

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 (Ikuro Kawasaki) *¹

中村 晶 (Akira Nakamura) *¹

高橋 俊佑 (Shunsuke Takahashi) *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) 演習ツールにおいて、緊急時活動レベル (EAL) 判断基準の見直し等を反映して演習ツールの改良を行った。主な改良点は、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および事象進展の早送り機能の強化等である。本演習ツールを用いてSA研修を実施し、研修受講者がEAL判断基準の変更点について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 (SA) 演習ツール, シビアアクシデント (SA), 緊急時活動レベル (EAL), 警戒事象, 特定事象, 緊急事態事象, 原子力災害対策特別措置法 (原災法)

Abstract We developed the severe accident(SA)practice tool based on lessons learned in the accident at the Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Reflecting the review of EAL criteria, we utilized the developed SA practice tool. Major improvements include preparation of exercise scenarios including changes of EAL criteria, extension of exercise scenario time and enhancement of fast forward function of event progress. We conducted SA training using this practice tool and confirmed that the participants were able to deepen their understanding of the changes in EAL criteria.

Keywords severe accident practice tool, severe accident(SA), Emergency action level(EAL), Alert, Site Area Emergency, General Emergency, Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness

1. 緒言

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 (SA) 教育の更なる充実が求められている。

また、平成25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項において定められた「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 (EAL) が定められた。緊急事態区分の設定は、レベル1「警戒事態 (AL)」, レベル2「施設敷地緊急事態 (SE)」, レベル3「全面緊急事態 (GE)」の3段階としている。「警戒事態 (AL)」は新規追加され、「施設敷地緊急事態 (SE)」は従来の原災法第10条、「全面緊急事態 (GE)」は従来

の原災法第15条、25条に該当する。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、当該本部構成員がSA発生時に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・教育的教育・訓練ツールの検討を行い、当該本部構成員自らがプラント構成および応答、ならびにEAL判断基準等を知識として習得し、SA時の本部対応を模擬体験できるSA演習ツールを開発した。

SA演習ツールの訓練シナリオ用データは、過去の防災訓練シナリオ解析^{(4)~(7)} で実施した訓練データを加工して作成し、演習を効率的に行うため限られた時間で複数の事象を演習することを想定して、

*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)

1つのシナリオの事象進展時間は30分とし、訓練データの中から主要事象を含む30分間のデータを使用している。

平成29年度に原子力災害対策指針等の改正に伴い、EAL判断基準についても一部見直しされたことにより、従来の演習シナリオでは見直し後のEALに対応していないものがほとんどであり、新EALの判断に対応していないことから、演習シナリオを抜本的に見直す必要性が発生した。また、開発したSA演習ツールおよび演習シナリオを用いて関西電力のSA研修を実施して、これまでに有効性を確認^{(8),(9)}した結果、従来の1シナリオあたり30分間の演習では演習前後のプラント状況がつかみづらいという課題があった。それらを踏まえて、更に教育効果を上げるために演習ツールの改良を行った。

2. SA演習ツールの改良点

2.1. 演習シナリオの新規作成

平成29年度にEALの判断基準が一部見直しされた。代表的なものとして、原子炉冷却材漏えい時に、従来は非常用炉心冷却装置作動によりSE21（原子炉冷却材漏えいによる非常用炉心冷却装置作動）と判断していたが、今回の見直しにより非常用炉心冷却装置による一部注水不能や全注水不能が発生した時点でそれぞれSE21およびGE21と判断することになった。なお、恒設代替低圧注水ポンプ等のシビアアクシデント設備やアキュームレータによる注水が行なわれたとしても、設計基準事象対応設備（高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ）による一部注水不能や注水不能が発生した場合にはSE21、GE21と判断することになった。また、2次系給水喪失時に、従来は蒸気発生器狭域水位0%未満になった後、ECCS機器による注水不能でGE24（蒸気発生器給水機能喪失後の非常用炉心冷却装置注水不能）と判断していたが、今回の見直しにより全ての蒸気発生器広域水位が10%未満という条件等が新たに追加された。

これらの変更により、従来使用していた演習シナリオではEALの判断基準が異なるため、判断基準の変更点を含む演習シナリオを新規作成することとした。演習シナリオについては、SA研修の時間（2時間）を考慮して、今回は代表的な1次系の事象と

して原子炉冷却材漏えい、2次系の事象として2次系給水喪失を採用した。

今回のEAL見直し内容（判断基準）を演習に反映すべく、機器の故障タイミング等を検討し、原子炉冷却材漏えい事象のクロノロジ（表1）および2次系給水喪失事象のクロノロジ（表2）を作成した。なお、クロノロジは美浜、高浜、大飯発電所共通とした。それを基にして発電所ごとにSA解析コードMAAPによる解析を実施した。MAAP解析時間は、事象発生から放射性物質漏えいまで、一連の流れを追えるよう40時間とし、3発電所×2ケース、合計6ケースの安全重要パラメータ表示システム（SPDS）の演習用データを作成した。

SA教育ツールにセットするSPDSデータは、SA研修の時間（2時間）を考慮して、事象発生10分前から炉心損傷10分後までとした。

演習実施後の解説資料については今回のEAL見直し内容を踏まえて、演習の事象の概要、発生したEALの判断基準および解説、通報連絡票の記載例等を作成した。解説資料の一例として、美浜3号機原子炉冷却材漏えい（LOCA）事象のものを図1～5に示す。

表1 演習シナリオクロノロジ
（原子炉冷却材漏えい事象）

主要なイベント	事象発生からの経過時間		
	美浜3号機	高浜3号機	大飯3号機
LOCA発生	0分	0分	0分
原子炉トリップ	0分	0分	0分
ECCS作動(SI信号)	0分	0分	0分
A-B-非常用DG自動起動	0分	0分	0分
A-SIP起動失敗	0分	0分	0分
B-SIP起動	0分	0分	0分
A-RHRP起動	0分	0分	0分
B-RHRP起動	0分	0分	0分
2次系強制冷却開始	10分	10分	10分
A-RHRP停止	20分	20分	20分
A-B-非常用DG故障停止	30分	30分	30分
B-SIP停止	30分	30分	30分
B-RHRP停止	30分	30分	30分
炉心出口温度350℃超過	52分	56分	56分
被覆管破損	57分	1時間2分	59分
炉心損傷検知	1時間2分	1時間4分	1時間1分
CV最高使用圧力到達	13時間13分	11時間48分	24時間7分

表2 演習シナリオクロノロジ (2次系給水喪失事象)

主要なイベント	事象発生からの経過時間		
	美浜3号機	高浜3号機	大飯3号機
原子炉トリップ	0分	0分	0分
外部電源喪失	0分	0分	0分
A,B-非常用DG自動起動	0分	0分	0分
主給水P停止	0分	0分	0分
A,B-M/D-AFW P起動	0分	0分	0分
T/D-AFW P起動	0分	0分	0分
A,B-M/D-AFW P停止	10分	10分	10分
T/D-AFW P不調により補助給水流量低下	20分	20分	20分
T/D-AFW P停止	30分	30分	30分
SG狭域水位0%未満	55分	57分	52分
A,B-非常用DG故障停止(SBO)	1時間	1時間	1時間
ECCS機器停止	1時間	1時間	1時間
全てのSG広域水位10%未満	2時間53分	2時間45分	2時間51分
炉心出口温度350℃超過	4時間23分	4時間1分	4時間8分
被覆管破損	5時間50分	5時間14分	5時間14分
炉心損傷検知	7時間45分	5時間47分	5時間49分
CV最高使用圧力到達	12時間45分	18時間14分	16時間44分

訓練内容の解説(1/5)

- これは美浜3号機 原子炉冷却材漏えい(LOCA)事象でした。
- 主な流れは以下の通りです。

主要なイベント	事象発生からの経過時間
LOCA発生	0分
原子炉トリップ	0分
ECCS作動(SI信号)	0分
A, B-非常用DG自動起動	0分
A-CH/SIP起動失敗	0分
B, C-CH/SIP起動	0分
A-RHRP起動	0分
B-RHRP起動	0分
2次系強制冷却開始	10分
A-RHRP停止	20分
A, B-非常用DG故障停止	30分
B, C-CH/SIP停止	30分
B-RHRP停止	30分
炉心出口温度350℃超過	52分
被覆管破損	57分
炉心損傷検知	1時間2分

図1 訓練内容の解説(1/5)

訓練内容の解説(2/5)

- この演習では、演習開始10分後にホットレグにて10インチLOCAが発生し、原子炉トリップとなります。A, B非常用ディーゼル発電機が自動起動し、ECCS機器が作動します。ここでAL42(単一障壁の喪失または喪失の可能性)と判断します。この時、A充てん/高圧注入ポンプが起動失敗します。従来であればECCS作動によりSE21(原子炉冷却材漏えいによる非常用炉心冷却装置作動)と判断していましたが、H29.10.30のEAL見直しに伴い、この時点ではSE21と判断しません。
- 演習開始20分後(事象発生から10分後)に2次系強制冷却を開始します。
- 演習開始30分後(事象発生から20分後)にA余熱除去ポンプが故障停止します。
- 演習開始40分後(事象発生から30分後)にA, B非常用ディーゼル発電機が故障停止(全交流電源喪失)し、B, C充てん/高圧注入ポンプ、B余熱除去ポンプが停止します。これにより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)と判断します。
- また、同時に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)も通報する必要があります。

図2 訓練内容の解説(2/5)

訓練内容の解説(3/5)

- なお、恒設代替低圧注水ポンプ等のSA設備やアキュムレータによる注水が行なわれたとしても、DB設備(高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ)による一部注水不能や注水不能が発生した場合にはSE21、GE21と判断します。
- 演習開始62分後(事象発生から52分後)に炉心出口温度が350℃を超過する(被覆管喪失のおそれ)ため、SE42(2つの障壁の喪失または喪失の可能性)と判断します。
- 演習開始70分後(事象発生から60分後)に全交流電源喪失から30分が経過するため、空冷式非常用発電機が起動できない場合にはSE25(全交流電源の30分以上喪失)を、さらに30分後にはGE25(全交流電源の1時間以上喪失)と判断します。
- 演習開始72分後(事象発生から62分後)に格納容器高レンジエアモニタ指示値が $1 \times 10^5 \text{mSv/hr}$ を超過し、既に炉心出口温度が350℃を超過しているため、GE28(炉心損傷の検出)と判断します。

図3 訓練内容の解説(3/5)

訓練内容の解説(4/5)

通報様式記載例(その1)

「警戒事態該当事象連絡」

原子力事業所の名称及び場所 : 関西電力(株)美浜発電所
 警戒事態該当事象の発生箇所 : 美浜発電所 3号機
 警戒事態該当事象の発生時刻 : 10:00
 警戒事態該当事象の種類/EAL番号 : 単一障壁の喪失または喪失のおそれ/AL42
 その他警戒事態該当事象の把握に参考となる情報 : 10:00「加圧器圧力低」による非常用炉心冷却装置の作動を必要とする原子炉冷却系の障壁が喪失したと判断した。

図4 訓練内容の解説(4/5)

訓練内容の解説(5/5)

通報様式記載例(その2)

「第10条通報」第10条事象発生、第15条事象発生

原子力事業所の名称及び場所 : 関西電力(株)美浜発電所
 特定事象の発生箇所 : 美浜発電所 3号機
 特定事象の発生時刻 : 10:30
 特定事象の種類/EAL番号 : LOCA時におけるECCS注入不能/GE21
 : LOCA時におけるECCS一部注入不能/SE21
 その他特定事象の把握に参考となる情報 : 10:00 LOCAによるSI信号作動、B, C充てん/高圧注入ポンプおよびB余熱除去ポンプが運転中であったが、10:30にA, B非常用ディーゼル発電機が故障停止したことにより、ECCS機器が全喪失した。

図5 訓練内容の解説(5/5)

2.2. 演習シナリオ時間の延長

従来は1つの演習シナリオを30分間としていたが、事象がある程度進んだ状況での演習シナリオでは、演習開始前のプラント状況の把握がかなり難しいとの意見があり、事象発生から事象収束までの事象進展およびEAL判断が確認できるように、演習

シナリオ時間の延長を可能にした。

演習シナリオの時間は、毎年実施されている防災訓練のSPDSデータのフルタイムを想定し、最大50時間の事象進展シナリオのデータおよびトレンドグラフを表示できるようにした。それに伴い、早送り機能の強化として、事象速度は従来の2倍速、4倍速に加えて、新たに8倍速、16倍速、32倍速、64倍速を追加した。(図6～10参照)

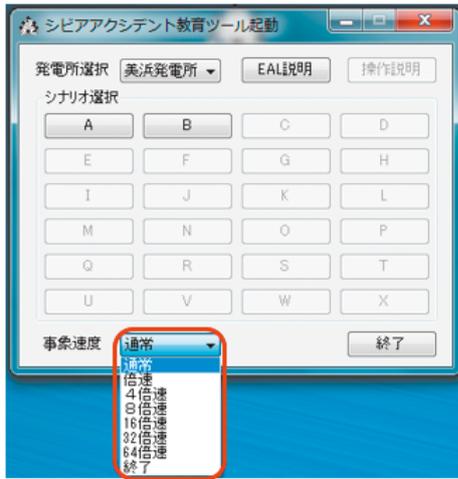


図6 シビアクシデント教育ツール起動画面

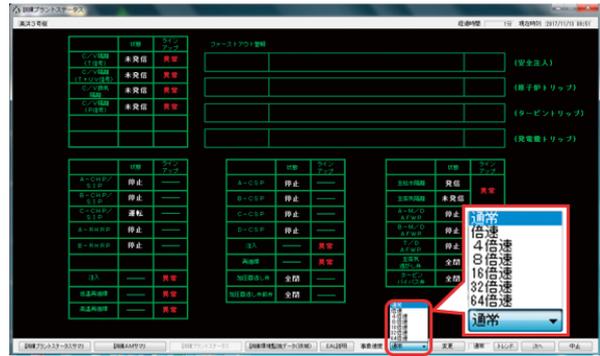


図9 訓練プラントステータス画面

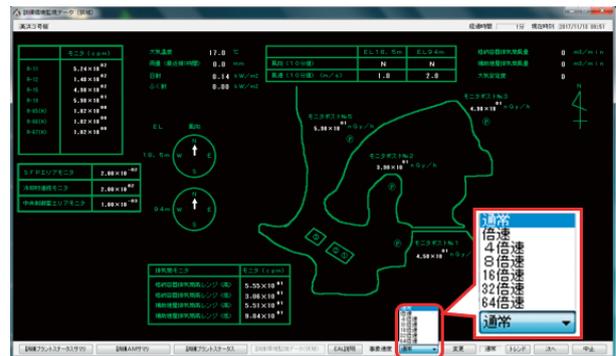


図10 訓練環境監視データ(狭域)画面

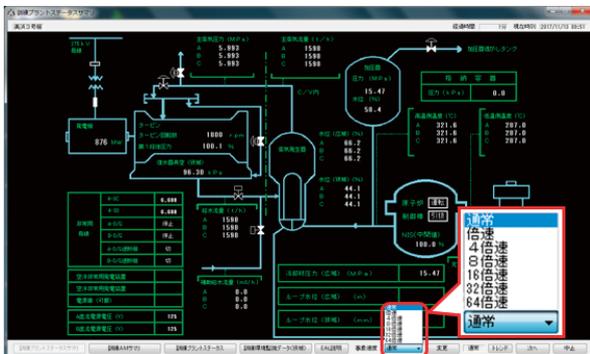


図7 訓練プラントステータスサマリ画面

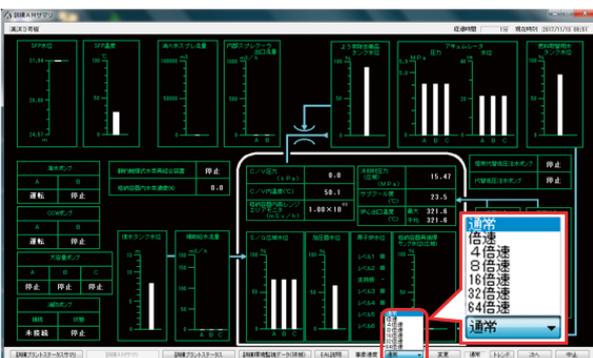


図8 訓練AMサマリ画面

演習において、事象発生時のプラント状況やパラメータの確認を行う際には通常速度を使用し、新たな事象発生までに時間がかかる場合には適宜事象速度を切り替えて早送りすることにより、効率的に演習を進められるようにした。

演習シナリオ時間の延長により、GE25（全交流電源の1時間以上喪失）のような従来の30分間では対応できないEAL判断についても演習可能となった。

2.3. トレンド表示画面の設定変更

演習シナリオ時間の延長に伴い、トレンド表示についても最大50時間としたので、演習中にトレンド表示画面の横軸（時間）のスパンを変更可能にした。横軸スパンはデフォルト設定30分とし、表示時間ボタンにて1時間、2時間、5時間、10時間、20時間、50時間に切り替えることにより変更可能とした。また、従来のトレンドグラフには縦軸・横軸の補助線がなく、当該パラメータがEAL判断基準を超えたのかどうか判断するのが難しかったので、縦軸・横軸に補助線を入れて確認しやすくした。(図11参照)



図11 トレンド表示画面（デフォルト設定30分）

グラフ表示の際に特定の期間を表示できるよう、表示時間および開始時間を任意に設定変更できるようにした。設定変更例として、表示時間を30分から2時間に変更したグラフ表示を図12に、表示開始時間を09:50から10:30に変更したグラフ表示を図13に示す。

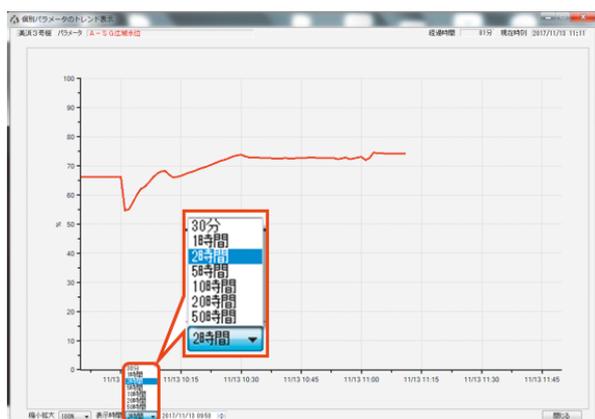


図12 トレンド表示の設定変更例1
(表示時間を2時間に変更)

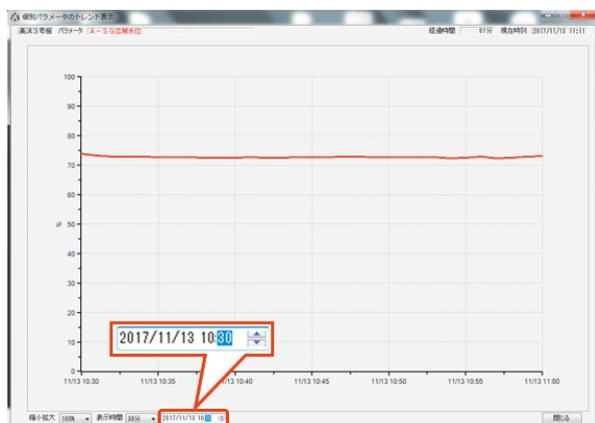


図13 トレンド表示の設定変更例2
(表示開始時間を10:30に変更)

3. SA演習ツールを活用した訓練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て、関西電力美浜、高浜、大飯の各発電所において、平成29年11月にSA研修を実施した。その結果、研修受講者はEAL判断基準の変更点について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、種々のEALを網羅するよう演習シナリオの充実を図る必要がある。また、関西電力での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必要がある。これらを実施し、SA演習ツールが更に効果的なものになるよう改善していく。

4. 結 言

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）時の本部対応を疑似体験できる演習ツールにおいて、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、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および事象進展の早送り機能の強化等である。本演習ツールを用いてSA研修を実施し、研修受講者がEAL判断基準の変更点について理解を深めることができたことを確認した。

今後さらに訓練後の反省点を踏まえてSA演習ツールを改善し、SA演習ツールが更に効果的なものになるように改善していく。

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”，<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10159415/www.meti.go.jp/press/2011/03/20120328009/20120328009.html>.
- (2) 内閣府ホームページ，“原子力災害対策特別措置法”，http://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/yosan_hourei/yosan_hourei.html.
- (3) 原子力規制委員会，“原子力災害対策指針（平成29年7月5日全部改正）”，（2017）。

- (4) 建部恭成, 南則敏, 吉田至孝, “平成21年度福井県原子力防災総合訓練のプラント事象進展シナリオ解析”, INSS JOURNAL, Vol.17, pp.308-316 (2010).
- (5) 米本幸弘, 川崎郁夫, 建部恭成, 吉田至孝, 南則敏, “平成23年度関西電力原子力総合防災訓練のプラント事象進展シナリオ解析”, INSS JOURNAL, Vol.19, pp.291-296 (2012).
- (6) 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).
- (7) 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).
- (8) 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).
- (9) 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).