

東京電力「東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所運転記録及び
事故記録の分析と影響評価について」に関する評価について

平成 23 年 5 月 24 日
原子力安全・保安院

1. 原子力安全・保安院は、平成 23 年 4 月 25 日付文書をもって、東京電力に対し、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「原子炉等規制法」という）第 67 条第 1 項に基づき、東京電力福島第一原子力発電所の事故に係る運転記録及び事故記録に関する報告を命じたところ、東京電力から 5 月 16 日付で中央操作室等から回収した記録等の報告があった。
2. 原子力安全・保安院は、当該報告を踏まえ、5 月 16 日付文書をもって、東北地方太平洋沖地震発生前後の記録の分析結果を踏まえた原子炉施設の安全性への影響の評価結果についての報告を東京電力に指示したところ、昨日（23 日）、報告があった。
3. 5 月 16 日付報告を踏まえた 5 月 23 日付報告に関する留意点及び原子力安全・保安院の評価は別紙のとおり。
4. なお、炉心の状態に関する解析評価については、原子力安全・保安院としての評価に時間を要することから、評価が終了次第、とりまとめる予定。

5月16日付報告及び5月23日付報告に関する概要
及び原子力安全・保安院の評価について

東京電力から提出のあった5月16日付及び5月23日付の報告に基づき、地震発生直前から津波到来時までのデータを中心として、プラント状況等を評価すると、以下のとおり。

1. 地震直前のプラント状況

東京電力は、プラントの地震直前の状態として、運転中の1～3号機は定格運転中、4～6号機は定期検査中。使用済燃料プール水位は1～6号機及び共用プールとも満水、水温は24～34℃と通常状態であったと説明している。

原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）は、これらについて、5月16日付報告データにより確認した。

2. 自動停止

東京電力は、1～3号機は14:46～47に地震によりスクラム（自動停止）、14:47に全ての制御棒が全挿入されたとしている。

保安院は、1～3号機が地震により正常に自動停止したことを5月16日付報告データにより確認した。

3. 自動停止後の原子炉の挙動

(1) 原子炉水位

自動停止後の1～3号機の原子炉水位について、東京電力は、スクラム直後はボイド（水中の微細な気泡）がつぶれたことにより原子炉水位は低下したが、非常用炉心冷却系の自動起動レベルにいたることなく回復した。その後、1号機及び2号機では通常水位レベルとなったこと、3号機では水位の低下は見られるものの有効燃料頂部より約4m以上上に設定された通常運転時の水位域である狭帯域のレンジに維持されていると説明している。

保安院は、これらの点については、原子炉水位はスクラムによる低下後回復したことを5月16日付報告データにより確認した。

(2) 主蒸気配管破断警報の発報

5月16日付報告データでは、1～3号機の警報発生記録データにおいて、主蒸気隔離弁閉鎖に前後して主蒸気配管の破断等に関連する隔離信号が打ち出されて

いる。このことについて、東京電力は、過渡現象記録装置の記録では、主蒸気配管の主蒸気流量が0であり、その過程において配管破断による蒸気流量の増大等は見られていないとして、主蒸気配管破断は実際には発生せず、外部電源喪失による計器電源が失われたことでフェールセーフにより閉鎖信号が発信したことによる警報打ち出しであると説明している。

保安院としては、主蒸気配管が破断した場合に観測される主蒸気流量の増大が5月16日付報告データにより確認できないことから、主蒸気配管破断は実際には発生していないとの東京電力の判断には合理性があるものとする。

(3) 原子炉温度・圧力制御

①主蒸気隔離弁の閉止

5月16日付報告データでは、1号機～3号機において14:47～48に主蒸気隔離弁（MSIV）が閉止したことを確認した。このことについて、東京電力は、外部電源が喪失したことによる動作としており、MSIVの閉止に伴い、崩壊熱による蒸気の発生により、原子炉圧力が上昇したとしている。

保安院としては、MSIVが閉止し、閉じ込め機能が正常に動作したことを5月16日付報告データにより確認した。

②減圧・注水措置

1) 1号機

1-1) 非常用復水器

1号機では、5月16日付報告データにより、原子炉圧力の上昇に伴い、非常用復水器（IC）のA系及びB系の両系統が14:52に自動起動したが、15:03頃に停止したことがわかる。

この理由として東京電力は、ICの操作については、ICの操作手順書において原子炉圧力容器温度降下率が55°C/hを超えないよう調整することが求められていることを踏まえた手動停止動作であること、また過渡現象記録装置のデータによりICのA、B両系の停止時間が若干ずれていることから手動操作であると説明している。

保安院としては、ICの手動操作による温度降下率の調整は、上記手順書に則った操作であったものとする。

また、チャートによると、15:10頃から15:30頃の間で3回、原子炉圧力が上下している。これについて東京電力は、細かな圧力制御を行うため、ICのA系のみを用いて手動操作を行った旨説明している。

ICの手動操作である場合、ICによって蒸気が凝縮・冷却され、冷水として原子炉再循環系により原子炉内に戻っていく。再循環ポンプ（PLRポンプ）

入り口温度チャートでは、3回の温度低下が見られることから、東京電力の説明にもあるとおり、保安院としても IC 手動操作の影響と考える。

保安院としては、これらの点を踏まえると、15:10 頃から 15:30 頃の間 IC の手動操作が3回行われたものとする。

東京電力によれば、津波後 IC の A 系の弁を開操作した記録が残されているが、弁の回路調査結果等によると、その開度は明確にはわからないことから、IC がどの程度機能していたかについては現時点では判断できないとしている。

1-2) 格納容器スプレイ系

5月16日付報告データにより15:07頃及び15:10頃に格納容器スプレイ系 B 及び A が起動したことを確認した。

東京電力は、格納容器圧力抑制室の冷却を行ったものとしており、5月16日付報告データにより、原子炉格納容器圧力と圧力抑制室の差圧の増大や圧力抑制室温度の若干の低下が確認できたことから、この説明には合理性があるものと考えられる。

1-3) 注水停止期間

5月16日付報告データを基に、注水停止期間を評価すると、以下のとおり。

- ・注水停止時刻 11日15:37 (全交流電源喪失時刻)
- ・注水再開時刻 12日05:46 (淡水注水開始時刻)
- ・注水停止時間 14時間9分

2) 2号機

2-1) 原子炉隔離時冷却系

2号機では、5月16日付報告データにより、14:52以降、断続的に逃がし安全弁(SR弁)が開閉動作を行ったこと、また14:50頃に原子炉隔離時冷却系(RCIC)が1分程度起動、15:02頃から15:28頃まで連続的に稼働していることが確認できる(以上、過渡現象記録装置データ)。また、その後、15:28頃のRCIC停止による原子炉水位低下のため、15:39にRCICが再起動していることが確認できる(プロセス計算機履歴データ)。

これらについて東京電力は、SR弁の作動はMSIV閉鎖に伴う原子炉圧力の制御のためと説明している。また、RCICについて、14:50に手動起動したが、スクラム及びMSIV閉止等の影響による水位の過渡的な変動の中、14:51に原子炉水位高により自動停止した。また、15:02にRCIC停止に伴う水位低下に対応するために手動起動させ、15:28に原子炉水位高となったため自動停止

したと説明している。さらに、15:39 についても、RCIC の停止に伴う水位低下に対応するため、手動で起動させたと説明している。

以上で RCIC 稼働を直接示すデータは終了しているが、「水位・圧力に関するパラメータ」によれば、3 月 14 日 11:30 までは原子炉水位は有効燃料頂部 (TAF) に対して十分余裕のあるレベルで安定した後、低下傾向を示し、同日 16:20 には 0mm (TAF; 有効燃料頂部) まで低下していることがわかる。東京電力はこれについて、3 月 12 日 02:55 には RCIC の作動を現場で確認したこと、また、RCIC の水源を復水貯蔵タンクから圧力制御室に切り替えたことなどにより、14 日 12 時頃まで RCIC は機能し原子炉水位維持を図っていたが、同日 13:25 に機能を喪失している可能性があるかと判断し、原子力災害対策特別措置法第 15 条に基づく通報を行っている。

RCIC は蒸気駆動であるがその弁の稼働は直流電源によるものである。東京電力が判断した RCIC の機能喪失時刻は稼働開始時から 30 時間以上が経過しているが、バッテリー容量上の制約が存在することを併せて考えると、当該バッテリーが枯渇した後も機能していたということであり、保安院としては、この点につき、改めて検証する必要があると考える。

2-2) 残留熱除去系ポンプ

5 月 16 日付報告データによると、11 日 15 時頃から、残留熱除去ポンプ (RHR ポンプ) が起動していることが確認できる。

これについて東京電力は、RCIC や SRV の作動による圧力抑制室 (S/C 室) 温度が上昇したことに伴い同室の水冷却を行ったためとしている。

このことは、5 月 16 日付報告データの S/C 室温度チャートから、同日 15 時過ぎから 15:20 過ぎまで温度上昇が抑制されていることがわかる。その後、15:30 過ぎから再度温度が上昇する傾向が見受けられるが、15:36 頃から RHR ポンプは稼働を順次停止している。これについて東京電力は、津波による機能喪失と説明している。

また、5 月 16 日付報告データでは、RCIC 以外の非常用炉心注入設備の稼働は確認されていない。これについて東京電力は、地震発生から全交流電源喪失 (11 日 15:41) までの間は非常用炉心冷却系は原子炉水位が自動起動レベル (L-2) まで低下していないことから自動起動はせず、手動起動もしていないとしている。

保安院としては、以上のような RHR ポンプの稼働状況についての東京電力の説明は、合理性を有するものと考ええる。

2-3) 注水停止期間

5月16日付報告データ等を基に、注水停止期間を評価すると、以下のとおり。

- ・注水停止時刻 14日13:25 (RCIC機能喪失時刻)
- ・注水再開時刻 14日19:54 (海水注水開始時刻)
- ・注水停止時間 6時間29分

3) 3号機

3号機は、125V直流母線が津波の被害を受けていなかったことから、他号機と比較してプラントデータが長時間記録されており、他号機より長期間について評価が可能となっている。

3-1) 原子炉隔離時冷却系と圧力推移

5月16日付報告データでは、11日15:05(当直日誌では15:06)にRCICが手動起動し、15:28に原子炉水位高により停止している(警報記録計)。この後、RCIC停止に伴う水位低下により、16:03に再度RCICが起動し、12日11:36に停止した旨が当直引継日誌に記録されている。

なお、12日11:36のRCICが停止した理由については、当該RCICの機能喪失時刻が稼働開始時から20時間以上経過しており、弁操作のためのバッテリーが枯渇している可能性が高いが、この時点で停止した理由は不明である。

原子炉圧力の推移について、5月16日付報告データでは、原子炉圧力は7~7.5MPaでほぼ安定的に推移してきたが、12日9時頃から変動幅が大きくなるようになり、12:30頃から19時頃まで6MPa以上低下したことがわかる。この点について、東京電力は、12日12時頃に機器の運転状態等に何らかの変化があったと考えられると説明している。

保安院としては、東京電力は、その分析を継続していく必要があると考える。

3-2) 高圧炉心注入系と圧力推移

5月16日付報告データでは、炉心水位低(L-2)により高圧炉心注水系(HPCI)が12日12:35に自動起動し、13日02:42に停止していたことがわかる(当直引継日誌)。また、この際、プラント関連パラメータには水位の記載がなく、炉心水位が不明な中で、炉心注入系が停止したこととなる。

なお、HPCI停止後1時間以上後の03:51、水位計電源が回復し、燃料域で-1600mm(TAF-1600mm)であることが判明した(当直引継日誌)。

HPCIの停止理由として、東京電力は、原子炉圧力が低下したことが理由

であるとしている。

5月16日付報告データでは、原子炉圧力は12日19時頃から1MPa前後で安定していたが、13日02時頃から02:30頃に一旦低下し、その後同日04時過ぎまでに7MPaまで上昇している。この圧力変化の初期にはHPCIは稼働していたが、その稼働停止に伴い原子炉圧力が急上昇した可能性がある。

その後、同日09時前に0MPa近くまで急激に圧力が減少している。東京電力はSR弁による急速減圧によるものと説明している。

保安院としては、この圧力の大きな変動の要因について、今後解析等により明らかにする必要があると考える。

3-3) その他炉心注入系

5月16日付報告データでは、RCIC、HPCI以外の非常用炉心冷却設備の稼働は確認できない。東京電力によると、使用済燃料プールの冷却については、地震後の外部電源喪失の時点で停止されたとしている。

また、東京電力は、非常用ディーゼルからの給電により残留熱除去系ポンプを用いた炉心及び使用済燃料プールの冷却は、津波による全交流電源喪失による駆動電源の喪失及び同ポンプの冠水により使用できなかったためと説明している。

3-4) 注水停止期間

5月16日付報告データ等を基に、注水停止期間を評価すると、以下のとおり。

- ・注水停止時刻 13日02:42 (HPCI停止時刻)
- ・注水再開時刻 13日09:25 (淡水注水開始時刻)
- ・注水停止時間 6時間43分

4) 4号機

4号機は定期検査中であり、地震発生時には燃料は炉内ではなく使用済燃料プールに取り出されていた。

5月16日付報告データでは、使用済燃料プールの状態については、原子炉側でシュラウド切断作業が実施されていたことから、プールゲート(原子炉ウェルと使用済燃料プールの間仕切り板)が閉じられた状態で、満水状態であったことがわかっている(当直引継日誌)。

5) 5号機

5号機は定期検査中であつたが原子炉には燃料が装荷されており、地震発生時には原子炉圧力容器の耐圧漏えい試験を実施していたことを確認した。

5-1) 圧力容器耐圧漏えい試験と減圧処理

東京電力によると、地震発生時は圧力容器の耐圧漏えい試験のために、原子炉圧力を7.2MPaに昇圧・保持している状態であつたが、地震発生後、電源喪失により試験のため加圧していた機器の停止により原子炉圧力が一時的に低下した。その後は崩壊熱により緩やかに上昇し、8MPa程度の原子炉圧力を4時間以上保持した後、12日06:06に原子炉圧力容器頂部の弁の開操作により減圧を実施した。以上の圧力変動は5月16日付報告データにより確認できる。

5-2) 非常用電源の回復による注水

東京電力によると、減圧後も緩やかに原子炉圧力は上昇したが、6号機非常用ディーゼル発電機からの給電により5号機復水移送ポンプが稼働、SR弁の開操作と復水移送ポンプによる原子炉への補給操作を繰り返し、原子炉圧力と水位を制御した、としている。

保安院としては、これらの操作により、原子炉圧力と水位を適切に制御したと考える。

5-3) 冷温停止

19日に残留熱除去系による冷却のための仮設海水ポンプを起動し、原子炉と使用済燃料プールの冷却を交互に行うことにより、20日14:30に原子炉は冷温停止に至つたとしている。

6) 6号機

東京電力によると、地震時は定期検査中であり、原子炉には燃料が装荷され、圧力容器上蓋がボルトで締め付けられた状態であつた。

6-1) 圧力・水位制御

6号機は津波の影響により非常用ディーゼル発電機2機が機能を喪失したものの、1機(空冷式)は運転を継続した。これにより、外部電源喪失後も復水移送ポンプの稼働が可能であつた。

東京電力によると、地震発生後、原子炉圧力は崩壊熱により上昇するが、5号機と比べて上昇は緩やかであり、SR弁による減圧と復水移送ポンプにより原子炉へ補給操作を繰り返し、原子炉圧力と水位を制御していたとしている。

保安院としては、これらの操作により、原子炉圧力と水位を適切に制御したと考える。

6-2) 冷温停止

東京電力によると、19日に残留熱除去系による冷却を行うために仮設の海水ポンプを起動し、原子炉と使用済燃料プールの冷却を交互に行い、20日19:27に原子炉は冷温停止に至ったとしている。

4. 使用済燃料プール

東京電力によると、1～6号使用済燃料プール及び共用プールについては、外部電源から給電される燃料プール冷却ポンプ等により冷却がなされていたが、外部電源喪失に伴い、ディーゼル発電機からの給電を受ける残留熱除去系等を利用することが可能であった。

しかしながら、当該切り替えには現場操作が必要であり、津波到達前に起動するには至らなかったとしている。

保安院としては、津波到達前には、冷却機能に問題はなかったと考える。

5. 非常用発電機の稼働

5月16日付報告データでは、原子炉から燃料を取り出していた4号機以外の全ての号機において、非常用ディーゼル発電機が外部電源喪失により自動起動したことを確認した。

4号機については、定期検査中でありプロセス計算機や過渡現象記録装置の取り替え作業中であったことから、非常用ディーゼル発電機の起動に関する記録は存在しない。しかし、燃料油タンクレベルの低下が確認されていることや非常用ディーゼル発電機から給電される原子炉建屋補機冷却系等の負荷が運転されていることから、非常用ディーゼル発電機1機（他の1機は点検中）は起動したと推定できる。

保安院としては、東京電力福島第一原子力発電所全号機において外部電源喪失に対応して、定期検査で点検中の4号機の1機を除く全ての非常用ディーゼル発電機が自動起動したと考えることが妥当である。

6. 外部への放射性物質の漏洩

各号機とも、排気筒放射線モニタについては、地震による原子炉スクラム後にノイズはあったものの、津波までの間、異常は認められない。

3号機及び5号機については、12日午前5時頃より一時的に緩やかな指示値の上昇が見られる。これについて東京電力は、3号機及び5号機において同じ時刻における上昇であること、両号機とも同時刻において原子炉水位は燃料冠水レベル以上に維持されていたと考えられることから、他号機による構内の線量上昇の影響を受けた指示

値の上昇としている。

保安院としては、地震による外部への放射性物質の漏えいはないと考える。

7. 主要安全系設備の地震・津波による被害

東京電力では、プラントパラメータ、中央制御室での警報実績等から、スクラム時、津波直前まで及び津波後における、非常用炉心冷却系等の機器や所内電気設備の被害状況を取りまとめた。なお、一部、機器の動的機能維持確認済加速度と今般の地震による最大加速度を比較した結果による健全性の推定も含まれている。

東京電力は、地震による被害が判明している機器として、1号機純水タンクのフランジ部からの純水の漏えい、2号機電気ボイラー（暖房用、液体廃棄物減容用途）からの非放射性的の蒸気漏れを確認しているが、非常用炉心冷却系、非常用ディーゼル発電機等の原子炉の健全性を確保する上で重要な機器については、確認できる範囲においては地震による被害は確認できず、津波により機能を喪失したとしている。

このような状況下において、6号非常用ディーゼル発電機のうち空冷式の1機、非常用高圧配電盤、非常用パワーセンター及び125V 直流母線については津波によっても被害が生じず、これらにより5号機及び6号機の冷却設備の稼働が確保され、冷温停止に至った。

保安院としては、今回の評価については、報告徴収により入手したデータに基づく分析によるものであり、今後可能なものについては、建屋への立ち入り調査などを進めることにより、結果を確認していく必要があると考える。

8. まとめ

保安院は、東京電力から提出のあった5月16日付けの報告及び5月23日付けで提出のあった報告に基づき、地震発生直前から、記録が得られている津波到来時までを中心としたデータを分析し、原子炉施設の安全性への影響について評価を行い、以下の諸点を明らかにした。

- (1) 地震発生の直後、運転中の1～3号機については、制御棒が全挿入され、正常に停止した。
- (2) 地震により外部電源が喪失した後、全号機において非常用ディーゼル発電機（定期検査で点検中の4号機の1台を除く）が正常に自動起動し、原子炉の冷却等に必要な機器を稼働させるなど、冷却機能が働いた。
- (3) 1号機の非常用復水器については、自動起動後の原子炉圧力容器の温度変化に応じ、手順書どおりに停止操作を行い、その後、津波の到達まで圧力制御のため手動操作を継続した。

- (4) 2、3号機は、RCICが地震後手動で起動。津波後もしばらくの間起動し続け、その間は原子炉の水位を維持した。炉内の水位などが安定していたため、地震後直ちに非常用炉心冷却系が作動することはなかった。
- (5) 津波の到達により、海水冷却系や配電盤等の電源系が被水・冠水し、また、非常用ディーゼル発電機も機能喪失となり、全交流電源喪失の事態に至った。
- (6) 6号機の非常用ディーゼル発電機1機及び非常用高圧配電盤が津波の被害を免れたので、5号機及び6号機については、原子炉は冷温停止に至り、それぞれの使用済燃料プールの冷却も維持できた。

以上のとおり、地震発生時に各プラントは正常に停止するとともに、地震による外部電源喪失後に非常用ディーゼル発電機は正常に起動した。冷却機能についても、各原子炉の状態に応じた機器が作動し、正常に機能していることがデータ等により確認された。

しかしながら、津波の到達により、全交流電源を失った上に、バッテリー、配電盤等の電源系も被水・冠水したため、電源喪失期間が長期に渡り、現在の深刻な事態に至ることとなった。

保安院としては、東京電力福島第一原子力発電所の状況等を踏まえつつ、東京電力が施設の健全性や故障原因の調査分析を継続して実施することは非常に重要であると考えており、今後の調査の進展により新たに判明した事実等について、東京電力から報告を受け、評価していく。