

## 福島第一原子力発電所の事故にかかる保安調査について

### 1. 調査概要

目的：福島第一原子力発電所の事故発生時における対応状況について実態を把握するため、発電所及び本店の関係者へのインタビューを実施。

日時：平成23年8月4日～19日

場所：東京電力本店及び福島第一原子力発電所

調査対象者：吉田福島第一原子力発電所所長ほか8名（別紙参照）

調査実施者：検査課、事故室、JNES

### 2. 調査結果

以下に、調査対象者からのインタビュー結果と東電公開情報等をもとに把握した事故発生時の対応状況を示す。（ただし、今後のさらなる調査により、以下の示す内容と異なる事実が明らかになる可能性もあり。）

#### (1) 総論

##### ① 体制

アサインされていた参集要員は確保できていたが、参集要員は1プラントの緊急対応を想定したもの。今回のような複数プラント同時に対応するには不十分であった。

特に、電源や計装の復旧に当たる要員が不足していた。メーカー等の協力企業は大津波警報により発電所から退避したため、要請して残ってもらった協力企業の作業員は30名程度と少なかった。このため、東電社員が慣れない現場（資材の保管場所がわからない等）での復旧作業を行った。地震直後から本店に人の追加投入を要請していたが、電源や計装の応援部隊が柏崎刈羽から到着したのは15日であった。

■によると、本店には協力企業も含め応援要請を行い、本店でも協力会社との協議を行っていたが、実際の作業員は地元住民であり、家族が被災している状況では協力は困難であったらうとのこと。

##### ② 事故時対応の全体の流れ

発電所では、地震発生後、原子炉がスクラムし制御棒が全挿入され未臨界を達成したことから、原子炉を「止める」ことは正常に機能。その後、地震により外部電源は喪失したものの、非常用ディーゼル発電機が起動し電源は

確保されていたことから、手順書に沿った冷却動作に入っていた。ただし、電源喪失によりSPDSが使用できなくなり、発電所緊対本部でのプラント状況の把握は著しく困難になった。

そうした時に津波が襲来し、全交流電源が喪失し、かつ多くの直流電源も喪失したため、バッテリー駆動の一部冷却系（IC、RCIC、HPCI）を除き、非常用冷却機能が喪失したことから、アクシデントマネジメント対策として位置づけられている消火系による代替注水を進めた。あわせて、消火系からの代替注水には原子炉圧力の減圧（6～7MPa→1MPa以下）が必要であることから、SRVの開操作及び格納容器ベントの準備も進めた。

また、消火系による注水作業と並行して、非常用冷却系（高圧注水が可能なホウ酸注水系（SLC）と制御棒駆動系（GRD））を作動させるべく電源車を用いた電源の復旧にも努力した。ただし、実際には、爆発による電源車やケーブルの破損等により作業が進まず、消火系からの注水が先行して始まったことから、冷却系を作動させることはできなかった。なお、外部電源については、地震直後の被害状況確認の結果、送電側である変電所や発電所内の受電設備の損傷が激しく復旧には長時間を要することが判明したことから、電源車による電源復旧作業を進めることとした。

### ③所内の情報伝達

交流電源喪失により、所内の通信手段が極めて限定される状態（以下参照）に陥り、緊急対策本部にはプラントパラメータやICの動作状況などの重要情報が適時適切に提供されなかった。

- 例：○プラントパラメータ等の情報を緊対本部に提供するSPDSは使用不能  
○所内PHSは使用不能  
○中操（各号機）と緊対本部（重要免震棟）とは電話回線1本のみ  
○PHSに代わるトランシーバー（所内備品だけでなく、支援物資のものも含め）もノイズがひどくほとんど不能

### ④手順書・マニュアル

シビアアクシデントへの対応としては、複数プラント同時対応、長時間の全電交流電源喪失は想定していなかった。消防車による原子炉への注水などアクシデントマネジメントの手順書にはない措置を応用動作として実施した。

ベントについても、電源があることが前提であり、中操での操作を行うことを想定しており、電源がない中で、現場で弁を開く作業（手作業でレバーを回したり、ポンペやコンプレッサーをつなぎ込んで圧縮空気を送り込んで弁を開ける）は手順が定められているものではなかった。

⑤劣悪な現場：

津波による浸水、断続的に発生する余震、停電による暗闇、爆発後の高線量・がれきの散乱といった劣悪な現場環境により、復旧作業が円滑に進まなかった。また、中操にはマスク、線量計、懐中電灯、水・食料等が不足していたが、大津波警報が継続していたことや、ガレキ等によりアクセスが困難となっていたことから、12日午後までは緊対本部から中操への交代要員の派遣や物資の輸送が行えなかった。

【参考】

○福島県での津波警報・注意報の状況：

- 11日 14:49 大津波警報を発令
- 12日 20:20 大津波警報から津波警報に切替え
- 13日 7:30 津波警報から津波注意報に切替え
- 13日 17:58 津波注意報を解除

○福島県での余震の状況

- 11日 震度6強：1回（＝本震）、震度5強：1回、震度5弱：4回  
震度4：15回
- 12日 震度5弱：1回、震度4：7回
- 13日 震度4：2回

## (2) 各論

### ①電源復旧

- 復旧班で電源盤等の被害状況を確認しほとんどが使用不能と判明したのを受けて電源車が必要と判断したのが11日18時頃。その後電源車の手配を多方面に要請。その直後に自衛隊が電源車を空輸するとのことでヘリポート等の受入準備をしたが、20時頃に重量オーバーで空輸できないとの連絡が入った。
- 電源車の手配について、11日の21時台か23時頃にまず東北電力の電源車が1台到着、その後自衛隊の電源車が3台到着したが、到着時刻は不明。12日3時に東電の電源車8台が到着しており、自衛隊の3台もそれまでには到着していた。(ただ、東北電力と自衛隊の電源車は、つなぎ込む作業員がいなく使用しなかった。東電の電源車にはつなぎ込み作業員が同乗していたので、東電の電源車を使った。)
- 到着した電源車は6000Vの高圧タイプと100Vの低圧タイプ。電源盤(2号機のP/C)への接続しやすさと言う点では480Vの中圧タイプがあれば良かった。(ただし、電源車は基本的に高圧のものか低圧のものしかないとのこと。)
- 高圧電源車が接続できる電源盤を探し、変圧機能が付いている2号機の電源盤(P/C 2C)への接続作業を開始したのが12日未明。その後、作業を進め、高圧注水系としても使用できるホウ酸水注水系(SLC)ポンプにつなぎ込み、まさに各号機で使用開始しようとしていた段階で、1号機の爆発(12日15:36)が発生し、電源車とケーブルが損傷。その後も接続作業を行ったが、消火系からの注水が先行したため、非常時冷却系への給電は実現せず。
- 電気関係及び計装関係の復旧作業に当たる職員が少なく(電気:35名、計装:35名)、絶対的に不足していた。
- 外部電源の復旧作業は15日頃から開始し、19日か20日に東北電力原子力線を接続し受電を再開した。外部電源の復旧には、変電所側の復旧、発電所内の仮設電源盤(メタクラ)の確保が必要であり、津波直後の早急な復旧は不可能な状態であった。仮設電源盤の確保も、メーカーが製造中のものを融通してもらったもの。

### ②消火系を用いた代替注水

- 発電所では、全交流電源喪失により、一部のバッテリー駆動のもの(ICやRCIC)を除き、ほとんどの非常時冷却系が使用不可能な状態になったことから、早い時期(11日17時頃)から消火系を用いた炉心冷却の検討を開始した。

- アクシデントマネジメントの手順書では消火栓からディーゼル駆動の消火ポンプを用いた注水を想定していたことから、今回のような消火栓や消火ポンプがほとんど使えない状況下では、応用動作として消防車を用いた注水を選択した。何を水源にして、どのようなラインナップにすればいいか、図面等を参照して検討した。
- 淡水があるうちは淡水でというのが基本ラインだったが、冷却することが何よりも優先されていたことから、海水を入れることに躊躇はなかった。ただ、消火系ラインは耐震性がCクラスと高くないことから、ライン構成ができたとしても配管破損等により途中で漏洩する可能性もあり、実際に注水できるかは不安であった。 ■■■曰く、原子炉压力容器を減圧し即座に消火系で注水する（そうしないと急激に水位が下がり、炉心が露出する）というのは一か八かの賭けであったとのこと。
- 淡水の水源として考えられたのは濾過水タンク（8000k lが2基あり）の水であったが、濾過水タンクは地震で基礎がずれるなどで漏水の被害があり使えなかったため、各プラントにある防火水槽のうち使えるものを使った。ただし、水量が数十k l程度と少なく、数時間しか注水できない程度であった。
- 海水は、取水場所が決まっておらず、津波により偶然海水が溜まっていた3号機逆洗弁ピット（タービン建屋のすぐ海側にある）から取水したが、14日頃から1号機から北東に約1kmのところにある物揚場から直接取水した。
- 消防車は発電所には3台あったが、当初は1～4号機において使用できたのは1台。地震発生時にPP(Physical Protection)ゲート付近（＝海岸近く）に火災発生時の迅速対応のために日常的に配置されていた1台は津波により故障、1台は5、6号機側にあり、所内道路が損傷していたため12日午後まで1～4号機側にアクセスできなかった。12日昼頃までには柏崎刈羽から1台、自衛隊からも消防車1台が発電所に到着していた。その後も消防車が応援に来たが、OFCやJビレッジに取りに行かなければならなかった。
- 消防車への燃料補給は、防災安全部が担当していたが、線量が高く、消防車に常駐して動作確認はできなかった。当初は定期的な確認を行っていなかったため、ガス欠により停止していることが何度か確認されているが、14日頃から4～8時間くらいの間隔で確認に行くようになった。
- 消防車からの注水について、タービン建屋にアタッチメントがありそこに接続。消防ポンプのアタッチメントが合わないという事はなかった。一方で、自営消防隊では消防ホースを接続する給水口の場所がわからず、他部署の支援を必要とした。

- 各号機での取組状況は以下の通り

#### 【1号機】

- 11日17時頃からライン構成の検討を開始。地震又は津波によりディーゼル駆動の消火ポンプが動かないことがわかり、発電所の消防車1台を使ってラインを構築し、12日未明から淡水注水を開始した。
- 1号機付近の防火水槽から取水するためには、消防車を防火水槽に近づける必要があったが、防火水槽周辺は津波による瓦礫が散乱していたことから、撤去作業を実施（所要時間：1～2時間程度）。なお、この作業に従事した作業員は最初の10日間の作業で170mSv被ばくした。
- 注水は、当初、防火水槽から水を消防車にくみ上げ、プラント近くに消防車を移動させて給水口に注水するバッチ方式により行ったが、非効率なので、その後、消防車を防火水槽の近くに固定して、そこからホースを伸ばして注水口に送水する連続式により注水。12日15時頃までに防火水槽から淡水注水が終了。即座に海水注入の実施を所長が指示。
- その頃、電源車を用いた電源復旧作業も並行して行われており、15:30頃にホウ酸水注入系(SLC)からの注水を始めようとしていたところ、15:36に1号機で爆発が発生。しばらく退避した後、17:20頃から被害状況調査を行い、電源設備や海水注水のためのホースが破損、使用不可能であることがわかったことから、海水注水ホースを再敷設し、19時頃に海水注入開始。

#### 【2号機】

- 11日にRCIGの作動状況が不明となり、また、原子炉水位も不明となったことから、消火系による代替注水を1号機と同じタイミングで検討を開始したが、その後、11日深夜から12日未明にかけて原子炉水位、RCIGの作動状況が確認できたことから、しばらくは原子炉水位とRCIGの作動状況の確認を継続していた。
- その後、RCIG停止に備え、13日中に海水注水のための消火系ラインアップの準備がなされたが、14日11時頃の3号機爆発により消防車及びホースが破損し使用不能となった。このため、午後すぐに現場確認を始めた。
- 13時頃から原子炉の水位が下がり始め、RCIGが停止したと判断。TAF到達が16:30頃との予想の下、消防車等の接続作業を進め、14:43にライン構成は完了したが、15時過ぎに地震が発生して1時間程度作業が中断し、16:30に消防車を起動し注水準備が完了した。

- 18 時頃に原子炉圧力を下げるためにバッテリーを10台程度つなぎSRVの開操作に成功したが、S/Cの温度が高く減圧には1時間程度を要した。19 時頃から消火系による注水を開始しようとしたところ、19:20に燃料切れで消防車が停止していることを確認。燃料を補給し消防車を再起動、20 時前に海水注水を開始した。

### 【3号機】

- 12日午後から13日早朝にかけて、道路復旧により5、6号機側にあった消防車を移動させたほか、2Fにあった消防車を1Fに移動させて消防車を確保、防火水槽を水源とした淡水注水の消火系ラインアップを構成。その後、13日9時頃にSRVの開操作（バッテリーをかき集めて接続）し原子炉圧力を低下させ、13日9:25から消火系による淡水注水を開始した。
- 3号機への注水は初めから海水を注水する予定であったが、官邸にいる東電リエゾン（及び、又は本店緊対本部）が淡水注水を指示。防火水槽に淡水があったが数時間しか注水できないため、発電所では当初から海水を注水する計画であったが、検討した結果、淡水注水終了後にすぐに海水注水に切り替えられることがわかり、淡水注水することにした。淡水注水は13日9:25に開始、同12:20に終了。同13:12から3号機逆洗弁ピットから海水注水を開始した。
- 3号機逆洗弁ピットの海水が少なくなってきたことから、同ピットへの水の補給を行いつつ、注水を継続させたが、14日16:30頃から物揚場に消防車を配置し、海から直接取水することとなった。

### ③1号機の非常用復水器（IC）の操作

- 津波襲来後、ICの操作は以下の通り。
  - 津波襲来時（15:30頃）、ICはA系、B系両方とも閉止していた。その後、中操では計器の状況把握等に注力しており、ICの動作状況の確認を特に中止している訳ではなかった。
  - その後、18時頃にA系のみ中操で「閉」ランプの点灯が確認できたので、バッテリーが復活してICの操作が可能になったと判断し18:18に開操作を行った。その時は蒸気発生を音又は目視で確認し、ICが動作していると認識。
  - しかし、その直後の18:25に閉操作を行った。これは蒸気の発生が確認できなくなったことから、ICの胴側の水が枯渇して空だきになって原子炉蒸気を通す配管が破損して蒸気が漏れ出して、環境中

- へ放出されることをおそれたことによる。
- その後、中操の設備図書等により再検討した結果、胴側の水はまだ十分あることが確認でき、かつ、中操の表示ランプの点灯が弱々しくなってきたためこのタイミングを逃すと二度と開けられないと考え、21:30に再びICの開操作を行った。
  - この弁操作について、■■■■は緊対本部に連絡したとおぼろげながら記憶しており、■■■■も蒸気発生している等の不確定情報は得ていたとの認識があったが、水位計の誤表示（TAFよりも上に水位があると表示）もあり、緊対本部では津波襲来後ICは動作を継続していると誤認していた。
- 18:18の開操作以前には、ICについて特段操作を行っていないが、当時■■■■によると、津波直後の数時間はプラント全体の状況把握に取り組むのが精一杯で、ICに集中して対応できる状況ではなかったことを理由としてあげている。また、①直流電源がないと中操では開操作ができないこと、②現場で格納容器外の弁を手動で開けることは可能であったが、格納容器内の弁が閉まっている可能性があったことも背景にあったとのこと。
  - 1号機の原子炉水位計の表示については、後日、誤表示していたことが判明したが、当時は原子炉の状態が確認できるパラメータが水位計しかなかったため、しばらく水位計の値が変化しないなど信頼性を疑う所員もいたが、誤表示という判断まではなされなかったようである。
  - 11日夜に原子炉建屋内で線量が上昇したが、原因はMSトンネル室（原子炉建屋内にあるタービン建屋側の部屋）にある配管からの蒸気リークか格納容器の線量そのものが上がっているかのどちらかであり炉心損傷まで至っていないと考えていた本部員もいたが、■■■■はこの線量上昇により何らかの燃料異常が発生していると判断していた。（なお、■■■■によると、11日夕方に建屋に入った運転員がAPDの警報が鳴ったことで引き返したとのことであり、夕方から線量が高くなり始めていた可能性あり）

#### ④ベント

- ベントについて、現行のアクシデントマネジメントでは電源のあることが前提であり、ベント弁の開操作は全て中操で可能（このため、ベント訓練は最も簡単な訓練の1つとのこと）。しかしながら、今回の事故では電源が喪失しており、ベント弁を開くには、現場に作業員が入り、手動でレバーを回す、バッテリーを接続し励磁させる、圧縮空気を送り込む、といった作業が必要であった。また、現場の作業環境も、暗闇やがれき

の散乱に加え、線量が徐々に高くなるという状態であった。

また、開操作に空気圧が必要なA O弁の開状態を維持することは難しかったようである。原因は不明であるが、ポンベと弁をつなぐ配管の耐震クラスは低い（おそらくCクラス）ため、地震による破損が生じていた可能性も指摘されていた。

各号機のベントの取組みは以下のとおりである。

#### 【1号機】

- 12日0:06に所長からベント準備の指示が出ているが、これは、D/W圧力のパラメータがその直前に復旧して、設計圧力427kPaを超える600kPa超を表示していたことによる。ただし、実際には、11日夕方頃から図面を準備してベントラインの検討を開始していた。
- 現場での実作業は、通信手段がないことや、余震による作業中断、建屋内の暗闇、津波によるがれきの散在、高い空間線量等の劣悪な環境によりベントラインの完成には時間を要した（例えば、S/Cベント弁小弁を開けに行った職員は、途中で90mSv超の警報が鳴り、直ちに引き返した。）が、12日14:30頃にD/W圧力の低下が見られ、ベントは成功したと考えられている。
- 1号機のベントでは、日本で初めて放射性物質を含む気体を意図的に環境中に放出することもあり、東電幹部が総理や経産大臣に直接説明し、政府の了解を取った。また、地元自治体からも住民が避難するまでベント実施を待つよう要請されていた。が、結局は、ベントラインの構成作業に時間を要し、こうした外部関係機関との調整がベント実施を遅らせるということにはなかった。

#### 【2号機】

- 3号機と同時に12日17:30に所長からベント準備の指示が出された。1号機の手順を参考にしてベントに必要な弁操作手順書を作成し、13日11:00頃にはラプチャディスクを除くベントラインが完成（RCICの機能停止が確認された14日13:25の前に準備ができたことになる）
- しかしながら、14日11時頃の3号機爆発により、ベント弁の1つ（A O大弁）が回路故障により閉じてしまい、開くことができなくなった。爆発に伴う避難命令が解除された16時頃からこのA O大弁と別のベント弁（A O小弁）を開く作業を行ったが、A O大弁は空気圧が足りず開操作できず、21時頃に開操作できたA O小弁もぴくっとわずかに開いた程度だった。
- 22:50頃にはD/W圧力が設計圧力（427kPa）を超える一方でS/C

は 300~400kPa と安定し、格納容器内の圧力が均一しない状況が続き、別の A O 小弁 (D/W 側) を開けようとしたが成功せず、15 日 6 時頃に S/C 付近で爆発した。

### 【3号機】

- 2号機同様、12日17:30の所長によるベント準備の指示後、1号機のものを参考に手順を作成。(その時は、RCIC停止後で、同日12:35からHPCIの作動していた状況)
  - 13日8:41に一旦ベントラインが完成、同日9:20頃D/W圧力が低下した(ベントが成功したものと考えられている)
  - その後、11時頃にベント弁の1つ(AO大弁)が空気圧を維持できず閉止(理由は、ポンベ接続部からの空気漏洩か、ポンベと弁をつなぐ配管での空気漏洩が考えられるが、不明とのこと)、ポンベの取替えやコンプレッサーによる圧縮空気の送り込みなど開操作を3月20日まで繰り返した。
  - 14日5時頃から別の弁(AO小弁)の開操作も行ったが、AO大弁と同様、空気圧が維持できず開操作を3月16日まで繰り返した。
- ベント実施圧力について、福島第一原子力発電所の全号機とも、ラプチャディスクの作動圧は原子炉格納容器の設計圧力となっているが、手順書ではベント実施は設計圧力の2倍を超えた時点となっている。これは、原子炉格納容器が設計裕度により設計圧力の2倍までは耐えられることから、2倍に達するまでは冷却により圧力を下げ、放射性物質の環境中への放出を極力抑えるという考えによる。

### ⑤2号機のRCIC、3号機のRCICとHPCI

- RCICについて、停止したのはバッテリーの枯渇が原因と考えられている。RCICの駆動には大規模なバッテリーが必要であり、バッテリーの補充は直ちにできるものではない。(計装系のように自動車のバッテリーなどで代替できるものではない)
- 3号機のHPCIの停止も、はっきりしたことは不明であるが、バッテリーの枯渇か蒸気圧の低下が要因と考えている。
- 2号機、3号機ともバッテリーで動作可能なRCICとHPCIが停止した時の冷却手段としては、高圧注水が可能なホウ酸注水系(SLC)や制御棒駆動系(CRD)の利用を考えていた。そのため、これらの駆動に必要な交流電源の復旧作業を進めた。12日未明から電源車の接続作業を開始し、2号機の電源盤を経由してSLCへの接続がほぼ完成した

のが12日15:30。ただ、その直後に1号機で爆発が発生し、ケーブルと電源車が損傷した。その後も交流電源の復旧に努力したものの復旧できず、並行して準備を進めていた消防車を用いた代替注水による冷却を行うこととなった（2号機は14日19:54、3号機は13日9:25にそれぞれ注水開始）

#### ⑥水素爆発

- 1号機の爆発前、水素爆発の可能性については議論されていなかった。水-ジルコニウム反応により水素が発生することはわかっていたが格納容器内にとどまるとしており、更に建屋内に漏洩し水素爆発することは考えていなかった。
- 1号機の爆発後は、2号機と3号機の水素爆発対策を検討した。建屋の天井に穴を開ける、ブローアウトパネルを開けるといった水素爆発防止策が考えられたが、天井に穴を開けるには重機が必要であったが余震が続く中、現実的な対策ではなかった。ブローアウトパネルも中越沖地震の教訓反映で強固にしたこともあり、作業員が現場に行って人力で開けられるものではなかった。2号機は、3号機（3月22日に東電職員から聞いた話では1号機とのこと）の爆発の影響でたまたまブローアウトパネルが開いた。なお、5、6号機は3月18日に天井に穴を開ける作業を実施。

※なお、緊急安全対策との関係については、別途とりまとめ中。

(別紙)

インタビュー対象者一覧

吉田 昌郎 福島第一原子力発電所所長

[Redacted text block]