

2016年2月7日

田辺 文也

質問1：「正常なスクラムと冷温停止とはどういう過程を経るのか」

参考のため通常のプラント停止の場合の経過を含めます。

(1) 通常のプラント停止

教科書「軽水炉発電所のあらまし」(原子力安全研究協会)に記述があり、以下にその抄録を記します。

・まずは再循環ポンプ回転速度を降下させ炉心流量を減少させることで原子炉出力を低下させていき、出力が約55%で制御棒の挿入による原子炉出力の降下を開始する。BWRプラントは蒸気圧力一定制御のため原子炉出力の低下に従いタービン蒸気加減弁が絞り込まれるので発電機出力も低下してくる。原子炉への給水は当初はタービン駆動給水ポンプで、のちに電動機駆動給水ポンプでなされる。出力が約20%で所内負荷の電源を所内変圧器(発電機から受電)から起動変圧器(外部電源から受電)へ切り替える。出力が約10%にて発電機を電力系統から解列し、タービンを手動トリップする。

発電機解列後は、制御棒の挿入により原子炉を未臨界にし、さらに原子炉系の減圧と冷却を行い冷温停止状態とする。原子炉の減圧はタービンバイパス弁を介し主蒸気を主復水器に導くことでおこなう。圧力の降下とともに電動機駆動給水ポンプ及び高圧復水ポンプを停止し、最終的に低圧復水ポンプを一台を運転状態とする。0.75MPa[g]で残留熱冷却系(RHR)の停止時冷却モード(原子炉-RHR-原子炉)で原子炉の冷却を開始する。

(2) スクラムによる停止

事故時運転操作手順書(事象ベース)に原子炉スクラム事故の項があり、その中で主蒸気隔離弁が開の場合と閉の場合の手順が記述されている。概略は以下の通り。

(2-1) 主蒸気隔離弁(MS I V)開の場合

原子炉出力が急速に降下し、燃料体からの発熱も減少するが伝熱遅れ等のため緩やかな減り方である。それに伴い蒸気発生も減少する。蒸気発生量の減少はタービン発電機の出力減少へとつながる。原子炉への給水はタービン駆動原子炉給水ポンプ(T/D REF)によりなされるが、後に電動機駆動原子炉給水ポンプへと切り替える。

原子炉スクラム後の残留熱を充分消費した時点(3号機で約100MWe)でタービンを手動トリップする。タービン蒸気加減弁が閉じられ、主蒸気はタービンバイパス弁を通して主復水器に導かれる。

以降は通常停止と同じ。

(2-2) 主蒸気隔離弁(MS I V)閉の場合

何らかの原因で主蒸気隔離弁が全閉となった場合には、速やかにタービンを手動トリップする。蒸気の逃げ道は主蒸気逃がし安全弁(SRV)、隔離時冷却系(RCIC)、高圧注水系(HPCI)

を通じ圧力抑制室（S/C）に至るかである。原子炉への給水はタービン駆動原子炉給水ポンプ（T/D REF）を手動でトリップさせ、電動機駆動給水ポンプ（M/D REF）の自動起動を確認する。

MSIVを開くことが不可能な場合は、SRVで減圧して冷温停止する。

残留熱除去系（RHR）圧力抑制室冷却モードを速やかに開始し、格納容器圧力上昇時にはS/Cスプレーも実施する。

世界2月号の論考は「格納容器ベントとは何かを」を説明することを趣旨としているので、164頁では、先ず上記（2-1）の場合を記述して、それから（2-2）の場合を記述しています。福島原発事故の場合は、外部電源喪失により計器電源が喪われたことでフェールセーフにより主蒸気隔離弁（MSIV）閉止信号が発信してMSIVが閉止したことで上記（2-2）のシナリオに先ず入るのですが、その後に非常用ディーゼル発電機による交流電源も喪失してしまうので、残留熱除去系は使えなくなってしまいます。

質問2：1号機ではどうだったか？

1号機については未だまとめていませんので、お答えできる状態にありません。

ただし「SRVを開閉することに注力していたのではないか？」との疑問については、その可能性は低いのではないかと考えられます。その理由は次の通りです。SRVを開くためには120V直流電源を必要とし全電源喪失の状況では、代替バッテリーを調達しなければなりません。3号機及び2号機では13日7時以降に乗用車のバッテリーをかき集めて10個直列につないで120V電源を実現していますが、1号機SRV開のための調達の動きはみられない。

質問3：2号機はどうだったか？

世界12月号215頁図4に2号機の時系列をまとめてあるのですが、全電源が喪われたためRCICの運転状態を示す表示も見えず、原子炉の水位や圧力が不明の状態が続いたため、RCICが動いているか否か分からなかった。20:07に圧力、21:50に水位が判明したのでRCICが動いているらしいと考えたでしょう。しかし12日2:55に現場でRCICの吐出圧力を測るまではRCICが実際に機能しているか確信が持てなかったということだと思います。

RCICの水源は基本的には復水貯蔵タンク（CST）の水で、2号機の場合は11日15:39にRCICを手動起動してから12日4:20に水源を復水貯蔵タンクから圧力抑制室（S/C）プールに切り替えています。この時点ではまだCSTに十分な水が残っていたのですが、運転チームは後の炉心冷却に必要となると考えて切り替えたと言われていますが、本来は（手順書上も）この時点ではやっつけはいけない切り替えです。何故ならS/Cに水源をきりかえることで、S/Cからの水を原子炉に注いで原子炉で発生した蒸気をRCICのタービンを通し

て S/C に戻すという閉じたサイクルで S/C プールの水温の上昇速度が大きくなり、格納容器圧力の上昇速度も大きくなるという安全上望ましくない結果が生まれるからです。

ちなみに、8 時間というのは CST の水量がなくなるからではなくてバッテリーからの直流電源がこれ以上は期待できないから、RCIC の運転もこれ以上は期待してはいけないという設計になっているのだと思います。

上述したように RCIC の水源を S/C にしても原子炉で発生した蒸気が S/C に戻るのですから、S/C の水は基本的には減らないけれども圧力が上昇していきます。

2 号機の高圧注水系は起動に必要な直流電源が喪失しているため運転できません。

3 号機の場合は 12 日 12 時頃の時点ではまだバッテリー残量があったので HPCI が起動可能であった。

15 日 6 時頃に爆発音があつて、当時は 2 号機 S/C 破損と考えられていたのですが、現在はこの音は 4 号機建屋爆発のためと理解されています。

2 号機格納容器については東電が認めているのは圧力抑制室プール底部の破損のみ。私はそれ以外にもドライウェルと S/C を結ぶベント管の上部が地震で破損したという仮説を提唱してきましたし、ケーブル貫通部シールが炉心損傷後の熱で劣化して 15 日 7 時頃に破損が生じたのではないかと考えています。

2 号機の場合は、ディーゼル駆動消火ポンプ (D/DFP) は水を被ったためか使えませんでした。従って使えるのは消防車の消防ポンプでした。

残留熱除去系は電源が喪失しているので使えませんでした。2 号機の場合は D/D FP を用いて格納容器スプレイを実施することも D/D FP が使えないのでできません。

質問 4 : 3 号機はどうだったか？

12 日 11:36 に RCIC は止められたのではなくて何かの信号を受けて自動停止したとされています。

3 号機の HPCI が機能低下して原子炉への注水が不足しはじめるのは 13 日 2:42 に停止したためではなく、それ以前から始まっていたと推論されます。何故なら 13 日 4:15 には原子炉水位が炉心頂部まで低下しているからです。HPCI の機能低下は、原子炉圧力が HPCI の作動圧力下限近傍にまで低下したことが主要因と推論されます。12 日夜から HPCI のタービン回転数も許容限界以下になっていますので、停止すること自体は誤りではないと思

います。

世界 12 月号でも述べましたが、もっと早くに減圧してディーゼル駆動消火ポンプによる低圧注水すべきだったのだと考えます。

3 月 14 日の 3 号機建屋の爆発は水蒸気爆発ではなく、水素爆発と考えられています。1 号機（3 月 12 日）、4 号機（3 月 15 日）と同じです。私もこれ以外のメカニズムは考えていません。

最後の質問：原子炉減圧・低圧注水が可能な時機

世界 12 月号に述べたように 3 号機は 12 日 11 時頃から夜まで、2 号機は 13 日夕方から 14 日昼頃まで、の時間帯では SRV 操作のためのバッテリー入手可能性及び低圧注水のためのディーゼル駆動消火ポンプ（3 号機）または消防車消防ポンプの使用可能性を考慮して実際に可能であったと考えます。

以上