

シビアアクシデント演習ツールの改良

Improvement of the Severe Accident Practice Tool

川崎 郁夫 (Ikuo Kawasaki) *1 高木 俊弥 (Toshiya Takaki) *1

西田 直樹 (Naoki Nishida) *2 武部 創 (Hajime Takebe) *2

要約 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえて開発した、シビアアクシデント(SA)時の発電所の原子力緊急対策本部対応を疑似体験できる SA 演習ツールについて、緊急時活動レベル(EAL)判断基準の見直し等を反映して改良を行った。主な改良点は、SA 演習ツールへの特定重大事故等対処施設(特重施設)等の反映、EAL 判断基準の見直し等を踏まえた演習シナリオの解説資料の改善である。今回改良した SA 演習ツールを活用し、改善した演習シナリオの解説資料に基づき、関西電力において SA 研修を実施した。その結果、EAL 判断基準の変更点について研修受講者の理解を深めることができたことを確認した。

キーワード シビアアクシデント、演習ツール、緊急時活動レベル、警戒事態、施設敷地緊急事態、全面緊急事態、原子力災害対策特別措置法、特定重大事故等対処施設

Abstract We developed the severe accident (SA) practice tool based on lessons learned in the 2011 accident at the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Reflecting the our review of emergency action level (EAL) criteria, we utilized the developed SA practice tool. Major improvements were the incorporation of a special safety facility into the SA practice tool, and improvements to the explanatory materials for the exercise scenarios based on the review of EAL judgment criteria. Using the improved SA practice tool, SA training was conducted at Kansai Electric Power Company based on the improved exercise scenario explanatory materials. As a result, we confirmed that the training participants were able to deepen their understanding about the changes to the EAL judgment criteria.

Keywords severe accident, practice tool, emergency action level, alert, site area emergency, general emergency, Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, specialized safety facility

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故の安全対策のうち、「事故時の判断能力の向上(対策 12)」⁽¹⁾において、シビアアクシデント(以下、SA という)教育の更なる充実が求められている。

また、2013 年度から原子力災害対策特別措置法(以下、原災法という)⁽²⁾第 6 条の 2 第 1 項の「原子力災害対策指針」⁽³⁾において、原子力災害事前対策として緊急事態区分及び緊急時活動レベル(Emergency action level:以下、EAL という)が定められた。緊急事態区分の設定は、レベル 1「警戒事態(Alert:以下、AL という)」、レベル 2「施設敷地緊急事態(Site Area Emergency:以下、SE という)」、レベル 3「全面緊急事態(General Emergency:以下、GE という)」の 3 段階とされている。SE は従来からの原災法第 10 条、

GE は従来からの原災法第 15 条、25 条に該当し、AL は 2013 年度に新規追加された。原子力発電所において事故が発生した場合は、発電所の原子力緊急対策本部の構成員(以下、本部構成員という)がそれぞれの事象判断(EAL 判断)を迅速かつ的確に実施して、関係各所に通報連絡を実施しなければならない。

これらを踏まえて、本部構成員が SA 発生時に通報連絡までの適切な対応ができるようになることを目的として、SA 理解のための効果的教育・訓練ツールの検討を行い、本部構成員自らがプラント構成および応答、EAL 判断基準等を知識として習得し、SA 時の原子力緊急対策本部対応を模擬体験できる SA 演習ツールを開発した⁽⁴⁾。

SA 演習ツールの訓練シナリオ用データは 2 種類あり、過去の防災訓練シナリオ解析⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾で実施した訓練データを加工して作成したものと、研修用として EAL の見直

* 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)

し内容を理解させるために作成したものがあ

関西電力㈱の原子力防災研修（シビアアクシデント EAL 判断対応演習）において、この SA 演習ツールを活用し有効性を確認するとともに、研修実施後、演習ツールに関する問題点、講師・受講者からの要望に対する改善策を検討し、それらを踏まえて SA 演習ツールの改良を実施してきた。これまでの主な改良点は、EAL 説明資料表示等の演習ツールの機能追加、EAL 判断基準の変更点を含む演習シナリオの作成、演習シナリオ時間の延長、事象進展の早送り機能の強化、スキップ機能の追加等である⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。本報告は、前回報告⁽¹²⁾以降の SA 演習ツールの改良について報告する。

2. SA演習ツールの改良点

2.1 SA演習ツールの概要

SA 演習は、図 1 のように訓練内容非開示のブラインド訓練をイメージしている。訓練者に複数のシナリオを提示して選択させ、事故の起因や進展を知らせず、訓練者自らにプラントの状況を判断させるものとしている。事象進展は原子力緊急時対策本部における安全重要パラメータ表示システム（以下、SPDS という）を模擬した画面により表示させ、訓練者は少人数のグループを構成し、それぞれ役割を決めてロールプレイ式の演習を実施できるようにしている。SPDS とは、原子炉冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊その他の異常及び重大事故等が発生した場合に、プラントの各種パラメータを事業者の緊急対策本部および原子力規制庁に設置されている緊急時対策支援システム等の発電所外へ伝送できるよう、平常時からデータを伝送している発電所側のシステムのことである。SA 演習ツールの開発にあたり、研修時の使いやすさを考慮してノートパソコンで動作する環境で構築している。

当研究所ではシビアアクシデント解析コード MAAP4 を搭載した事象進展予測システム⁽¹³⁾を開発し、万一の原子力災害時に以降のプラント挙動に関する事象の進展を予測し、事故対応検討の一助とするとともに、関西電力㈱の原子力発電所防災訓練時においては事象進展予測解析、防災訓練シナリオ解析、SA 演習シナリオの SPDS データ作成等で活用している。

事象進展予測システムの概要を図 2 に示す。事象進展予測システムはプラントから逐次、送られてくる情報に基づき、MAAP4 を用いて事態の推移予測を行い、今後の進展を予測するとともに、将来の影響緩和と操作の有効性や放

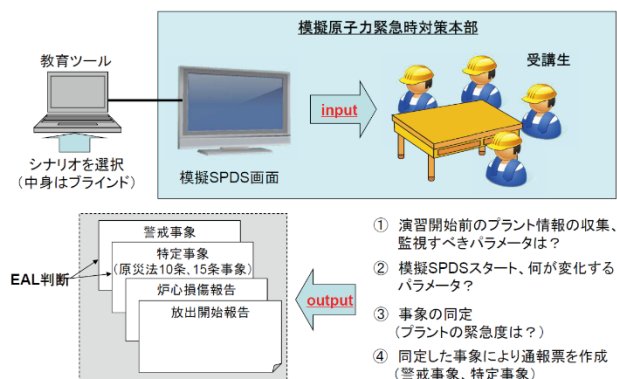


図 1 SA 演習のイメージ

射性物質放出量の推定を行い、事故収束操作及び公衆防護措置に有益な情報を提供することを目的とするものである。

関西電力の原子力プラントに導入されている各種の緩和設備について、適宜 MAAP4 でモデル化を実施し、MAAP4 の解析基盤の更新を実施している。特に近年は、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえて日本の原子力発電所において発電所緊急安全対策、シビアアクシデント対策他として導入された設備について重点的にモデル化を実施している⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。SA 演習ツールについても MAAP4 でモデル化された設備を反映している。

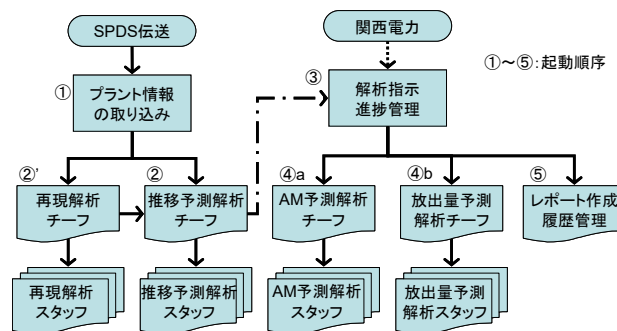


図 2 事象進展予測システムの概要

2.2 特重施設等の反映

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則⁽¹⁶⁾第 42 条において、発電用原子炉を設置する工場又は事業所（以下、工場等という）には、特定重大事故等対処施設（以下、特重施設という）を設けなければならないとしている。

特重施設とは、重大事故等対処施設のうち、故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムにより炉心の著しい損傷が発生するおそれがある場合又は炉心の著しい損

傷が発生した場合において、原子炉格納容器の破損による工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を抑制するためのものをいう。そして、特重施設については、原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムに対してその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること、原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備を有するものであること及び原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムの発生後、発電用原子炉施設の外からの支援が受けられるまでの間、使用できるものであることが要求されている。具体的には、原子力規制委員会資料⁽¹⁷⁾の特重施設の概要(図3)のとおり、例えば、原子炉から100メートル以上離れた場所に、電源、注水ポンプ等の設備を有した特重施設を設けることが要求されている。

特重施設について要求されている機能は、発電用原子炉施設における特重施設以外の施設によって既に重大事故等対策に必要な機能として要求されているところであるが、特重施設は更なる安全性・信頼性を向上させるバックアップ施設として更に有効な対策を講じることができるよう同等の機能が要求されている。

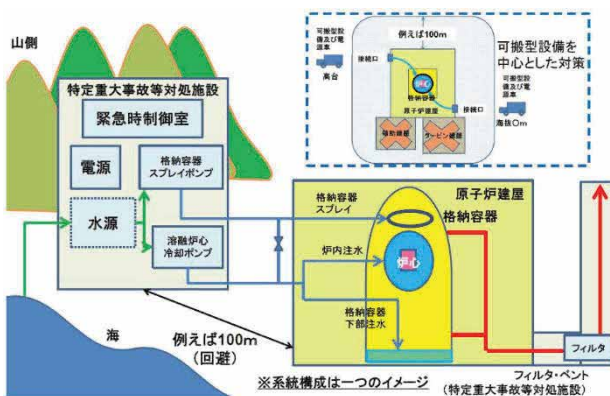


図3 特重施設の概要

原子力発電所における特重施設の設置に伴い、特重施設の使用状況を踏まえた EAL 判断ができるようにする必要がある。

発電所によっては、特重施設の電源機能により、EAL25「電源供給機能の異常(交流電源喪失)」が変更となる。EAL25は、全交流電源喪失事象発生時において、特重施設の電源からプラント側への給電に成功すれば、SE(非常用交流高圧母線の30分間以上喪失)、GE(非常用交流高圧母線の1時間以上喪失)の発信を回避できる。また、EAL27「電源供給機能の異常(直流電源喪失)」の運用自体は変更不要であるが、特重施設の電源から交流電源を非

常用交流母線に給電することで、非常用交流母線を給電元とする直流電源設備の1つである充電器等の信頼性が向上する。

特重施設のフィルタベントの設置により、EAL43「原子炉格納容器圧力逃がし装置の使用」の運用が変更となる。EAL43は、炉心損傷前に原子炉格納容器圧力逃がし装置(フィルタベント)を使用した際、SEを発信することとなる。

特重に関するポンプの設置により、EAL29「停止中の原子炉に関する異常」、EAL41「原子炉格納容器の異常」、EAL42「障壁の喪失」の運用は変更不要であるが、EAL29では、特重施設による代替炉心注水が動作した場合、原子炉冷却材系統の水位が一時的に回復し、原子炉冷却材系統の水位低下による炉心露出等までの時間が延びることで、AL,SE,GEの発信までの時間余裕が延びる。EAL41では、特重施設による代替格納容器スプレイが動作した場合、格納容器圧力が一時的に低下し、格納容器圧力の最高使用圧力到達までの時間が延びることで、GEの発信までの時間余裕が延びる。EAL42では、特重に関するポンプが動作した場合、燃料被覆管、原子炉冷却材系統バウンダリ、格納容器バウンダリの健全性へ影響し、AL, SE, GEの発信までの時間余裕が延びる。なお、設備の運転タイミングによっては、発信までの時間余裕が延びるのではなく発信後に早期に非該当となる場合がある。

これらの特重情報を踏まえた EAL 判断をできるようにするため、演習ツール画面上に「フィルタベント」「特重に関する電源」「特重に関するポンプ」の表示を新規追加した。

2.3 解説資料の改善

関西電力の原子力防災研修(シビアアクシデント EAL 判断対応演習)は毎年実施されており、本研修の受講対象者は3年に1回受講することとなっている。2020年度に作成した研修用演習シナリオを用いた研修は2022年度で一巡したので、2023年度は特重施設を加味したシナリオとして、原子炉冷却材漏えい、2次系給水喪失のシナリオを作成した。

原子炉冷却材漏えいの演習シナリオ概要を表1、2次系給水喪失の演習シナリオ概要を表2に示す。表中の赤字記載のAL, SE, GEが判断すべきEALである。

演習実施後の解説資料において、EAL判断の理解を深めるため、当該EAL判断に必要な条件を更に明確化した。

表1 原子炉冷却材漏えいの演習シナリオ概要

主要なイベント
原子炉冷却材漏えい発生 原子炉トリップ 非常用炉心冷却装置作動 (安全注入信号発信) AL21, AL42 A, B 非常用ディーゼル発電機自動起動 A 充てん/高圧注入ポンプ起動失敗 B, C 充てん/高圧注入ポンプ起動 A, B 余熱除去ポンプ起動
2次系強制冷却開始
A 余熱除去ポンプ停止
A, B 非常用ディーゼル発電機故障停止 B, C 充てん/高圧注入ポンプ停止 B 余熱除去ポンプ停止 SE21, GE21 AL24 AL25 → 30分後 SE25 → 1時間後 GE25
炉心出口温度 350°C超過 SE42
被覆管破損
炉心損傷検知 GE28

表2 2次系給水喪失の演習シナリオ概要

主要なイベント
原子炉トリップ 外部電源喪失 A, B 非常用ディーゼル発電機自動起動 主給水停止 A, B 電動補助給水ポンプ起動 タービン動補助給水ポンプ起動
A, B 電動補助給水ポンプ停止 AL24
タービン動補助給水ポンプ不調により補助給水流量低下
タービン動補助給水ポンプ停止
全ての蒸気発生器狭域水位 0%未満 SE24
A, B 非常用ディーゼル発電機故障停止 AL25 → 30分後 SE25 → 1時間後 GE25
全ての蒸気発生器広域水位 10%未満 GE24
炉心出口温度 350°C超過 AL42
被覆管破損
炉心損傷検知 GE28

EAL 判断の一例として AL21 (原子炉冷却材の漏えい), SE21 (原子炉冷却材漏えい時における非常用炉心冷却装置による一部注水不能), GE21 (原子炉冷却材漏えい時における非常用炉心冷却装置による注水不能) は以下の通りである。

今回の演習シナリオでは原子炉冷却材漏えいが発生し、

安全注入信号発信により非常用炉心冷却装置が作動することから、「運転モード1, 2, 3 および4」「原子炉冷却材の漏えい発生」「非常用炉心冷却装置作動設定値に達した場合」の条件成立により AL21 (原子炉冷却材の漏えい) および AL42 (単一障壁の喪失または喪失のおそれ) 発信を判断する。

その後事象が進展し、A 余熱除去ポンプ停止、A, B 非常用ディーゼル発電機故障停止による B, C 充てん/高圧注入ポンプ停止、B 余熱除去ポンプ停止により、「運転モード1, 2, 3 および4」「原子炉冷却材の漏えい (蒸気発生器伝熱管からの漏えいを含む) 発生」「非常用炉心冷却装置作動設定値に達した場合」「すべての充てん/高圧注入ポンプが起動不能」「すべての余熱除去ポンプが起動不能」の条件成立により SE21 (原子炉冷却材漏えい時における非常用炉心冷却装置による一部注水不能) 発信を判断する。

同時に、「運転モード1, 2, 3 および4」「原子炉冷却材の漏えい (蒸気発生器伝熱管からの漏えいを含む) 発生」「非常用炉心冷却装置作動設定値に達した場合」「すべての充てん/高圧注入ポンプおよび余熱除去ポンプが起動不能」の条件成立により GE21 (原子炉冷却材漏えい時における非常用炉心冷却装置による注水不能) 発信を判断する。

3. SA演習ツールを活用した研修の実施結果と今後の課題

今回改良した SA 演習ツールを活用し、美浜、高浜、大飯の各発電所において、2023年11月に SA 研修を実施した。その結果、EAL 判断基準の変更点について研修受講者の理解を深めることができたことを確認した。

今後の課題として、引き続き EAL 判断基準の変更を反映していくとともに、種々の EAL を網羅するよう演習シナリオの充実を図っていく必要がある。また、SA 研修の実施結果および受講者からの改善要望を踏まえた演習ツールの改善を継続して実施することにより、研修の効率化を図っていく必要がある。

4. おわりに

東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえて開発した、SA 時の事象進展を疑似体験できる SA 演習ツールについて、EAL 判断基準の見直し等を反映して改良を行った。

主な改良点は、SA 演習ツールへの特重施設等の反映、EAL 判断基準の見直し等を踏まえた演習シナリオの解説資料の改善である。

今回改良した SA 演習ツールを活用し、改善した演習シナリオの解説資料に基づき、関西電力において SA 研修を実施した。その結果、EAL 判断基準の変更点について研修受講者の理解を深めることができたことを確認した。

今後も研修後の改善要望を踏まえた SA 演習ツール改善を継続し、SA 演習ツールが更に効果的なものになるように努める。

引用文献

- (1) 経済産業省ホームページ，“東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について”，
chrome-extension://efaidnbmnmbpcjpcglclefindmkaj/
<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3491725/www.nisa.meti.go.jp/shingikai/800/28/008/8-2-1.pdf>.
- (2) 内閣府ホームページ，“原子力災害対策特別措置法”，<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=411AC0000000156>.
- (3) 原子力規制委員会，“原子力災害対策指針（令和5年11月1日一部改正）”，(2023).
- (4) 川崎郁夫，吉田至孝，岩崎良人“シビアアクシデント演習ツールの開発と適用”，INSS JOURNAL, Vol.21, PP.196-204 (2014).
- (5) 川崎郁夫，吉田至孝，山本泰功，岩城隆則，“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”，INSS JOURNAL, Vol.22, PP.169-176 (2015).
- (6) 川崎郁夫，中村晶，山本泰功，高橋俊佑，“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”，INSS JOURNAL, Vol.24, PP.167-174 (2017).
- (7) 川崎郁夫，高木俊弥，尾上彰，池田浩之，“平成30年度 関西電力美浜発電所原子力防災訓練のプラント事象進展シナリオ解析”，INSS JOURNAL, Vol.26, PP.179-186 (2019).
- (8) 川崎郁夫，高木俊弥，山本治宗，山崎強，池田浩之，武部創，“2021年度 関西電力美浜発電所原子力防災訓練のプラント事象進展シナリオ解析”，INSS JOURNAL, Vol.29, PP.229-235 (2022).
- (9) 川崎郁夫，高木俊弥，北尾卓己，武部創，“2022年度 関西電力美浜発電所防災訓練シナリオに基づく解析”，INSS JOURNAL, Vol.30, PP.165-170 (2023).
- (10) 川崎郁夫，高橋俊佑“シビアアクシデント演習ツールの改良”，INSS JOURNAL, Vol.23, PP.135-144 (2016).
- (11) 川崎郁夫，中村晶，高橋俊佑“シビアアクシデント演習ツールの改良”，INSS JOURNAL, Vol.25, PP.137-142 (2018).
- (12) 川崎郁夫，高木俊弥，山本治宗，池田浩之“シビアアクシデント演習ツールの改良”，INSS JOURNAL, Vol.28, PP.169-173 (2021).
- (13) 吉田至孝，山本泰功，楠木貴世志，川崎郁夫，柳千裕，木下郁男，岩崎良人“原子力災害時事象進展予測技術の開発ーこれまでの開発状況と今後の課題ー”，INSS JOURNAL, Vol.21, PP.223-237 (2014).
- (14) 楠木貴世志，高木俊弥，中村晶，佐野直樹“MAAPにおける福島第一原子力発電所事故を踏まえた発電所安全対策設備のモデル化”，INSS JOURNAL, Vol.27, PP.315-319 (2020).
- (15) 楠木貴世志，高木俊弥“MAAPにおけるISLOCAのモデル化”，INSS JOURNAL, Vol.28, PP.163-168 (2021).
- (16) 原子力規制委員会，“実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第5号）”，<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=425M6008000005>
- (17) 原子力規制委員会，“実用発電用原子炉に係る新規規制基準の考え方について（令和4年12月14日改訂）”，(2022).