

6 2号機 S/C 圧力低下及び4号機 R/B 爆発後（3月15日6時10分頃以降）

(1) SFP への放水・散水実施状況

- ① 3月15日9時3分頃、福島原子力発電所事故対策統合本部（以下「統合本部」という。）は、1号機から4号機までのSFPの水位を確保するため、ヘリコプターによる散水や消防車による放水を検討した。特に崩壊熱が大きく、水温が高かった4号機SFPの水位を確保することが最優先課題であった。

しかし、同月16日10時43分頃、爆発の影響で破損した3号機R/Bから白煙が発生しているのが確認され、現場作業員は一時退避した。そのため、統合本部は、3号機SFP内の燃料の崩壊熱は、4号機と比べて遥かに小さいものの、3号機SFPにも放水・散水をする必要性が高いと考えた。また、ヘリコプターによる散水が困難になることも考慮に入れ、はしご車による地上からの放水も検討した。

そして、自衛隊ヘリコプターが福島第一原発の上空に出動して、ヘリコプターによる放水のための線量確認をする際、3号機及び4号機のSFPの状況を確認し、その結果次第で、3号機又は4号機のいずれを優先して放水するかを決することにした。

同日午後、自衛隊ヘリコプターが、同乗した東京電力社員の案内で福島第一原発を偵察し、4号機のオペレーティングフロア近辺にまで偵察用ヘリコプターが接近した。その際、東京電力社員らは、4号機SFPの水面を目視により確認し、写真撮影をした。そして、目視及び写真から、4号機SFPの水量が確保され、燃料が露出していないことが確認された。

なお、4号機の原子炉ウェルとSFPを仕切るプールゲートは、SFPと原子炉ウェルとの連結部をSFP側から圧力をかけて塞ぐ構造となっている（資料IV-31参照）。運転時には、原子炉ウェル側に水が張られていないため、SFP側から強い水圧がかかり、プールゲートの水密性が保たれることになる。しかし、当時、4号機は、定期検査中であり、原子炉ウェル側にも水が蓄えられていた。そして、津波の影響で海水ポンプが破損し、全交流電源が喪失した。そのため、FPC系の循環機能や二次冷却系の冷却機能が失われ、SFPの水温上昇、保有水の蒸発によりSFPの水位が低下し、原子炉ウェル側の水位の方が高い状況になり、原子炉ウェル側からSFP側に向けて圧力がかかるようになった結果、構造上、プール

ゲートの水密性が失われ、原子炉ウェル側から SFP へ等水位となるまで水が流れ込み、4 号機 SFP は、水温が高かったにもかかわらず、一定の水位が保たれていたものと考えられる。

- ② 統合本部は、4 号機 SFP の水位が確保されていることが確認できたため、3 号機 SFP への放水・散水を優先的に実施することにした。

また、3 号機 SFP への放水・散水は、3 月 17 日午前から午後にかけて、④自衛隊のヘリコプターによる散水、⑤警視庁機動隊の高圧放水車による放水、⑥自衛隊の消防車による放水の順で実施することになった。

同日 9 時 48 分から同日 10 時 1 分にかけての頃、自衛隊のヘリコプターは、合計 4 回にわたり、30t の海水を 3 号機 R/B 上部に散水し、散水後に蒸気が立ち上がったことが確認されたものの、爆発により崩れた屋根等が障害となって、SFP にはほとんど着水しなかったと考えられた。これ以降、自衛隊ヘリコプターによる散水の実績はない。

同日 19 時 5 分から同日 19 時 13 分にかけての頃、警視庁機動隊高圧放水車は、3 号機 SFP に向けて 44t の放水を実施したが、高圧放水車の飛程が不十分であったため SFP への着水は限定的と考えられた。これ以降、警視庁機動隊の高圧放水車による放水の実績はない。

同日 19 時 35 分から同日 20 時 9 分にかけての頃、自衛隊の消防車は、合計 5 回にわたり、30t の水を 3 号機 SFP へ向けて放水した。

- ③ 3 月 18 日、引き続き、3 号機 SFP への放水を優先的に実施することとし、同日 14 時頃まで電源復旧作業を行った後、自衛隊の消防車、米軍の消防車による放水、次いで、東京消防庁ハイパーレスキュー隊による放水を行った。

同日 14 時から同日 14 時 38 分にかけての頃、自衛隊消防車は、合計 6 回にわたり、40t の水を 3 号機 SFP へ向けて放水した。

同日 14 時 42 分から同日 14 時 45 分にかけての頃、米軍消防車は、2t の水を 3 号機 SFP へ向けて放水した。

なお、同月 17 日朝、東電工業株式会社（以下「東電工業」という。）及び南明の社員が、横田基地で米軍消防車を使った放水訓練を行った後、ヘリ、車を取り継ぎ、J ヴィレッジに行き、同所に調達されていた米軍消防車の引渡しを受けて、福島第一原発に向かい、東電工業及び南明の社員が操作して放水を実施した。

ハイパーレスキュー隊は、消防車 10 台、隊員 139 名が一旦 J ヴィレッジに集合し、先遣隊が東京電力社員の案内で放水現場を確認するなどしたところ、先遣隊員の防毒マスクのボンベ残量が減少したため、J ヴィレッジに撤退するなどして、当初の放水開始予定時刻であった同日 15 時から大幅に遅れ、同日 19 日零時 30 分から同日 1 時 10 分にかけての頃、60t の水を 3 号機 SFP に向けて放水した。

これ以降、同月 25 日まで、消防車により 3 号機 SFP へ向けて放水を実施した。そして、その水源は、一部を除きほとんどが海水であった（資料Ⅳ-32 参照）。

- ④ 4 号機 SFP については、水位が十分確保されているのを確認できたとはいえ、崩壊熱も大きいので、3 月 20 日から放水を実施した。

同日 8 時 21 分から同日 9 時 40 分にかけての頃、自衛隊は、合計 11 回にわたり、80t の淡水を 4 号機 SFP に放水し、ほぼ SFP に着水したと考えられた。

4 号機 SFP については、同月 21 日にも消防車による放水が実施されたが、同月 22 日から同月 27 日までの間、コンクリートポンプ車による海水放水を実施した（資料Ⅳ-32 参照）。

コンクリートポンプ車は、本来、コンクリートを圧送するために用いる作業機械であったが、SFP 付近までアームが延びるため、圧送する客体をコンクリートから水に変え、SFP の上方で放水すれば、消防車よりも確実に SFP に水を補給することができた。また、4 号機への放水の結果、当初懸念された安定性も十分確保できると判断された。そのため、その後は、1 号機及び 3 号機についても、順次、コンクリートポンプ車を用いて放水を実施することになった。

なお、東京電力は、コンクリートポンプ車の調達、移動のための運転を行ったが、実際の操作は、協力企業である南明や東電工業の社員が訓練して行った。

（2）FPC 系注水実施状況

- ① 2 号機については、R/B や T/B が爆発で損傷しておらず、1 号機の爆発の影響でブローアウトパネルが脱落したのみであった。

したがって、統合本部では、3 月 15 日以降、2 号機について、FPC 系の配管の健全性が保たれている可能性が高く、消防車等による放水よりも確実な FPC 系から SFP に注水する方法を検討することにした。

なお、この FPC 系注水については、統合本部立ち上げ前から、既に本店対策

本部復旧班において検討中であった。

また、統合本部においては、MUWC 系配管から SFP に注水することも検討したが、注水を実施するには、2 号機 T/B 内で被水した分電盤を交換し、駆動用ポンプを新設する必要があった。しかし、作業場所となる 2 号機 T/B 内は放射線量も高く作業困難であったため、MUWC 系配管から SFP に注水することは断念し、FPC 系配管から SFP に注水することにした。

そして、比較的線量の低い廃棄物処理建屋内にある 2 号機 FPC 系配管のうち、流量確認のためガラス張りになったフローガラスという接続部分を取り外し、同箇所消防ホースを接続する工事を行った。また、北側物揚場から取水した海水を消防ポンプで FPC 系配管を通じて SFP に注水することにした（資料IV-33 参照）。

- ② 3 月 19 日、発電所対策本部は、この注水ラインを構成するため必要な作業を実施し、同月 20 日、2 号機 SFP へ FPC 系から注水を開始した。この注水に当たっては、注水量と水位変化を確認して、配管からの水漏れに留意した。

同月 22 日に 2 号機 SFP へ再度注水したところ、スキマーサージタンクレベルが 6,350mm から 6,500mm まで上昇したのを確認した。統合本部は、スキマーサージタンクレベルの上昇は、SFP 中の水のオーバーフローによるものであり（資料IV-34 参照）、SFP が満水となったと判断した。

なお、満水までの総注水量は 58t であった。

以後、2 号機の SFP の水位が十分確保できるよう、数日ごとに FPC 系注水を実施した（資料IV-32 参照）。また、駆動源であった消防ポンプは、本来、長時間にわたる作動を予定しておらず、故障等による作動停止も懸念されたため、同月 27 日、2 号機付近の防火水槽脇に止めたトラック荷台に仮設電動ポンプを設置し（将来、1 号機、3 号機及び 4 号機も利用可能とするため四つの接続プラグを設けた。）、それ以降、仮設電動ポンプを用いて FPC 系注水を実施することにした。

もっとも、同月 29 日、仮設電動ポンプを用いて 2 号機へ FPC 系注水を開始したところ、FPC 注入ホースから多量の水が漏えいし、注水流量が確保できなかったため消防車に切り替えて FPC 系注水を実施した。

その後、同月 30 日、消防車を用いて 2 号機へ FPC 系注水を実施したが、やは

り十分な流量が確保できなかった。

そこで、同月 31 日、設備点検を実施したところ、ストレーナーにヘドロが蓄積していたことが判明し、ストレーナーを取り外して 4 月 1 日に仮設電動ポンプを用いた FPC 系注水を実施したところ、十分な流量が確保できたため、同日以降、仮設電動ポンプを用いた FPC 系注水を再開した。

- ③ さらに、3 号機及び 4 号機についても、それぞれ、北側物揚場から取水した海水を消防ポンプで FPC 系配管を通じて SFP に送水するラインを構成する作業を行い、3 号機については同月 23 日及び同月 24 日に、4 号機については同月 25 日に、それぞれ試験的に FPC 系注水を実施した（3 号機及び 4 号機の FPC 系注水につき、それぞれ資料Ⅳ-35 参照）。

しかし、いずれも、注水量に見合う SFP の水位上昇には至らず、配管詰まりや水漏れが起こっているものと考えられた。特に、4 号機については、3 月 16 日に撮影された写真からも、FPC 系配管の逆止弁付近が明らかに潰れていることが確認でき、取替工事をしない限り、FPC 系注水は困難であった。

したがって、3 号機及び 4 号機については、引き続き、コンクリートポンプ車による放水を継続した（資料Ⅳ-32 参照）。

（3）海水から淡水に切り替えた状況

- ① 3 月下旬まで、SFP への放水・注水は、主として海水を水源としていたが、SFP 関連設備や FPC 系配管の腐食が進行するおそれがあったため、淡水を確保して、順次、淡水の放水・注水に切り替えることとした。
- ② まず、3 月 29 日、2 号機 SFP への FPC 系注水について、その水源を淡水に切り替え、5 月 31 日まで淡水の FPC 系注水を実施した（資料Ⅳ-32 参照）。
- ③ また、3 月 29 日、3 号機 SFP へのコンクリートポンプ車による放水について、その水源を淡水に切り替え、4 月 22 日まで 3 号機へのコンクリートポンプ車による淡水放水を実施した（資料Ⅳ-32 参照）。

なお、同月 12 日、3 号機について、カメラを装備したコンクリートポンプ車に変更することで、カメラ画像により水位上昇を確認しながらの放水が可能となり、初めて 3 号機の SFP 満水を確認できた。満水確認時の放水量は約 35t であった。また、5 月 8 日、3 号機 SFP のプール水のサンプリング調査を実施する際、ビデ

オカメラによる撮影を実施したが、プール水中には大量のがれきが落下しており、プールに保管されていた燃料等の状況は確認できず、使用済み燃料の一部が破損している可能性は否定できない。

- ④ さらに、3月30日、4号機 SFP へのコンクリートポンプ車による放水も、海水から淡水に切り替え、以降、6月14日まで同様の淡水放水を実施した（資料IV-32 参照）。

（4）1号機 SFP への放水実施状況

- ① 1号機 SFP 内に貯蔵している使用済燃料は、平成22年3月25日に停止し、最も冷却期間が短い燃料でも1年程度冷却されているため、他号機の SFP 冷却が優先されていた。

平成23年3月下旬頃、統合本部は、他号機の SFP への放水・注水が比較的安定して実施できるようになり、1号機の SFP の冷却方法に関する検討を行った。

1号機は、3号機及び4号機と同様に、爆発により R/B が損傷していたことから、R/B 内に敷設された FPC 系配管も損傷している可能性が高いと考えられた上、廃棄物処理建屋の線量も高かったため、FPC 系注水よりも、コンクリートポンプ車による放水を優先して実施することになった。

- ② 3月31日以降、1号機についても、コンクリートポンプ車による放水、合計240t（淡水）を実施した（資料IV-32 参照）。

（5）3号機 SFP に対する FPC 系注水実施状況

- ① 4月22日、3号機の FPC 系ラインから、ストレーナーを外した状態で20分間、3号機 SFP に FPC 系注水を試みたところ、水位が上昇し、大きな水漏れがないことが確認できた。

統合本部は、3号機について、何らかの理由でストレーナーが FPC 系配管内で障害となっていたため、3月23日及び同月24日に FPC 系注水をした際に注水量を十分確保できなかったと判断した。

- ② それ以降、3号機の SFP については、FPC 系配管の健全性を確認しながら、FPC 系注水を実施し、5月9日までの FPC 系注水による水位変化から、FPC 系配管はほぼ健全と評価し、引き続き、6月29日までの間、FPC 系注水を実施し

た（資料IV-32 参照）。

また、3 号機について、落下したガレキからのアルカリ金属（カルシウム等）の溶出により、プール水がアルカリ性を示したため、アルミニウム製の燃料ラックのアルカリ性腐食が懸念され、同月 26 日及び同月 27 日、FPC 系注水実施時に、アルカリ性を中和するためにホウ酸水を注入した。

（6）代替冷却系の設置状況

- ① SFP の冷却については、各号機ごとに建屋の破損状況、建屋内の配管の健全性、放射線量の状況等が異なっていたため、それぞれの状況に応じて、消防車による放水や FPC 系注水を実施してきたが、あくまで暫定的な措置であり、SFP の水が蒸発すれば、それに見合った水量を補てんしていた。

しかし、恒常的に SFP を冷却するためには、SFP の水が循環する一次系統と、復水器タンクでこの一次系統を流れる水を冷却する二次系統を作り、常に SFP が冷水で満たされる冷却系統の設置を検討する必要があった。

そこで、4 月中旬以降、東京電力は、統合本部の方針に基づき、1 号機から 4 号機までのプラントメーカー 2 社（1 号機及び 4 号機、2 号機及び 3 号機が、それぞれ同一メーカー）と相談しながら、この代替冷却系の設置を検討した。その結果、1 号機から 4 号機までについて、いずれも、SFP 内の水が FPC 系等の配管を循環する一次系を整備するとともに、新たに冷却塔を設置して冷却用の二次系配管を敷設し、復水器タンクで、一次系を流れる水の残留熱を除去することとし、プラントの状況に応じ、順次、着工した。

- ② まず、4 月下旬から 5 月下旬にかけて、2 号機について代替冷却系の整備工事を実施し、同月 31 日 17 時 21 分頃、2 号機 SFP を冷却する代替冷却系ポンプを起動させ、代替冷却系による SFP 冷却を開始した（資料IV-36 参照）。

冷却開始時の水温は、SFP 温度計によれば 70℃を示していたが、6 月 5 日頃には定常状態に達し、その後は 30℃程度の水温で安定した状態にある。

- ③ 2 号機の整備工事を行ったプラントメーカーは、引き続き、3 号機においても同様の代替冷却系の整備工事を実施し、6 月 30 日、3 号機 SFP につき、代替冷却系による SFP 冷却を開始した（資料IV-37 参照）。

冷却開始時の水温は約 62℃（代替冷却系入口温度）であったが、7 月 7 日頃に

は定常状態に達し、30℃程度の水温で安定した状態にある。

- ④ 1号機及び4号機については、線量が非常に高いことや、損傷が激しいことなどから、代替冷却系の工事に時間を要するため、代替冷却系完成までの暫定的なSFP冷却措置を講じることとした。

まず、1号機について、R/B3階南西隅に設置されたFPCポンプや復水器タンク付近の線量が低いことが判明したため、同所においてFPC系注水に必要な工事を行うこととした。

具体的には、5月28日、同所付近に敷設されていたFPC系配管の逆止弁のヘッドを取り外し、同部分に仮設の配管を接続して、同配管の先端に、治具を用いて消防ホースを接続し、仮設電動ポンプを用い、FPC系配管を通じてSFPに淡水を送水するラインを構成した（資料IV-38 参照）。そして、同月29日、1号機SFPへのFPC系注水を実施し、以後、1号機の代替冷却系によるSFP冷却を開始した8月10日までの間、断続的にFPC系注水を繰り返した（資料IV-32 参照）。

なお、5月29日のFPC系注水の結果、スキマーサージタンクレベルが2,050mmから4,550mmまで上昇したのを確認したため、SFP中の水のオーバーフローによるものと考えられ、SFPが満水となったと判断した。通常水位のプールの水量は約1,000tに対し、満水までの注水量は約413tであった。

他方、4号機については、FPC系配管のうち逆止弁付近の損傷が、4号機R/B上空からの空撮写真によっても顕著であり、FPC系注水を実施できなかった。そのため、R/B外側からR/B損壊部分を通してSFPに送水できるようにホースを取り付け、ポンプ駆動で送水可能な仮設SFP注水設備「みづは」を設置し（資料IV-39 参照）、6月16日、4号機SFPに対し、「みづは」による注水を開始し、以降、7月31日まで、合計5回にわたり、「みづは」による注水を実施した（資料IV-32 参照）。

また、4号機については、6月19日、DSピットに収納されている炉内構造物からの放射線量を抑える目的で、原子炉内中性子計測モニタ配管（以下「原子炉ICM配管」という。）から原子炉ウェル、DSピットへの注水を実施することとした（資料IV-40 参照）。すると、原子炉ウェル側が満水となった後も、原子炉ウェル側の水位の低下が見られ、他方で、原子炉ウェル注水時のスキマーサージタンクレベルの上昇が確認された。そのため、原子炉ウェルからSFP側への流れ

込みがあると判断し、同日以降 7 月 30 日までの間、断続的に、4 号機の原子炉 ICM 配管から原子炉ウェル、DS ピットへの注水を実施することで、SFP 側への流れ込みを利用して、SFP の水位を確保した（資料Ⅳ-32 参照）。

- ⑤ そして、1 号機及び 4 号機について代替冷却系の整備工事を実施し（1 号機及び 4 号機の代替冷却系につき、それぞれ資料Ⅳ-41 及び 42 参照。）、4 号機につき 7 月 31 日から、1 号機につき 8 月 10 日から、それぞれ代替冷却系による SFP 冷却を開始した。

4 号機については冷却開始時の水温は約 75℃（代替冷却系入口温度）であったが、8 月 3 日頃には定常状態に達し、40℃程度の水温で安定した状態にある。

また、1 号機については冷却開始時の水温は 47℃（FPC 系ポンプ入口温度）であり、同月 27 日頃には定常状態に達し、その後は約 30℃程度の水温で安定した状態にある。

（7）5 号機及び 6 号機の SFP 冷却に向けた取組状況

- ① 5 号機の SFP は、3 月 11 日に冷却機能及び補給水機能喪失後、水温の上昇を続けたが、破損した海水ポンプの代わりに、仮設の水中ポンプを用いるなどして仮設の冷却設備を設け、同月 19 日 5 時頃、これを本格運転したため、水温の上昇は最大 68.5℃にとどまり、安定的な冷却状態を維持できた（資料Ⅳ-43 参照）。仮設の冷却設備は、炉内の燃料の冷却にも使用することとし、系統を切り替えつつ運用されたため、SFP の水温は冷却系の切替時には上昇し、30℃から 50℃程度の間を推移した。

- ② その後、5 月 6 日、5 号機 SFP については、原子炉停止時冷却系（SHC）モードに移行し、6 月 25 日には単独運転ができるようになったため、より安定的な冷却状態を維持できるようになり、水温は 30℃程度で安定している。

- ③ 6 号機の SFP も 3 月 11 日に冷却機能及び補給水機能喪失後、水温の上昇を続けたが、5 号機の SFP と同様の仮設冷却設備を設け、同月 19 日 22 時頃、これを本格運転したため、水温の上昇は最大 67.5℃にとどまり、安定的な冷却状態を維持できた（資料Ⅳ-44 参照）。仮設の冷却設備は、炉内の燃料の冷却にも使用することとし、系統を切り替えつつ運用されたため、SFP の水温は冷却系の切替時には上昇し、20℃から 40℃程度の間を推移した。

その後、5月6日、6号機のSFPについても、SHCモードに移行し水温は安定的に推移している。

7 R/B（原子炉格納容器外）における水素爆発

（1）関係者の認識

前記3から5記載のとおり、1号機、3号機及び4号機のR/Bにおいて、水素ガスによると思われる爆発が発生したが、最初の1号機の爆発が起きるまで、事故対応に当たっていた福島第一原発、東京電力本店、国等の関係者らは、R/Bで水素爆発が発生する可能性を認識していなかった。

（2）国内外におけるR/Bの水素爆発に関する知見をめぐる状況

原子力発電所において水素爆発が発生する可能性は国内外で広く知られており、その危険性、対策等を論じた文献は多数あるものの、それらはいずれも原子炉格納容器内における水素爆発の危険性、対策等を論じたものであり、今回の地震以前にR/B（原子炉格納容器外）における水素爆発を論じた文献は2件しか見当たらず、国際原子力機関（IAEA）、経済協力開発機構原子力機関（OECD NEA）等においても、現在のところ、R/Bの水素爆発について論じた形跡は見当たらない。

例えば、OECD NEAが2000（平成12）年に発表した「原子力安全における火炎加速による爆燃から爆ごうへの遷移」⁷⁹、IAEAが2001（平成13）年に発表した「軽水冷却動力炉における水素による危険性の緩和」⁸⁰及び2003（平成15）年に発表した「原子力発電所の原子炉格納容器系の設計」⁸¹は、いずれも原子炉格納容器内における水素爆発の危険性等を論じているが、原子炉格納容器から漏えいした水素がR/B内で爆発する事象については論じていない。

今回の地震以前にR/Bの水素爆発について論じていた2件の文献は、1994（平成6）年にアメリカ合衆国（以下「米国」という。）のブルックヘブン国立研究所により発表された「MELCOR（第1.8版）を用いたピーチボトムにおける自動減圧作動を

⁷⁹ 正式な文書名は「Flame Acceleration and Deflagration-to-Detonation Transition in Nuclear Safety」である。

⁸⁰ 正式な文書名は「Mitigation of hydrogen hazards in water cooled power reactors」である。

⁸¹ 正式な文書名は「Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants」である。