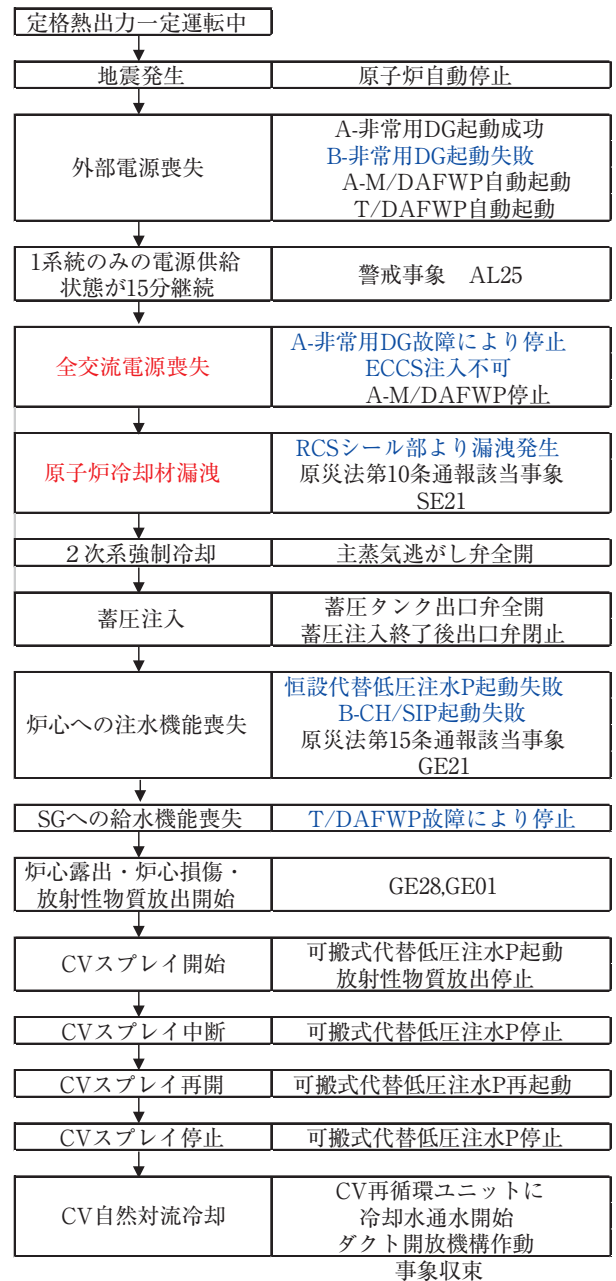
## 3. 事象進展シナリオの解析結果

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

今回の訓練における想定では、関西電力(株)高浜



略語	DG	ディーゼル発電機
	RCP	1次冷却材ポンプ
	M/DAFWP	電動補助給水ポンプ
	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
	CV	格納容器
	ECCS	非常用炉心冷却装置
	原災法	原子力災害対策特別措置法
	AL	警戒事象
	SE	特定事象
	GE	緊急事態事象

図1 訓練想定の概要

発電所3号機は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、原子炉が自動停止するとともに外部電源喪失が発生した。この時、A非

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 原子炉自動停止 外部電源喪失 A非常用DG自動起動 B非常用DG自動起動失敗 A-M/DAFWP自動起動 T/DAFWP自動起動
15分	1系統のみの電源供給状態15分継続(AL25)
45分	A非常用DG故障により停止(全交流電源喪失) RCPシール部より漏洩発生(SE21) 原災法第10条通報該当事象 ECCS注入不可 A-M/DAFWP停止
1時間15分	2次系強制冷却開始
1時間22分	蓄圧注入開始
1時間26分	蓄圧注入終了
1時間40分	恒設代替低圧注水P起動失敗 B-CH/SIP起動失敗(GE21) 原災法第15条該当事象
1時間55分	T/DAFWP故障により停止(SG給水機能喪失)
7時間24分	炉心露出
7時間36分	炉心出口温度350℃超過
8時間06分	被覆管破損
8時間15分	炉心損傷(格納容器エリアモニタ(高レンジ)が $1 \times 10^5$ mSv/hを超過)(GE28) 放射性物質放出開始(GE01)
9時間45分	可搬式代替低圧注水ポンプによるCVスプレイ開始
9時間47分	下部ヘッドへの溶融物移動開始
10時間36分	原子炉容器破損
13時間36分	CVスプレイ停止(トラブルにより1時間中断)
14時間36分	CVスプレイ再開
20時間35分	CVスプレイ停止 CV自然対流冷却開始
23時間43分	CV再循環ユニット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

常用ディーゼル発電機は起動成功したが、B非常用ディーゼル発電機は起動失敗した。また、A電動補助給水ポンプ、タービン動補助給水ポンプが起動した。1系統のみの電源供給状態が15分継続したことにより警戒事象(AL25)となった。

事象発生から45分後、A非常用ディーゼル発電機が故障により停止し、全交流電源喪失となり、RCPシール部より原子炉冷却材漏洩(109m<sup>3</sup>/h/台)が発生した。これにより原災法第10条通報該当事象(SE21)となった。なお、原子炉冷却材漏洩発生により、加圧器圧力低と加圧器水位低による安全注入(SI)信号が発信したが、全交流電源喪失により低圧注入ポンプ及び高圧注入ポンプが起動せず、ECCS注入不可となった。また、A非常用ディーゼル発電機停止によりA電動補助給水ポンプが停止した。

事象発生から1時間15分後、2次系強制冷却により蓄圧注入を開始した。蓄圧注入完了後、出口弁を閉止した。恒設代替低圧注水ポンプ起動失敗、B-充てん/高圧注入ポンプ自己冷却による炉心注水失敗により炉心への注水手段が回復しないため、原災法第15条該当事象(GE21)となった。1時間55分後、タービン動補助給水ポンプが故障により停止し、蒸気発生器給水機能が喪失した。

その後、炉心冷却機能が回復しないため7時間24分後に炉心露出、8時間6分後に燃料被覆管破損、8時間15分後に格納容器内高レンジエリアモニタの指示値が $1 \times 10^5$  mSv/hを超過し、炉心損傷を検知(GE28)した。また、炉心損傷検知直後に0.16% /日相当の放射性物質が漏洩(GE01)した。

プラント主要パラメータである炉心温度の経時変

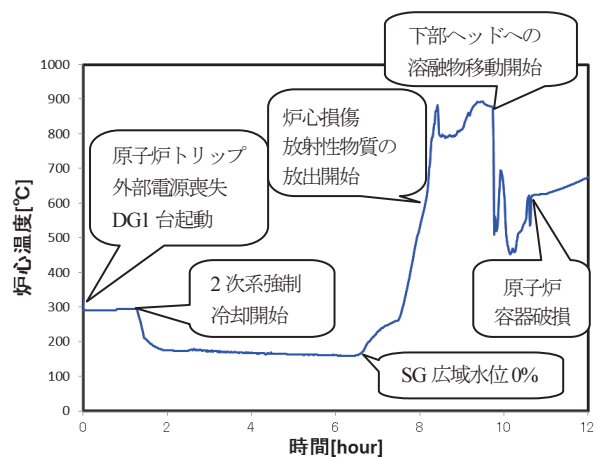


図2 炉心温度の経時変化

化を図2に、1次系圧力の経時変化を図3に、蒸気発生器広域水位の経時変化を図4に示す。

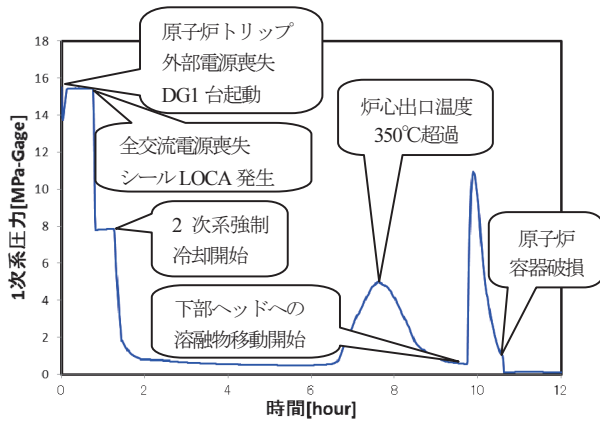


図3 1次系圧力の経時変化

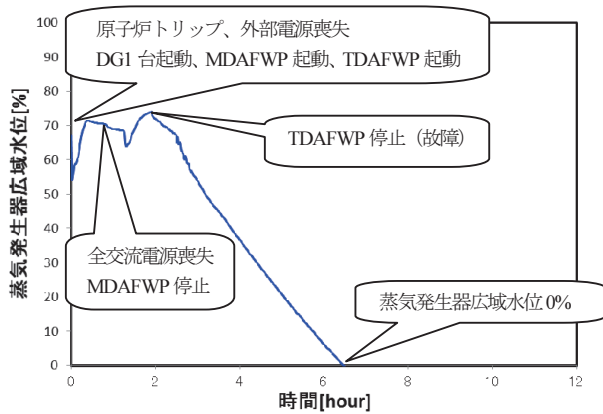


図4 蒸気発生器広域水位の経時変化

### 3.2 炉心損傷～事象収束

事象発生から9時間45分（炉心損傷から1.5時間）後、運転員による可搬式代替低圧注水ポンプによる格納容器スプレイを開始したことにより、放射性物質の漏洩が停止した。その後、CVスプレイがトラブルにより1時間（13時間36分～14時間36分）中断した。

事象発生から20時間35分後、格納容器再循環サンプ水位が77%に達すると可搬式代替低圧注水ポンプによる格納容器スプレイを停止し、大容量ポンプから格納容器再循環ユニットへの冷却水通水による格納容器自然対流冷却を開始した。その後格納容器再循環ユニットダクト開放機構が作動し、格納容器内圧力、格納容器内雰囲気温度の上昇が抑制され、その後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。

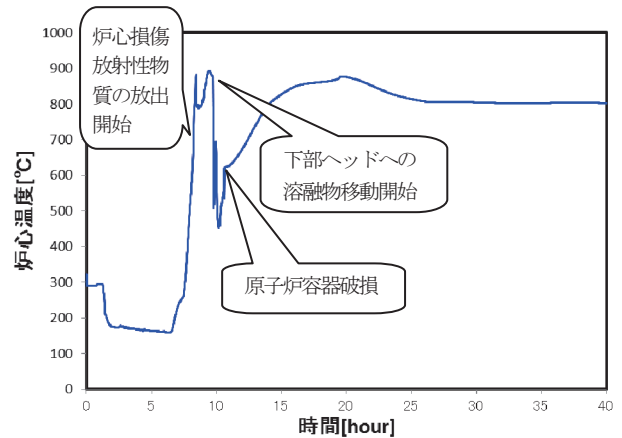


図5 炉心温度の経時変化

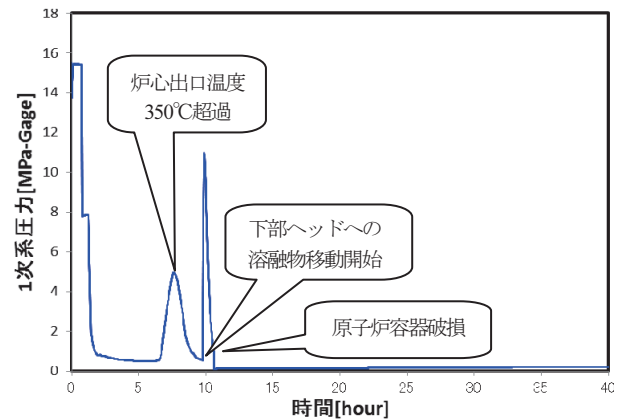


図6 1次系圧力の経時変化

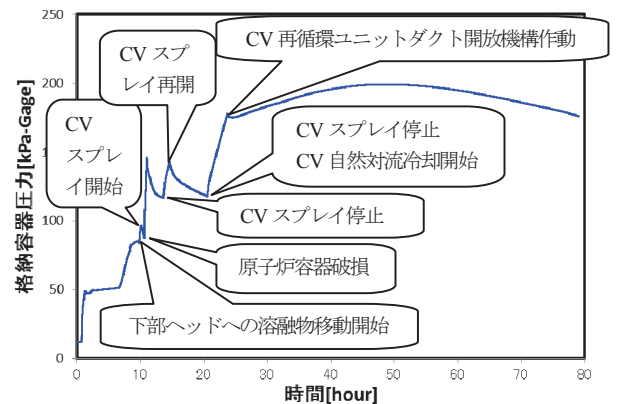


図7 格納容器圧力の経時変化

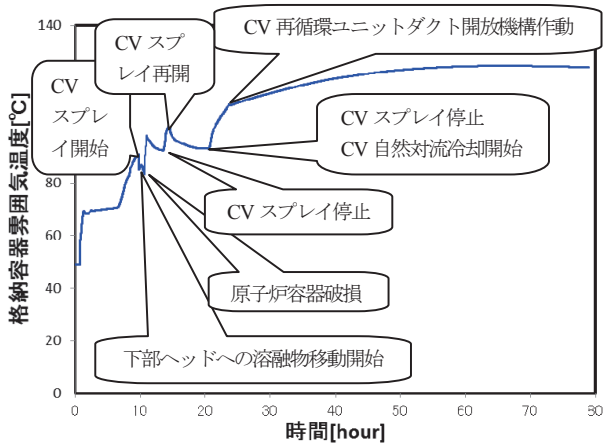


図8 格納容器雰囲気温度の経時変化

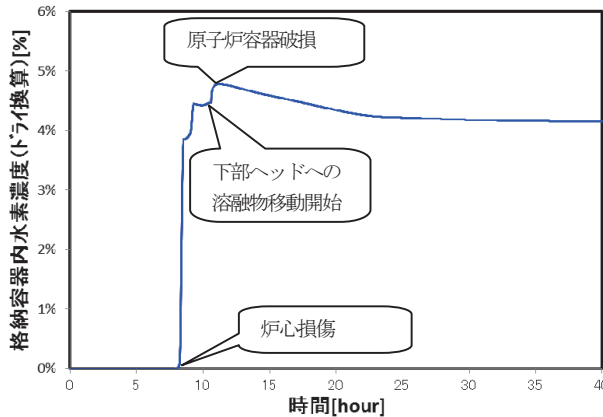


図9 格納容器水素濃度 (ドライ換算) の経時変化

### 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る想定であり、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し、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、ここで用いられたAM策は、可搬式代替低圧注水ポンプ起動による格納容器スプレイ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。図中の赤字で示した設備が可搬式代替低圧注水ポンプ、青字で示した設備が格納容器再循環ユニットである。

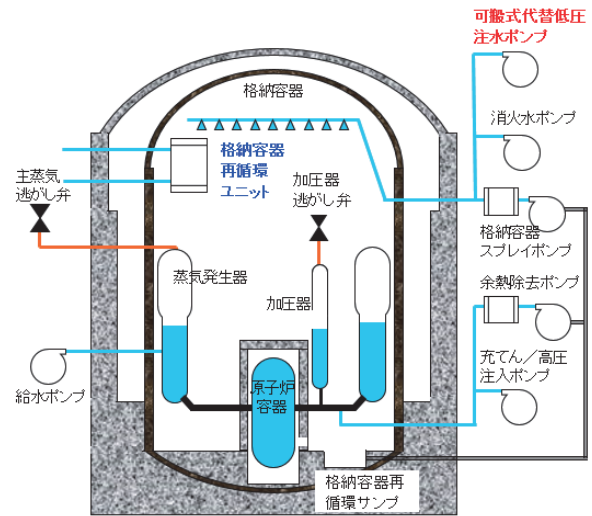


図10 AM策に用いられる設備の模式図 (代表的なPWRプラントの例)

#### 【格納容器スプレイ】

格納容器スプレイは、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、原子炉容器および原子炉容器外へ漏れ出した燃料デブリの冷却、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する。高濃度で水素が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15時間後(事象発生から9時間45分後)に可搬式代替低圧注水ポンプを起動して、格納容器上部から140m<sup>3</sup>/hでスプレイを実施するため、格納容器圧力は85.1kPa-gageまで上昇した後、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、すぐに格納容器内の圧力が均一化されて低下する。格納容器再循環サンパが規定水量(77%)に達すると、可搬式代替低圧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。そのため、この後に述べる格納容器自然対流冷却を実施する必要がある。

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、格納容器スプレイ実施後約4.8%（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→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、格納容器スプレイ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、格納容器スプレイ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、格納容器スプレイに比べて緩やかな減圧であるため、格納容器スプレイよりも水素濃度の上昇速度は小さい。

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48時間42分後の199.1kPa-gage、格納容器温度は事象発生から65時間45分後の124.5℃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、炉心損傷直後に格納容器外へ放射性物質が放出され、その後可搬式代替低圧注水ポンプによる格納容器スプレイ開始により、

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<sup>(8)~(11)</sup>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記載の重大事故による放出放射エネルギー<sup>(11)</sup>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

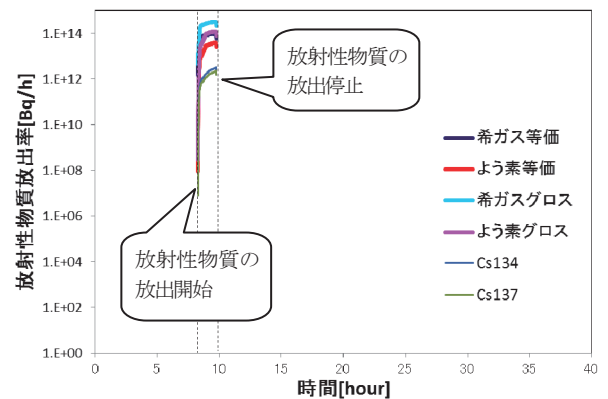


図11 放射性物質放出率

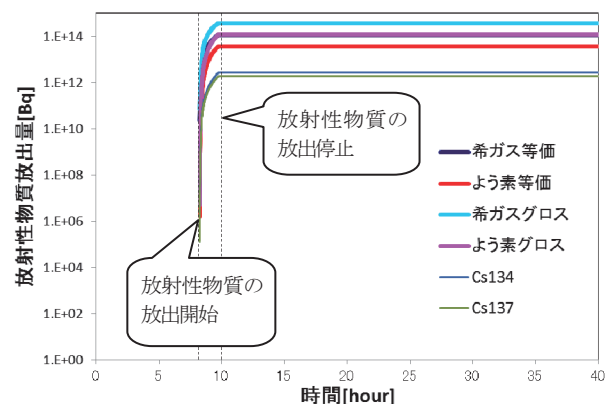


図12 放射性物質放出量

表2 高浜発電所3号機 設置許可申請書  
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]
重大 事故	LOCA	4.4E+13	2.5E+11
	制御棒飛び出し	1.0E+13	8.6E+10
訓練シナリオ		1.16E+14	3.70E+13

LOCA：冷却材喪失事故

値で $1.16 \times 10^{14}$  [Bq]、ヨウ素はI-131等価値で $3.70 \times 10^{13}$  [Bq]となった。今回の解析ではアニュラス空気再循環設備を経由せず、格納容器からの直接放出を想定しているため、施設の安全評価における重大事故時の放出放射能<sup>(12)</sup>と比較して、希ガスは1桁程度、ヨウ素は2～3桁程度多い放出量となることを確認した。

## 5. 結言

平成28年8月27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（放射性物質放出を含む）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) 事象発生からの時間は、原災法第10条通報事象まで45分、原災法第15条該当事象まで1時間40分、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8時間15分であった。
- (2) 炉心損傷後、選定したAM策である格納容器スプレイおよび格納容器自然対流冷却を実施することにより、炉心温度の上昇が抑制され、1次系圧力が低下、また格納容器の圧力と温度の上昇も抑制され、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、水素爆轟が起らないことを示した。
- (3) 放出放射能量は、施設の安全評価における重大事故時の放出放射能と比較して、希ガスは1桁程度、ヨウ素は2～3桁程度多い放出量となることを確認した。

## 文献

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

(1999).

- (2) 内閣府ホームページ, "災害対策基本法", <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S36/S36HO223.html>, (2016).
- (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) 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)", (2017).
- (5) 原子力規制委員会, "原子力災害対策指針(平成29年3月22日全部改正)", (2017).
- (6) 関西電力(株), "高浜発電所 原子力事業者防災業務計画", (2017).
- (7) Electric Power Research Institute (EPRI). "Modular Accident Analysis Program, MAAP User's Manual", (1994).
- (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の発電所内被ばく線量評価手法の検討", INSS Journal, Vol.8, P.174 (2001).
- (9) 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).
- (10) 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).
- (11) 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).
- (12) 関西電力(株), "高浜発電所原子炉設置許可申請書 添付書類十", <https://www.nsr.go.jp/data/000101392.pdf>, (2015).