

原子力発電所防災訓練用運転パラメータ表示 プログラムの開発

Development of Graphic Display Program of Reactor Operating Parameters
for Emergency Exercise at Nuclear Power Plants

奥田 恭令 (Yasunori Okuda)* 吉田 至孝 (Yoshitaka Yoshida)*
後藤 和子 (Kazuko Gotou)†

要約 原子力発電所の防災訓練の効果を上げるためには、プラントの事故進展解析にもとづく訓練シナリオが必要である。このため事故解析計算コードの一つである「MAAP4」等を用いて計算したプラントのプロセスの値(パラメータ)と放出放射線量および発電所敷地周辺の放射線量率を訓練の実時間に沿って表示できるプログラムを開発した。このプログラムでは、パラメータを実時間に沿ってグラフに表示する「トレンドグラフ」、敷地周辺の地図に放射線量率を表示する「環境放射線監視サマリ画面」およびプラントの概略系統図上にパラメータを表示する「プラントパラメータサマリ画面」の表示機能を有し、プログラム作動中に適宜切り替えることが可能である。さらに訓練の進捗状況に応じて、ジャンプ機能により任意の時点のデータにアクセスできる。このプログラムを防災訓練に適用した結果、防災体制への移行時や関係機関への通報時におけるパラメータの確認など、その有用性が確認できた。

キーワード 原子力発電所, MAAP4, 運転パラメータ表示プログラム, 防災訓練, 線量率分布

Abstract A scenario of nuclear emergency exercise based on the result of accident progress analysis is expected to ensure effective training. Thereupon a new graphic display program for reactor operating parameters has been developed to present real-time of plant process values (parameters), released radioactivities from the plant, and dose rate data around the site calculated by using the accident analysis code MAAP4 and other codes. This system has a trend graph screen displaying reactor operating parameters, an environmental dose rate summary screen indicating dose rate distribution around the site on the map, and a plant parameters summary screen showing important plant parameters on a simplified plant system diagram. One screen can be switched to another any time. It also has a jump-function easily accessing any stage during the exercise scenario in accordance with progress of the exercise. As a result of the application of this system to a real nuclear emergency exercise, it has been verified that this system is quite useful for confirming the parameters when the nuclear emergency exercise starts and the licensee reports the plant conditions to related bodied.

Keywords nuclear power plant, MAAP4, trend graph program, emergency exercise, dose rate map

1. はじめに

平成 11 年 9 月 30 日に発生した茨城県東海村の(株)ジェー・シー・オーウラン加工施設における臨界事故を契機として、原子力災害対策特別措置法(以下「原災法」という)が制定された。これに伴い原子力事業者は防災業務計画を定めることが義務

付けられ、日本原子力発電(株)敦賀発電所 2 号機から住民参加の形で防災訓練が実施されるようになった。このように、防災訓練の規模が大きくなり、実際の事故時と同様の対応を行い、その実効を上げるためには、プラントの事故進展解析にもとづく訓練シナリオが必要である。さらに解析の結果得られ

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所
† 関西電力(株)

たデータを原子力事業者の非常災害対策本部等に表示させ、時々刻々変化するプラントの状況に応じた対応を迫る必要がある。

そこで、事故時のプラントの挙動を監視するために必要なプラントの系統における圧力や温度といったプロセスの値(以下「パラメータ」)を選定した。次に燃料の溶融や格納容器の破損を伴う原子力発電所の事故時に適切な監視ができる画面の設計や、防災訓練を実施するうえで必要となる機能を検討のうえ、過渡応答解析計算コードの一つである MAAP4 等を用いて計算した。その結果を訓練の実時間に沿って表示できるプログラムを開発し、防災訓練に適用した。

2. 表示プログラムの要求機能

2.1 監視用パラメータの選定

防災訓練を含め、事故時における原子力事業者の非常災害対策本部等における監視対象としては、燃料や一次冷却材圧力バウンダリ・格納容器バウンダリの健全性や発電所敷地周辺環境への影響に対するプラントの挙動を把握するために必要とされるパラメータ、放出放射エネルギーおよび発電所敷地周辺の放射線量率等を、目的別に運転状況確認、プラントの状態確認、排気筒からの放射性物質の放出状況確認、周辺環境への影響確認、被ばく評価用気象データの確認の五つの観点から選定した。関西電力(株)高浜発電所3号機の例を表1に示す。

2.2 事象進展時間と訓練時間のマッチング

過渡応答解析計算コードの一つである MAAP4 等を用いて計算された事象進展解析結果は、あらかじめ想定されたシナリオにより、炉心損傷に至るまで数日におよぶものもあり、訓練を実時間で行うのは現実的ではない。このため、事象発生時の通報、原災法の適用および住民避難の判断等、訓練上のポイントに応じて事象の進展と訓練時間をマッチングさせる必要がある。このため、図1に例を示すように解析結果を単位時間(訓練では1分とした)を1行とする Microsoft Office 97 の Excel ファイルに整理したうえで、訓練時間に合わせて事象進展の一部を省略する必要がある場合には、表示用データの行削除によりユーザーが任意に圧縮できるように配慮を行い、訓練の実時間と同期が取れるように設計した。

表1 高浜発電所3号機防災訓練用パラメータ

分類	項目	目的・必要性
(1) 運転状況確認	発電機出力 タービン回転数 出力領域中性子束指示 制御棒挿入の有無	原子炉・タービン・発電機の運転状況の確認
(2) プラントの状態確認	a. 原子炉冷却系統(RCS)関係 RCS 圧力 RCS 高温側温度 加圧器水位 炉心平均温度	燃料の除熱状況および健全性確認 一次冷却材圧力バウンダリの健全性確認
	b. 蒸気発生器関係 代表蒸気発生器圧力 代表蒸気発生器広域水位 給水流量 補助給水流量	蒸気発生器を介した原子炉の除熱機能維持状況の確認
	c. 格納容器関係 格納容器圧力 格納容器温度 格納容器サンプル広域水位	格納容器バウンダリの健全性確認および ECCS 再循環切替の有効性確認
	d. ECCS 関係 燃料取替用水タンク水位 ECCS 流量(合計) 格納容器スプレ流量(合計)	ECCS の作動状況の確認
(3) 排気筒からの放射性物質の放出状況確認	格納容器排気筒モニタ 線線量率 補助建屋排気筒モニタ 線線量率 格納容器内高レンジモニタ 線線量率	プラントから環境への放射性物質の放出状況の確認
(4) 周辺環境への影響確認	モニタステーション・モニタポスト 線線量率(合計11カ所)	発電所敷地周辺に対する放射性物質放出による影響の確認
(5) 被ばく評価用気象データ	風向 風速 外気温度 日射量 大気安定度	被ばく評価計算に必要な気象データの確認

2	TIME	RCS温度		加圧器	炉心平均	SG			格納容器		CVサンプル	RWS	
3	分	圧力	HOT温度	水位	温度	圧力	広域水位	給水流量	補助給水流量	圧力	温度	広域水位	水位
121	117	15.4	320.0	57.69	298.8	5.35	81.7	1662.0	0.0	0.00	36.5	0	9:
122	118	15.4	320.0	57.69	298.8	5.35	81.7	1662.0	0.0	0.00	36.5	0	9:
123	119	15.4	320.0	57.69	298.8	5.35	81.7	1662.0	0.0	0.00	36.5	0	9:
124	120	15.4	321.2	57.69	297.1	5.35	81.7	0.0	0.0	0.00	36.5	0	9:
125	121	15.1	296.5	50.76	295.1	6.68	80.4	0.0	24.4	0.00	36.5	0	9:
126	122	15.3	295.8	51.14	296.2	7.02	80.7	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
127	123	15.7	297.1	52.60	297.5	7.26	81.2	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
128	124	15.9	297.7	53.78	297.9	6.95	81.3	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
129	125	16.0	297.9	54.10	297.7	7.05	81.0	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
130	126	15.9	297.6	54.06	297.5	7.17	80.9	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
131	127	15.9	297.5	53.99	297.3	7.21	80.9	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
132	128	15.8	297.3	53.78	297.0	7.23	80.9	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
133	129	15.7	297.3	53.60	296.8	7.11	80.7	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
134	130	15.7	296.9	53.36	296.6	7.18	80.7	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
135	131	15.6	296.6	53.07	296.7	7.24	80.8	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
136	132	15.5	296.7	53.03	296.7	7.26	80.9	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
137	133	15.5	296.5	52.78	296.4	7.30	81.0	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
138	134	15.5	296.6	52.73	296.4	7.16	80.7	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
139	135	15.4	296.4	52.50	296.3	6.98	81.0	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
140	136	15.3	296.1	52.27	296.2	7.21	81.1	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
141	137	15.3	296.1	52.21	296.0	7.27	81.1	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
142	138	15.3	296.0	52.07	295.9	7.27	81.2	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
143	139	15.2	295.9	51.93	295.7	7.27	81.3	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
144	140	15.2	295.8	51.78	295.6	7.26	81.4	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
145	141	15.1	295.6	51.60	295.4	7.25	81.4	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
146	142	15.1	295.4	51.36	296.0	7.23	81.5	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
147	143	15.1	295.4	51.35	294.3	7.22	81.5	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:
148	144	15.0	295.4	51.31	295.4	7.19	81.6	0.0	26.6	0.00	36.5	0	9:

図1 防災訓練用データの整備結果の例

2.3 その他ソフトウェア上の特徴

今回の開発に当たっては、防災訓練での使用に用途を限定し、次のような特徴を有している。

- (1) パソコン側の負荷を下げるためデータは Microsoft Excel 97 で編集し、それを一旦データ用テキストファイルに変換するプログラム（以下「表示用ファイル作成プログラム」）を、グラフ等を表示するプログラム（以下「グラフ等表示プログラム」）とは別に作り、共に Visual Basic 6.0 で開発した。
- (2) 関西電力(株)が保有する11プラントすべてに適用可能なように、プラント毎に対象パラメータのスパン(上限値, および下限値)と単位を任意に指定できるようにした。
- (3) 防災訓練用シナリオに応じて表示を制御する機能が必要なため、動作の基本となる表示を更

新するインターバルとシナリオに応じたデータのジャンプポイントは、表示用ファイル作成プログラムであらかじめ設定できる他、グラフ等表示プログラム側でも変更できるように配慮した。また防災訓練用シナリオと実際の訓練の進捗との同期が取れなくなった場合の制御として、表示更新の一旦停止と再開、および任意の時点にジャンプできる機能をグラフ等表示プログラムに装備させた。

- (4) グラフ等表示プログラムの表示画面は、パラメータの時間的推移をグラフ表示する「トレンドグラフ画面」、プラントの簡易系統図上に主要なパラメータの瞬時値を時間とともに更新して表示する「プラントステータスサマリ画面」、発電所敷地周辺に配置された野外モニタの観測値と気象データを時間とともに更新して表示する「環境放射線監視サマリ画面」の3つで構成される。

(5)トレンドグラフ画面は、時間の経過に伴うパラメータの推移を監視する必要があるデータとして、表1の区分のうち、(2)プラントの状態確認に分類されるRCS関係、蒸気発生器関係、格納容器関係、ECCS関係を分類毎に分けて4つのグラフを作り、さらに表1(3)排気筒からの放射性物質の放出状況確認にもとづいて一つのグラフ、また表1(4)周辺環境への影響確認に属するパラメータのうち主要4パラメータ(モニタステーションおよびNo.1~No.3モニタポストの各放射線量率)で一つのグラフを作成し、合計6グラフで構成させた。トレンドグラフ画面の例を図2に示す。

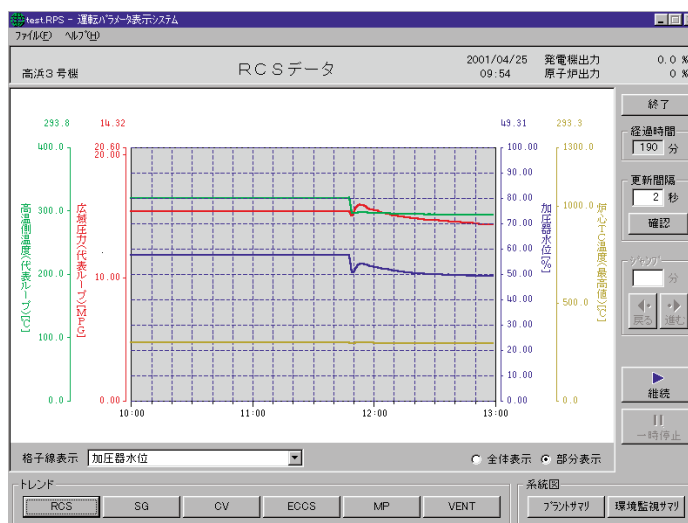


図2 トレンドグラフ画面の例

(6)次にプラントステータスサマリ画面は、プラントの状態を一目で確認し、全体を掌握できるようにする画面であり、表1(1)運転状況確認に分類されるパラメータ、表1(2)プラントの状態確認および(3)排気筒からの放射性物質の放出状況確認に分類されるパラメータのうち主要な20パラメータを表示させた。プラントステータスサマリ画面を図3に示す。

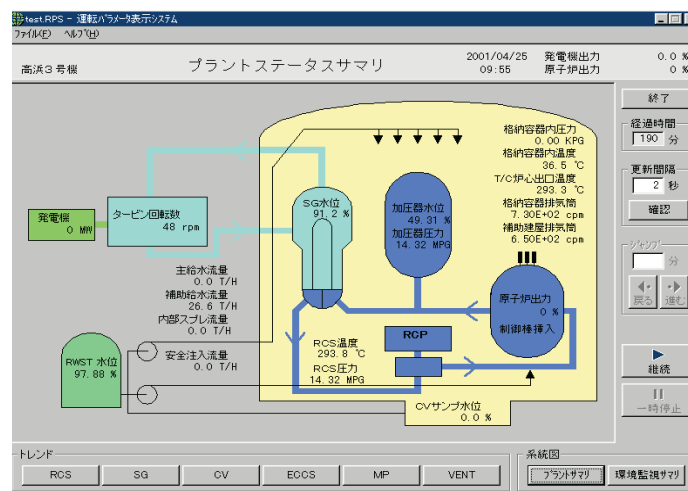


図3 プラントステータスサマリ画面

(7)最後に環境放射線監視サマリ画面は、敷地周辺の放射線量率と気象状況を把握し、環境への影響を判断するための画面であり、表1(4)周辺環境への影響確認および(5)被ばく評価用気象データに属するパラメータを発電所敷地周辺地図にその値を表示させた。敷地周辺の地図は、訓練対象プラントに応じて、「美浜発電所用」、「高浜発電所用」、「大飯発電所用」の3画面から選択できるようにした。環境放射線監視サマリ画面を図4に示す。

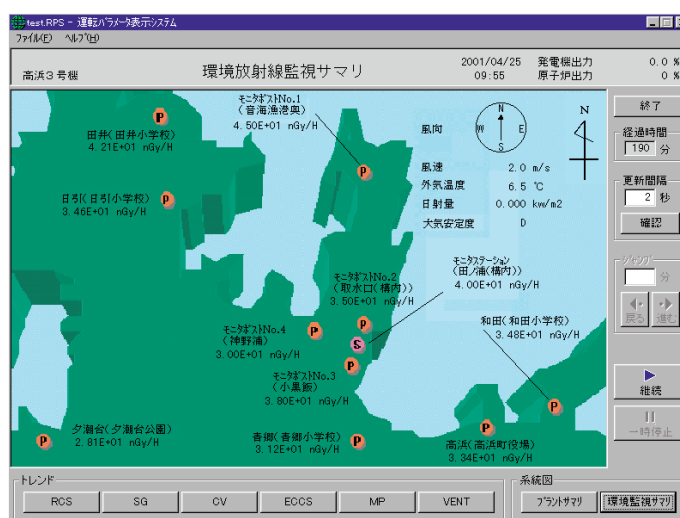


図4 環境放射線監視サマリ画面

3. 開発プログラムの概要

整備された訓練用データをもとに、パソコン上でそのデータを時系列に表示させ、その画像出力を非常災害対策本部等のプロジェクトに接続することで、訓練用データの表示を行うプログラムを作成した。プログラムの構成を図5に示す。



図5 運転パラメータ表示プログラムの構成

4. プログラムの適用

4.1 対象プラント

プログラムを適用する防災訓練の対象プラントは、美浜発電所3号機および高浜発電所3号機であ

る。美浜発電所3号機は1976年12月に営業運転を開始した、3ループの加圧水型軽水炉で、電気出力は826MWである。高浜発電所3号機は1985年1月17日に営業運転を開始した、3ループの加圧水型軽水炉で、電気出力は870MWである。特に高浜発電所3号機ではそれまでの国内の運転実績から、自主技術による軽水炉の信頼性向上、稼働率向上、

作業従事者の被ばく線量の低減などを目標とした第一次改良標準化が図られて設計・建設されている点が特徴として挙げられる。⁽¹⁾

4.2 想定事象の内容

関西電力(株)美浜発電所および高浜発電所原子力事業者防災業務計画の想定事象に基づいている。事象想定に当たっては、1979年3月28日に米国スリーマイルアイランド2号機で発生した、2次系の給水ポンプの停止を発端として、給水喪失に至り、さらに設備の故障や運転員の対応の不備が重なって炉心が損傷し、放射性物質が環境に放出されたという実際に発生した事故に基づいて行われている。具体的な想定事象の内容は以下のとおりである。

定格出力運転中、主給水ポンプの停止に伴い、原子炉が緊急停止し、その後、冷却機能の喪失に至る。美浜発電所3号機においては、炉心損傷に至る前に補助給水系が復旧することにより、事象収束に至る。高浜発電所3号機においては、冷却機能喪失が継続することにより、炉心損傷に至り、排気筒から放射性物質が放出され、周辺環境に影響を及ぼす恐れが生じたという想定である。

4.3 訓練用データの整備

訓練用パラメータのうち、運転状況確認用の4パラメータと気象データの5パラメータについては、訓練想定と過去の運転実績から整備した。プラントの状況確認用の14パラメータ、排気筒からの放射性物質の放出状況確認用の3パラメータおよび周辺環境への影響確認用の11パラメータについては、訓練想定の記事進展にもとづきMAAP4と炉心崩壊熱と放射性物質炉内蓄積量データベースを用いた計算²⁾等を行い、計装系で観測される指示値に変換しExcelファイルを作成した。その結果に対し、さらに事象進展と訓練時間との整合性を図った。

4.4 適用結果

高浜発電所防災訓練における適用の状況を図6に示す。



図6 高浜発電所防災訓練の風景

適用の結果、パラメータの変動を実時間表示することにより、プラントの挙動を模擬し、通報時や防災体制移行時におけるパラメータの確認が実際のプラントの事故時と同様に行える等、訓練用の監視ツールとしてその有用性が確認できた。

5. おわりに

本稿では昨年施行された原災法を受けて、原子力事業者がより実効性の高い防災訓練を目指したこと

を背景とし、防災訓練シナリオに基づき整備された訓練用データを原子力事業者の非常災害対策本部等にリアルタイムで表示するためのプログラムの開発を行い、実際の防災訓練に適用したことについて報告した。

その結果、防災訓練における訓練用の監視ツールとしてその有用性が確認できた。

文献

- (1) 原子力百科事典 ATOMICA, 「日本の原子力発電開発の歴史」,
<http://mext-atm.jst.go.jp/atomicaf.html>
- (2) 吉田 至孝他, 「シビアアクシデント時発電所内被ばく線量評価手法の検討」, 日本原子力学会 2001年春の年会予稿集(J36).