



福島第一原子力発電所第1号機～第3号機の 地震から津波来襲までの時系列評価（その1）

Time-series evaluation on Fukushima Daiichi NPP units 1/2/3
from Tohoku - Pacific Ocean Earthquake to the related tsunami invasion (1)

北海道大学 小林 正英 Masahide KOBAYASHI Non Member
北海道大学 奈良林 直 Tadashi NARABAYASHI Member

The Fukushima Daiichi nuclear power plant's units 1/2/3 which were under operation when the Tohoku - Pacific Ocean Earthquake occurred at 14:46 March 11, 2011, were analyzed by time series evaluation from the earthquake occurrence to the tsunami invasion as to whether safety functions were effective. The shutdown function and containment function were analyzed in this paper, and it showed both the safety functions were kept effective during the earthquake occurrence to the tsunami invasion.

Keywords: Fukushima-Daiichi NPP, Tohoku - Pacific Ocean Earthquake, tsunami, time series evaluation, safety function evaluation, shutdown function, containment function

1. はじめに

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震（「Tohoku - Pacific Ocean Earthquake」）発生時に運転中であった福島第一原子力発電所第1号機、第2号機及び第3号機（以下「1F-1」「1F-2」「1F-3」という。）について、地震発生から津波来襲までの間、深層防護の第2レベルの「止める」機能、第3のレベルである「冷やす」、「閉じ込める」機能等の安全機能の内、「止める」機能及び「閉じ込める」機能が有効であったかどうかを分析・評価した。なお、「冷やす」機能については、時系列評価（その2）で示す。

2. 分析・評価に使用したデータ

本分析・評価には東京電力のホームページで公開されているデータ[1]のうち、以下に示すものを組み合わせ使用した。

- ①プロセス計算機の打ち出し記録[2]：通常、機器の起動・停止信号等は1分単位の印字時間と共に出力される。スクラム信号等の重要信号については、トリップシーケンスと呼ばれる機能により10msecの時間分解能で発生時刻を記録させ打ち出す。本分析ではトリップシーケンスデータを基本的に使用し、補助的に通常打ち出し記録を使用した。
- ②過渡現象記録装置の出力[3]：スクラム等のトリガーの前後のパラメータを記録しグラフとして出力する。本分析では主にこのデータを使用した。

③記録計のチャート[4]：制御盤の記録計の出力であるが、1時間が2cm程度で時間分解能は低いが、過渡現象記録装置の記録がない時間等に補助的に活用した。なお、RCIC流量等スクラム等発生時には記録用紙の送り速度が10倍になるものがあり、時間分解能が過渡現象記録装置のグラフ並のものもあり、活用ができた例もある。

④運転員操作記録[5]

各プラントのプロセス計算機及び過渡現象記録装置データの採集状況をTable 1に示す。

Table 1 Data stored on the process computer and transient computer during the period from the earthquake to the tsunami

プラント	プロセス計算機		過渡現象記録装置
	アラームタイパー	トリップシーケンス	
1F-1	～2011/3/11 14:57	2011/3/11 14:46:46 400ms～ 14:58:07 610ms 上記以降のタイパーの紙詰まりにより記録がない。	①2011/3/11 14:42:03 ～15:17:02
1F-2	～2011/3/11 15:48	—	①2011/3/11 14:41:56 ～15:16:55 ②2011/3/11 15:12:06 ～15:47:05
1F-3	2011/3/11 00:15～18:16	2011/3/11 14:47:00 750ms～ 15:43:45 450ms	・2011/3/11 14:41:40 ～16:04:35 途中でデータの欠測あり。詳細は提出データ範囲説明書参照。

なお、時系列評価の際には、①～③の記録は、それぞれの装置で時計を持っているため、時間合わせをした上で評価する必要がある。装置間で共通の接点信号がある場合には、その変化時の時間差により時間合わせを実施した。共通信号がない場合には、

S/R 弁開閉時やスクラム時等に各パラメーター間で共通且つ特徴的に現れる変化等により時間合わせを実施した。

本時系列評価では、1F-1 と 1F-3 ではプロセス計算機の時間を基準として分析・評価を行った。1F-2 では、プロセス計算機のトリップシーケンス記録がなかったため、過渡現象記録装置の時間を基準として分析・評価を行った。なお、過渡現象記録装置及び記録計のチャートの記録は、公開されたデータより時間及び数値を読み込み、評価に必要な信号を1枚のグラフに編集した上で分析評価に使用した。

3. 「止める」機能に関する評価

深層防護の第2のレベルでは、異常を早期に検知して、自動的に原子炉を止めることにより、異常の拡大を防止し、事故への発展を防止することとしている。BWR の場合、原子炉安全保護系により異常を検知し、制御棒を自動的に挿入する。地震発生から津波来襲までの間の、この機能の健全性について分析・評価する。

Fig.1 に 1F-1 の、Fig.2 に 1F-3 のトリップシーケンスデータ[6][7]から、スクラム発生前後の原子炉安全保護系の信号の推移をグラフにして示す。

BWR の安全保護系は 1 out of 2 twice のロジック

構成としており、各異常検出信号とも信号 A, C の OR 信号（スクラム A 信号）と信号 B, D の OR 信号（スクラム B 信号）の AND 信号でスクラムが発生し、全制御棒の挿入動作が開始される。

Fig.1 及び Fig.2 から、両プラントとも地震加速度大信号を検出してスクラム信号が発生したことがわかる。1F-1 は 14 時 46 分 58 秒 430ms に、1F-3 は 14 時 47 分 4 秒 250ms にスクラムを開始している。

また、プロセス計算機の印字記録に、1F-1 が「14 時 47 分 全制御棒全挿入」[8]、1F-3 も「14 時 47 分 全制御棒全挿入」[9]が確認できる。「全制御棒全挿入」信号は、制御棒が全挿入位置以上に挿入されたことを示す信号が全制御棒について成立した時に出る信号である。このことから、スクラム信号の発生後スクラム動作が正常に機能し、全制御棒が全挿入されたことが確認できる。

Fig.3 に 1F-1 の、Fig.4 に 1F-3 のスクラム信号と中性子束 (APRM) の推移[11][12]を示す。各プラントともスクラム信号発生後、中性子束は急減し 0% となっており、原子炉の自動停止に成功していることがわかる。

1F-2 に関しては、トリップシーケンスデータはないが、プロセス計算機の印字記録に「14 時 47 分 地震トリップ」、「14 時 47 分 全制御棒全挿入」[10]と

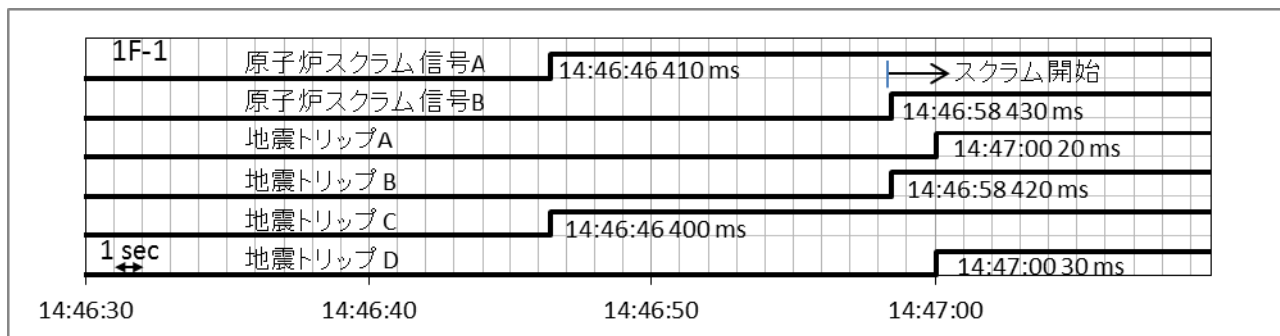


Fig.1 Reactor protection system signals before and after the scram at 1F-1

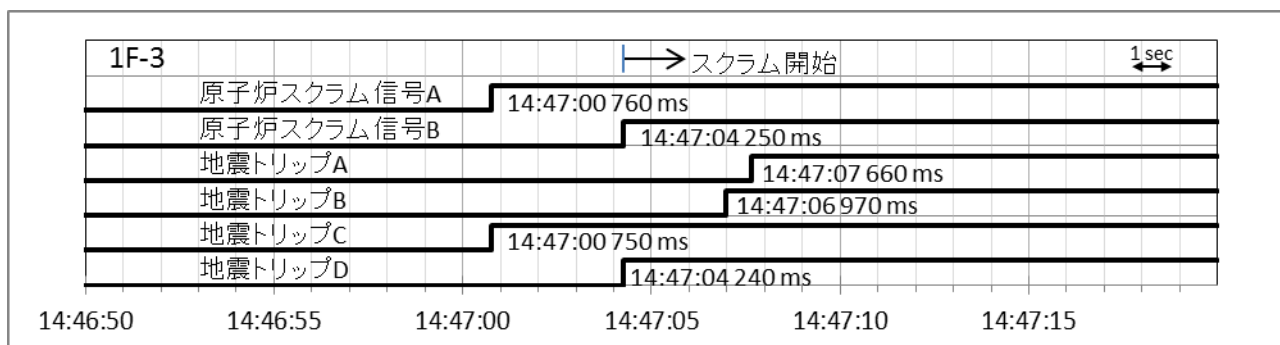


Fig.2 Reactor protection system signals before and after the scram at 1F-3

打ち出されており、地震加速度大によりスクラム信号が発生し、その後のスクラム動作により全制御棒が全挿入していることが確認できる。

Fig.5に1F-2の中性子束（APRM）の推移を示す。1F-1及び1F-3と同様に急減して0%となっており、原子炉の自動停止に成功していることがわかる。なお、公表データにはスクラム信号が含まれていないが、APRMが急減し始める時間をスクラム信号発生時間とすると14時47分36秒である。なお、APRMにパルス状の変化が見られるが、全制御棒全挿入が確認されており未臨界状態は維持されておりこのような中性子束上昇はありえないこと、パルス状の変化が非常用母線に非常用ディーゼル発電機（EDG）が給電を開始するタイミングと一致していることよりこの影響により何らかのノイズを拾っているものと推定している。1F-3でもパルスの高さは小さいが同様の現象が見られる。

以上の分析から、1F-1,1F-2,1F-3とも、自動的に原子炉を止める機能は健全であったと判断できる。

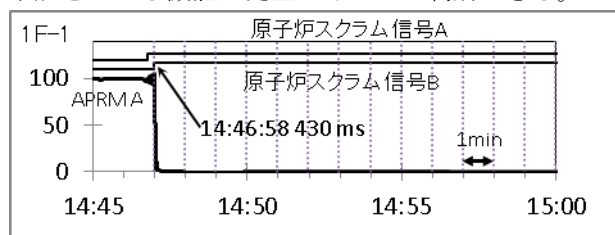


Fig.3 Scram signal, APRM (Neutron Flux) (1F-1)

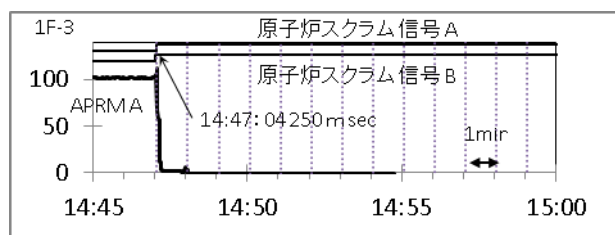


Fig.4 Scram signal, APRM (Neutron Flux) (1F-3)

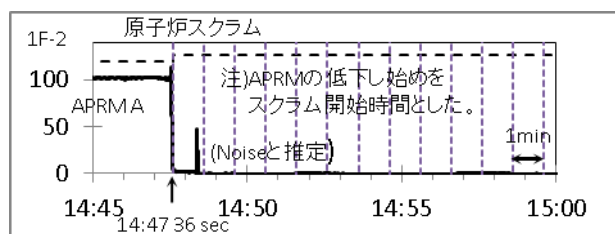


Fig.5 Scram signal, APRM (Neutron Flux) (1F-2)

4. 所内電源の状況について

炉心を冷却する系統機器等に必要な電源の状況について分析・評価した。

Fig.6～Fig.8に各プラントの所内電源の構成図を示す。BWRでは定格運転中は常用母線及び非常用母線の電源は自らの発電機から供給しているが、地震等によりスクラムした場合は自らの発電機の出力も減少するため、電源を確保するためタービントリップをトリガーとして起動変圧器側へ自動的に切替が行われる。この自動切替が失敗したり、起動変圧器に電源を供給している外部電源が喪失したりして非常用母線が電圧低下すると、EDGが自動起動し非常用母線に給電する。

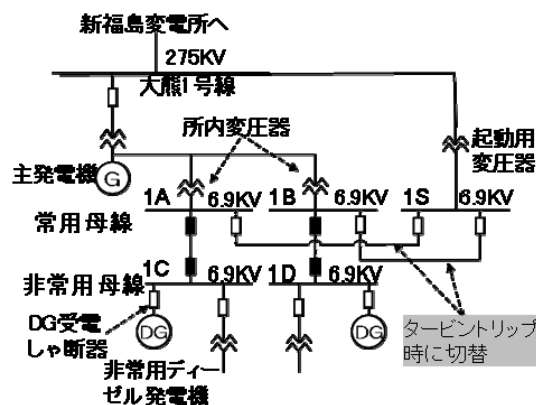


Fig.6 The block diagram of 1F-1 power supply system

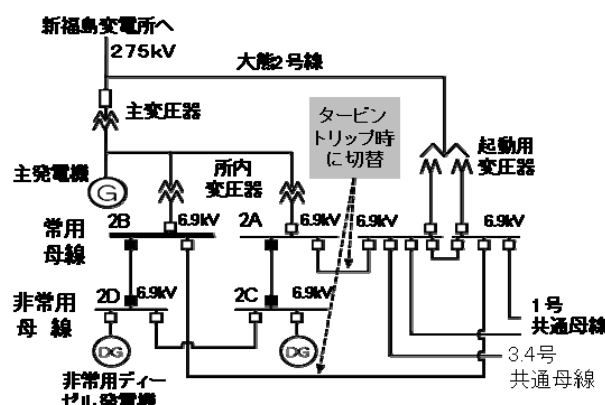


Fig.7 The block diagram of 1F-2 power supply system

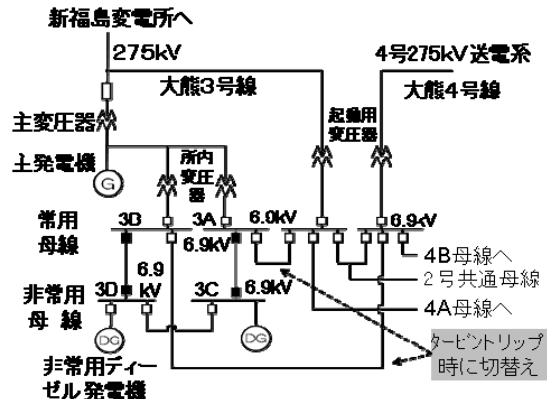


Fig.8 The block diagram of 1F-3 power supply system

所内の電源の切り替え状況はプロセス計算機のトリップシーケンスに打ち出される。Fig.9に1F-1、Fig.10に1F-3の所内電源切替状況[14][15]を示す。なお、1F-2ではトリップシーケンスの記録がないが、過渡現象記録装置の記録に切り替え状況がわかる信号が入っているので、Fig.11に1F-2の所内電源切替状況[16]を示す。

1F-1では、Fig.9に示すように、「タービン軸振動大」トリップ信号が14時47分48秒220msに記録されている。これにより、所内母線切替が動作したが、起動変圧器側の外部電源が喪失していたため非常用母線1Cは14時47分52秒080msに、非常用母線1Dは14時47分51秒940msに電源喪失となって

いる。

このため、EDGが自動起動し、非常用母線1Cは電源喪失から6.17秒後の14時47分58秒970msに、非常用母線1Dは電源喪失から5.20秒後の14時47分57秒140msにEDGから電源が供給が開始されている。

1F-3では、Fig.10に示すように、「タービン手動」トリップ信号が14時47分22秒660msに記録されている。これにより、所内電源切替が動作し、14時47分23秒210msに起動変圧器への切替が成功した。

その後、外部電源が喪失したため、14時47分56秒320msに非常用母線3Cが、14時48分08秒760msに非常用母線3Dが電源喪失している。

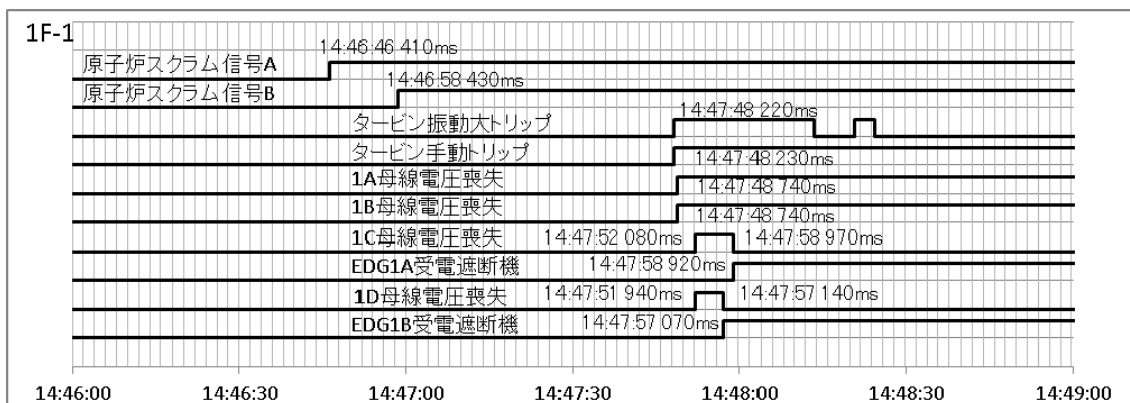


Fig.9 Power supply change just after the reactor scram (1F-1)

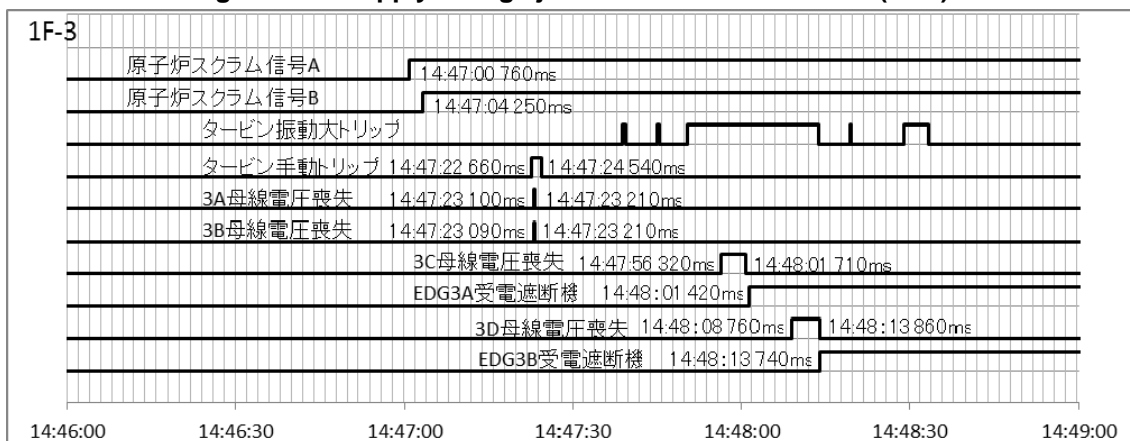


Fig.10 Power supply change just after the reactor scram (1F-3)

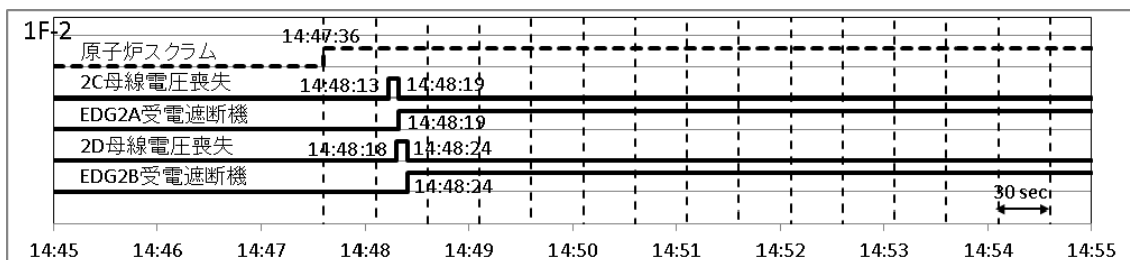


Fig.11 Power supply change just after the reactor scram (1F-2)

このため、EDG が自動起動し、非常用母線 3C は電源喪失から 5.4 秒後の 14 時 48 分 01 秒 710ms に、非常用母線 3D については電源喪失から 5.1 秒後の 14 時 48 分 13 秒 860ms に EDG から給電が開始された。

1F-2 では、プロセス計算機印字記録に 14 時 47 分にタービントリップ時に動作する「マスタートリップソレノイド動作」[17]が記録されており、タービントリップが発生したことがわかる。

これにより、所内母線切替が動作したが、起動変圧器側の外部電源が喪失していたため、EDG 2A は 14 時 48 分 13 秒に、EDG 2B は 14 時 48 分 18 秒に起動信号が発生し、EDG が起動している。

この結果、非常用母線 2C は 14 時 48 分 19 秒に、非常用母線 2D は 14 時 48 分 24 秒にそれぞれの EDG 受電遮断機が投入され、給電が開始された。

以上より、各プラントの非常用母線は、地震によるスクラム発生後一旦は外部電源喪失により電源喪失状態となるものの、EDG によりすぐに給電が開始され、冷却に必要な機器の電源は津波の到達までは確保できたと判断できる。

なお、各プラントとも主蒸気隔離弁の閉鎖信号が発生している。1F-1 及び 1F-3 のプロセス計算機のトリップシーケンス記録のうち、MSIV 閉鎖信号の原因信号の発生状況[18] [19]を Fig.12 及び Fig.13 に示す。特徴を以下に示す。

① 1F-1 及び 1F-3 共、MSIV 閉鎖の原因信号 A,C がほぼ同時 (10~40msec の範囲内) に発生し、且つ、原因信号 B,D も同様にほぼ同時に発生している。

MSIV 閉鎖論理は 1 out of 2 twice のロジックで構成されており、原因信号 A,C の OR (論理チャンネルA) と原因信号 B,D の OR (論理チャンネルB) の AND の信号で実際に MSIV を閉鎖する信号を発生させる。また、ロジックはリレー回路により構成され、フェールセーフの設計のため、リレーが無励磁となった場合に原因信号が発生するように設計されている。

MSIV 閉鎖の原因信号は、主蒸気配管破断等一次冷却材が流出した際に発生する現象を捉えるもので、一次冷却材流出による原子炉水位の低下、主蒸気トンネル室の温度上昇、主蒸気圧力の低下等の変化を捉えるが、秒から分オーダーで変化する

るものであり、数十 msec の範囲内で同時に発生することはありえない。原因信号がほぼ同時に発生するのは、論理チャンネルの電源が喪失し、各原因信号のリレーが一斉に無励磁になったことが考えられる。

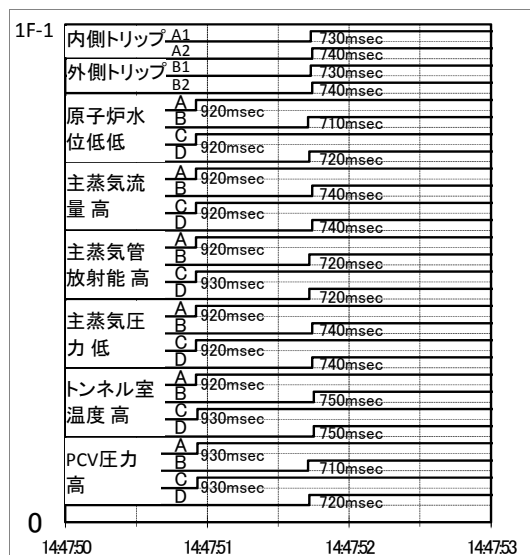


Fig.12 The cause signal of MSIV closing (1F-1)

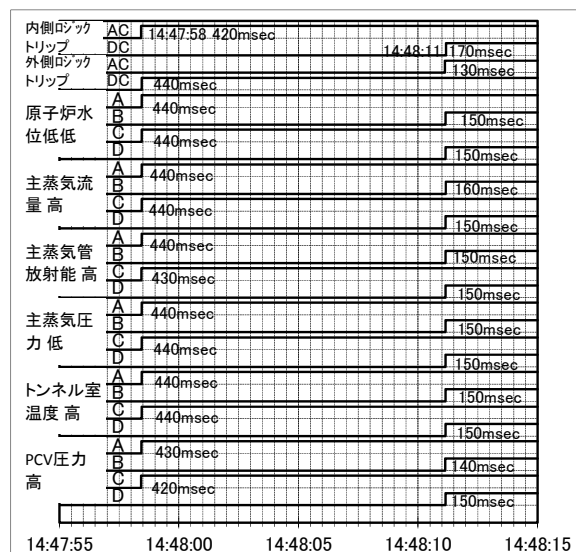


Fig.13 The cause signal of MSIV closing (1F-3)

- ② MSIV 閉鎖論理は原子炉保護系 (RPS) の電源を使用しているが、MSIV 閉鎖の原因信号が発生とほぼ同時に RPS の原因信号 (中性子束高高、原子炉圧力高、原子炉水位低等[20]のほぼ全数) も発生している点からも電源が喪失したと考えられる。
- ③ RPS の電源の上流は、非常用母線であるが、一旦モーターで発電機を駆動して電源を供給 (MG セット) している。これにより、電源喪失して

も慣性効果ですぐには停電しない。今回は非常用電源の喪失とほぼ同時に電源喪失に至っており、その原因は公開データからは不明であるが、RPS 電源が喪失したことにより MSIV 閉鎖信号が発生し、MSIV が閉鎖したことは確実に判断できる。

5. 「閉じ込める」機能に関する評価

前述の通り、深層防護の第3のレベルでは、非常用炉心冷却系統等により炉心を冷却すると共に、放射性物質は格納容器内に閉じ込めることにより、周辺環境への放射性物質の放出を防止としている。ここでは、後半の格納容器の機密性に関して分析・評価する。

Fig.14, Fig.15, Fig.16 に 1F-1、1F-2 及び 1F-3 のスクラム後の格納容器圧力の記録計チャート[21][22][23]を示す。各プラントとも、スクラム後は僅かな圧力ではあるが単調に増加をしている。これは、外部電源喪失により常用母線から電源が供給されているドライウェルクーラーが停止したため格納容器内の温度が上昇したために、格納容器圧力も上昇したものと考えられる。

仮に地震により格納容器が損傷していた場合には、格納容器圧力は大気圧と同じとなり、前記のような圧力上昇は見られない。各プラントで見られるように、格納容器圧力が立つこと自体が格納容器の健全性を示している。

なお、各プラントとも 15:40 頃に津波来襲の影響でチャート送りが停止している。各図にはこの付近のチャートを拡大して示すが、信号の線が膨らむ等チャート送りは停止したものの格納容器圧力信号は暫くは生きていたこと、且つ津波来襲後暫くは大幅な上昇が見られないことを示している。

温度上昇によりどの程度の圧力上昇が見込まれるか検討する。

理想気体の状態方程式は次の通りである。

$$PV=nRT \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

P : 気体の圧力[Pa]、 V : 気体が占める体積[m³]、

n : 気体の物質質量 ([モル数])、

R : 1モルの気体定数

$$=8.314472(75)[\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}],$$

T : 気体の絶対温度[°K]

ここで、格納容器にあてはめ、初期状態（原子炉

スクラム時)をサフィックス₀、津波来襲直前状態(チャート送り停止時(15:40 前後))をサフィックス₁とすると、

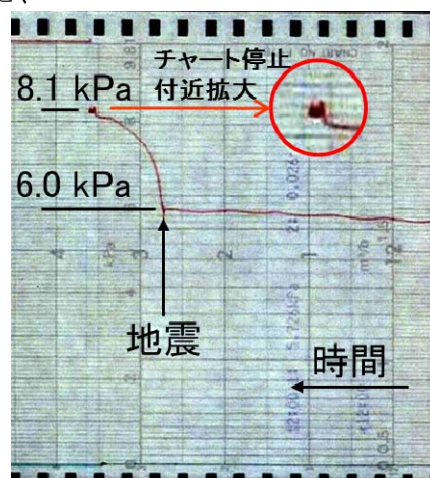


Fig.14 1F-1 PCV Pressure change during the period from the earthquake to the tsunami

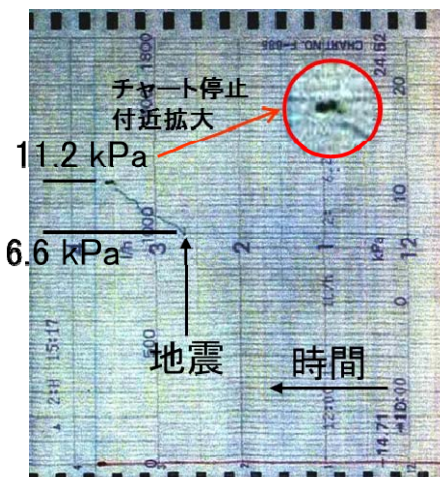


Fig.15 1F-2 PCV Pressure change during the period from the earthquake to the tsunami

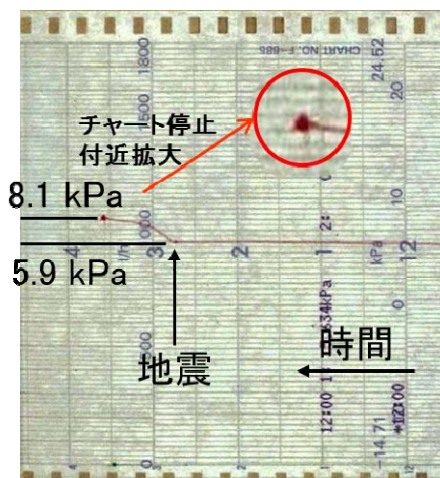


Fig.16 1F-3 PCV Pressure change during the period from the earthquake to the tsunami

地震前 : $P_0V_0=nRT_0$ …… ②

津波来襲直前 : $P_1V_1=nRT_1$ …… ③

両式のそれぞれの辺を除すると、

$$\frac{P_0V_0}{P_1V_1} = \frac{T_0}{T_1} \dots\dots ④$$

従って、

$$P_1=P_0 (V_0/V_1) (T_1/T_0) \dots\dots ⑤$$

温度変化が小さいので格納容器の体積はほとんど同じとすると、

$$P_1=P_0 (T_1/T_0) \dots\dots ⑥$$

となり、格納容器が機密な場合の温度変化より格納容器圧力の変化が推定できる。

Table 2～Table 4 に各プラントの温度変化[24] [25] [26]よりの納容器圧力の推定値を示す。なお、温度変化はドライウェルクーラー戻り温度の平均値を使用した。

Table 2～Table 4 より、格納容器内温度変化からの格納容器圧力の推定値と実測値とはほぼ同じである。

格納容器圧力の変化要因としては、高温高压の一次冷却材の漏洩による圧力上昇、高压窒素等の漏洩による圧力上昇等が考えられるが、いずれの場合も圧力上昇が継続するが、記録ではチャート送り停止後もこのような上昇は見られず、他の要因による影響はなかったと考えられる。

Table 2 PCV Pressure Estimated from the actual temperature change data (1F-1)

	初期値	津波来襲時
Return air DUCT HVH-12A	43.2 °C	53.4 °C
Return air DUCT HVH-12B	50.1 °C	55.8 °C
Return air DUCT HVH-12C	47.4 °C	54.4 °C
Return air DUCT HVH-12D	44.1 °C	54.4 °C
Return air DUCT HVH-12E	49.5 °C	55.1 °C
平均値	46.9 °C	54.6 °C
PCV圧力実測値	6.0 kPag	8.1 kPag (106.2 kPaa)
PCV圧力計算値	-	8.5 kPag (106.6 kPaa)

初期値:スクラム時 津波来襲時:チャート送り停止時(15:40前後)

Table 3 PCV Pressure Estimated from the actual temperature change data (1F-2)

	初期値	津波来襲時
戻り空気ドライウェルクーラー HVH-16A	49.7 °C	68.5 °C
戻り空気ドライウェルクーラー HVH-16B	46.1 °C	60.3 °C
戻り空気ドライウェルクーラー HVH-16C	46.5 °C	56.6 °C
戻り空気ドライウェルクーラー HVH-16D	49.7 °C	56.6 °C
戻り空気ドライウェルクーラー HVH-16E	49.7 °C	56.6 °C
平均値	48.3 °C	59.7 °C
PCV圧力実測値	6.6 kPag	11.2 kPag (109.3 kPaa)
PCV圧力計算値	-	10.3 kPag (108.4 kPaa)

初期値:スクラム時 津波来襲時:チャート送り停止時(15:40前後)

Table 4 PCV Pressure Estimated from the actual temperature change data (1F-3)

	初期値	津波来襲時
格納容器空調戻り空気温度A	50.3 °C	51.0 °C
格納容器空調戻り空気温度B	51.4 °C	54.8 °C
格納容器空調戻り空気温度C	49.2 °C	50.0 °C
格納容器空調戻り空気温度D	50.3 °C	52.8 °C
格納容器空調戻り空気温度E	53.6 °C	55.5 °C
平均値	51.0 °C	52.8 °C
PCV圧力実測値	5.9 kPag	8.1 kPag (106.2 kPaa)
PCV圧力計算値	-	6.5 kPag (104.6 kPaa)

初期値:スクラム時 津波来襲時:チャート送り停止時(15:40前後)

6. 結論

以上の分析評価より次のことが判明した。

- ①各プラントは地震加速度大の信号で原子炉スクラムしており、確実に停止している。
- ②所内電源は、外部電源喪失したものの、津波来襲の影響を受けるまでは非常用DGにより確保されていた。
- ③MSIVは自動閉しているが、原因はMSIV論理回路の電源が喪失したことであり、実際にMSIVを閉する必要がある状態(主蒸気流量高、MSトンネル室温度高等)が生じたわけではなかった。
- ④各プラントの格納容器は津波来襲の影響を受けるまでは健全性を維持しており、格納容器圧力の上昇の主要因はドライウェルクーラーが停止して格納容器内の温度が上昇した可能性が高い。

なお、東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調)、福島原発事故独立検証委員会(民間事故調)、東京電力福島原子力事故調査報告書(東電最終報告)の結論と本評価の結論を比較した。以下に示すように、本評価とほぼ同様の結論であるが、本評価のように異種のデータを同一時間軸に合わせての評価は行われていない。本評価はこれら事故調の結論を更に強固にするものと考えられる。

- ・政府事故調報告書[27]では、原子炉圧力容器、格納容器、非常用復水器(IC)、原子炉隔離時冷却系、高压注入系等の主要設備被害状況を検討している。津波到達前には停止機能は動作し、主要設備の閉じ込め機能、冷却機能を損なうような損傷はなかったとしており、本評価と同様な結論を得ている。しかしながら、その分析に

においてはトリップシーケンスの打ち出しリスト、過渡現象記録装置のグラフ、記録計のチャートそのものが使われており、時間軸を合わせての議論はされていない。

- ・民間事故調報告書[28]では、津波来襲前に関して、地震により自動停止し未臨界を維持したこと、外部電源を喪失したがEDGにより電源は回復したこと、その間にフェールセーフが働きMSIVが閉止したこと等本評価と同様の結論が述べられている。根拠に関してはIAEAへの報告書、政府事故調の中間報告書、東電等が公開した資料によるとの記載があるのみである。
- ・東電最終報告書[29]では、1F-1～1F-3について地震による自動停止と、自動停止から津波来襲までの動きに分けて評価している。前者は各プラントとも地震により正常にスクラムしたこと、外部電源喪失したがEDGにより電圧を回復したこと、EDG起動までの間に原子炉保護系電源喪失しMSIVが自動閉じたこと等本評価と同様の結論を得ている。また、後者に関しては格納容器圧力温度がゆるやかに上昇していること、床サンプ水位は一定であること等から配管等の破断はなかったと推定しているが、本評価に見られる定量的な評価はしていない。また、根拠も同じ時間軸で比較する等はされていない。

以上より、地震発生から津波来襲の影響を受ける前までは、各プラントとも「止める」機能・「閉じ込める」機能は維持されており、地震によるこれら安全機能への影響は特段発生していなかったと判断できる。

参考文献

- [1] 東京電力株式会社“東北地方太平洋沖地震発生時の福島第一原子力発電所プラントデータについて”
<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/index10-j.html> よりダウンロード可能)
- [2]参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①アラームタイパー”
- [3]参考文献[1]の“6. 過渡現象記録装置データ”
- [4]参考文献[1]の“2. チャート”
- [5]参考文献[1]の“4. 運転日誌等”
- [6]参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①アラームタイパー 1号機”

アラームタイパー 1号機”

以下、グラフ作成に使用した箇所を示す。なお、本資料には頁数が付いていないため、引用頁数は、章毎にプラント別にダウンロードしたpdfファイルの頁数で示す。(以下同じ。)

- ・原子炉スクラム信号A：4頁の下から25行目
- ・原子炉スクラム信号B：4頁の下から23行目
- ・地震トリップA：4頁の下から20行目
- ・地震トリップB：4頁の下から24行目
- ・地震トリップC：4頁の下から26行目
- ・地震トリップD：4頁の下から19行目

[7] 参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①アラームタイパー 3号機”

- ・原子炉スクラム信号A：2頁の下から14行目
- ・原子炉スクラム信号B：3頁の上から5行目
- ・地震トリップA：3頁の下から28行目
- ・地震トリップB：3頁の下から32行目
- ・地震トリップC：2頁の下から15行目
- ・地震トリップD：3頁の上から4行目

[8] 参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①アラームタイパー 1号機” 4頁の下から15行目

[9] 参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①アラームタイパー 3号機” 4頁の下から5行目

[10]参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①アラームタイパー 2号機”

- ・地震トリップ：4頁の上から16、17、19、20行目
- ・全制御棒全挿入：15頁の上から1行目

[11]参考文献[1]の“6. 過渡現象記録装置データ 1号機” 2頁の一番上のグラフ (スクラム信号A、Bについては[6]参照)

[12]参考文献[1]の“6. 過渡現象記録装置データ 3号機” 14頁の一番上のグラフ (スクラム信号A、Bについては[7]参照)

[13]参考文献[1]の“6. 過渡現象記録装置データ 2号機” 1頁の一番上のグラフ

[14] 参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①アラームタイパー 1号機”

- ・原子炉スクラム信号A、B：[7]参照
- ・タービン振動大トリップ：5頁の上から32行目、8頁の下から27行目、25行目、23行目

- ・タービン手動トリップ：5 頁の上から 34 行目
 - ・1A 母線電圧喪失：5 頁の下から 2 行目
 - ・1B 母線電圧喪失：5 頁の下から 4 行目
 - ・1C 母線電圧喪失：7 頁の下から 3 行目
 - ・EDG1A 受電遮断機：8 頁の上から 22 行目
 - ・1D 母線電圧喪失：8 頁の上から 18 行目
 - ・EDG1B 受電遮断機：8 頁の上から 20 行目
- [15] 参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ① アラームタイパー 3号機”
- ・原子炉スクラム信号 A, B：[8]参照
 - ・タービン振動大トリップ：10 頁の上から 23 行目、25 行目、26 行目、27 行目、29 行目、13 頁の上から 4 行目、7 行目、13 頁の下から 6 行目、5 行目、4 行目
 - ・タービン手動トリップ：7 頁の上から 13 行目、10 頁の上から 8 行目
 - ・3A 母線電圧喪失：9 頁の下から 3 行目、10 頁の上から 5 行目
 - ・3B 母線電圧喪失：9 頁の下から 7 行目、10 頁の上から 2 行目
 - ・3C 母線電圧喪失：10 頁の上から 30 行目、11 頁の上から 20 行目
 - ・EDG3A 受電遮断機：11 頁の上から 19 行目
 - ・3D 母線電圧喪失：11 頁の下から 18 行目、13 頁の上から 6 行目
 - ・EDG3B 受電遮断機：13 頁の上から 5 行目
- [16] 参考文献[1]の“6. 過渡現象記録装置データ 2号機”
- ・2C 母線電圧喪失：13 頁の一番上のグラフ
 - ・EDG2A 受電遮断機：
13 頁の上から 3 番目のグラフ
 - ・2D 母線電圧喪失：13 頁の上から 2 番目のグラフ
 - ・EDG2B 受電遮断機：13 頁の一番下のグラフ
- [17] 参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ① アラームタイパー 1号機” 16 頁下から 3 行目
- [18] 参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ① アラームタイパー 1号機”
- ・MSIV 内側トリップ A1：7 頁の下から 37 行目
 - ・MSIV 内側トリップ A2：7 頁の下から 31 行目
 - ・MSIV 外側トリップ B1：7 頁の下から 35 行目
 - ・MSIV 外側トリップ B2：7 頁の下から 29 行目
 - ・原子炉水位低低 A：6 頁の上から 24 行目
 - ・原子炉水位低低 B：7 頁の下から 19 行目
 - ・原子炉水位低低 C：6 頁の上から 20 行目
 - ・原子炉水位低低 D：7 頁の下から 25 行目
 - ・主蒸気流量 高 A：6 頁の上から 22 行目
 - ・主蒸気流量 高 B：7 頁の下から 27 行目
 - ・主蒸気流量 高 C：6 頁の上から 30 行目
 - ・主蒸気流量 高 D：7 頁の下から 21 行目
 - ・主蒸気管放射能 高 A：6 頁の上から 28 行目
 - ・主蒸気管放射能 高 B：7 頁の上から 16 行目
 - ・主蒸気管放射能 高 C：6 頁の下から 27 行目
 - ・主蒸気管放射能 高 D：7 頁の上から 24 行目
 - ・主蒸気圧力 低 A：6 頁の上から 16 行目
 - ・主蒸気圧力 低 B：7 頁の下から 23 行目
 - ・主蒸気圧力 低 C：6 頁の上から 18 行目
 - ・主蒸気圧力 低 D：7 頁の下から 33 行目
 - ・トンネル室温度 高 A：6 頁の上から 14 行目
 - ・トンネル室温度 高 B：7 頁の下から 17 行目
 - ・トンネル室温度 高 C：6 頁の下から 31 行目
 - ・トンネル室温度 高 D：7 頁の下から 15 行目
 - ・PCV 圧力 高 A：6 頁の下から 19 行目
 - ・PCV 圧力 高 B：7 頁の上から 12 行目
 - ・PCV 圧力 高 C：6 頁の下から 11 行目
 - ・PCV 圧力 高 D：7 頁の上から 34 行目
- [19]参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ① アラームタイパー 3号機”
- ・MSIV 内側ロジックトリップ AC：
10 頁の下から 25 行目
 - ・MSIV 内側ロジックトリップ DC：
12 頁の下から 7 行目
 - ・MSIV 外側ロジックトリップ AC：
11 頁の下から 13 行目
 - ・MSIV 外側ロジックトリップ DC：
11 頁の上から 6 行目
 - ・原子炉水位低低 A：10 頁の下から 9 行目
 - ・原子炉水位低低 B：11 頁の下から 11 行目
 - ・原子炉水位低低 C：10 頁の下から 7 行目
 - ・原子炉水位低低 D：11 頁の下から 5 行目
 - ・主蒸気管流量 高 A：10 頁の下から 5 行目
 - ・主蒸気管流量 高 B：12 頁の上から 10 行目
 - ・主蒸気管流量 高 C：10 頁の下から 4 行目
 - ・主蒸気管流量 高 D：11 頁の下から 3 行目
 - ・主蒸気管放射能 高 A：10 頁の下から 11 行目
 - ・主蒸気管放射能 高 B：12 頁の上から 4 行目

- ・主蒸気管放射能 高 C：10 頁の下から 15 行目
 - ・主蒸気管放射能 高 D：11 頁の下から 4 行目
 - ・主蒸気管圧力 低 A：10 頁の下から 10 行目
 - ・主蒸気管圧力 低 B：11 頁の下から 6 行目
 - ・主蒸気管圧力 低 C：11 頁の上から 5 行目
 - ・主蒸気管圧力 低 D：12 頁の下から 10 行目
 - ・トンネル室温度 高 A：10 頁の下から 1 行目
 - ・トンネル室温度 高 B：12 頁の下から 8 行目
 - ・トンネル室温度 高 C：11 頁の上から 1 行目
 - ・トンネル室温度 高 D：11 頁の下から 9 行目
 - ・PCV 圧力 高 A：10 頁の下から 13 行目
 - ・PCV 圧力 高 B：11 頁の下から 13 行目
 - ・PCV 圧力 高 C：10 頁の下から 20 行目
 - ・PCV 圧力 高 D：11 頁の下から 10 行目
- [20]参考文献[1]の“3. 警報発生記録等データ ①
アラームタイパー 1号機及び3号機”
- 1F-1 中性子束高高：6 頁上から 10、12 行目
 - 1F-1 原子炉圧力高：6 頁上から 26、32 行目
 - 1F-1 原子炉水位低：6 頁上から 34、38 行目
 - 1F-3 中性子束高高：11 頁上から 9、10 行目
 - 1F-3 原子炉圧力高：10 頁下から 8、17 行目
 - 1F-3 原子炉水位低：10 頁下から 2、3 行目
- [21]参考文献[1]の“2. チャート 1号機” 9 頁
- [22]参考文献[1]の“2. チャート 2号機” 11 頁
- [23]参考文献[1]の“2. チャート 3号機” 21 頁
- [24]参考文献[1]の“2. チャート 1号機” 32 頁
- [25]参考文献[1]の“2. チャート 2号機” 47 頁
- [26]参考文献[1]の“2. チャート 3号機” 50 頁
- [27] 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会最終報告書：本文編 28～40 頁、資料編資料 II-1-1 主要施設、設備の被害状況に関する検証結果報告 3～14 頁、42～43 頁、51～55 頁、58～70 頁、102～103 頁、136～138 頁、145～146 頁、148～155 頁、201～202 頁、217～218 頁、219～220 頁、
- [28] 福島原発事故独立検証委員会 調査・検証報告書：22～24 頁，2012
- [29] 東京電力 福島原子力事故調査報告書：84～90 頁，2012

(平成 24 年 9 月 18 日)