

志賀1号機の臨界問題、制御棒引き抜け事象の技術的説明

平成19年4月27日 林 勉

1. 平成11年の定検時に、制御棒駆動システムでは、駆動機構(CRD)「単体スクラム試験」と原子炉停止機能強化工事確認試験(「ARI試験」)が行われることになっていた。
2. まず「単体スクラム試験」を全数CRDについて実施し、問題なく完了した。単体スクラム試験時に圧力が変動して、「原子炉・CRD冷却水ヘッダー間差圧高/低」警報が頻発するのを避けるため、警報を除外するアイソレーションが実施されており、この状態が次の「ARI試験」の準備段階まで解除されなかった。(図1、単体スクラム試験方法の図解説明参照)
3. 「ARI試験」は特定のCRD1本のみについてスクラムを行うが、このスクラムは全部のCRDに共通なARI用空気排気弁にARI信号を発信して行うために、対象制御棒一本以外の残り全数のCRDが動かないようにする必要がある。このために対象外の全CRDにスクラム圧力がかからないように、101弁、102弁を閉じて隔離する手順になっていた。問題はこの隔離作業である弁の閉鎖作業中に発生した。(図2、ARI試験方法の図解説明参照)
4. 各CRDの101弁、102弁閉止操作が開始されたが、この時の手順では、炉内への戻りラインは閉止状態にして、系統流量(駆動ポンプ流量)をゼロにして行うことになっていたが、実際にはこの流量をゼロにする作業がなされず、駆動ポンプ系統が隔離されていない状況であった(この点が今回の問題の根本原因)。この原因は「ARI試験」関係者の試験要領書の遵守不徹底と連携不足とされている。
5. この状況下で順次各CRDの101弁、102弁の閉止作業が行われていった。閉止作業が行われていない残りのCRD本数が少なくなってくると、CRD系統の圧力が次第に高くなり、弁の閉止作業が重くなってきたと言われている。本来この系統圧力が高くなれば警報が鳴るはずであるが、上記2.の理由でこの警報が除外されていたので、警報は鳴らず、作業者も管理者も圧力が高くなっていることに気づかなかった。
6. この系統圧力が高くなる理由を下記する。

駆動水系統が生きている状態では引き抜きラインを通じてCRDを冷却するために少量の駆動水が炉内に流入している。このため101弁、102弁を順次閉めていくと炉内への流入水の量がどんどん減っていき閉ざされる系統内の圧力が次第に高くなっていく。

7. この系統内の圧力と炉内圧力の差を冷却水ヘッド差圧というが、この差圧の状況により、以下の状態になる。(図3、参照)

冷却水ヘッド差圧、約0.7MPa 以下の場合

コレットピストンを押し上げる力はばね力以下であり、コレットピストンは上方へは動かず、引き抜け防止のラッチは外れないので引きぬけの可能性は無い。

冷却水ヘッド差圧、約0.7～約1.0MPa の場合

コレットピストンを押し上げる力はばね力に打ち勝ち、上方に動き出し、制御棒も上方にもちあげられる。さらに上方に持ち上げられるとコレットフィンガー部分が開き、インデックスチューブのラッチが外れると引き抜けが発生する可能性があるが、コレットピストンは上端位置まで達していないためラッチが働いており、過挿入となる前の位置でとまる。

冷却水ヘッド差圧、約1.0MPa 以上の場合

制御棒が過挿入となり、コレットピストンも上端位置にあるので、コレットフィンガーは開いたままとなり、ラッチが外れて、引き抜けが発生する可能性がある。

8. 101弁、102弁の閉止作業がどんどん進み、上記7の 、 、 の状況を経ていき、ラッチが外れて引き抜けの可能性がでてきたが、101弁と102弁がほぼ同時に閉じられたことにより、引き抜け側の圧力供給も遮断されるために、コレットピストンはバネ力で押し下げられ、ラッチ機能が回復して、ラッチが動作したことにより制御棒の引き抜けは発生しなかった。

9. さらに101弁、102弁の閉止作業が進み、残り数本になった時に、系統圧力が高くなってきているために、弁の閉止作業が非常に重くなってきた。このためいままでも101弁と102弁の閉止作業は両手で同時に行っていたが、これが困難になり、101弁閉から102弁閉までの間に時間差が生じるようになった。先に101弁が閉じられると挿入側には系統圧力が負荷されない状況になり、挿入側はパッキンからの漏れにより、圧力が低下していく。一方、102弁は開状態で引き抜き側の圧力供給は継続されるので、コレットピストンが押し

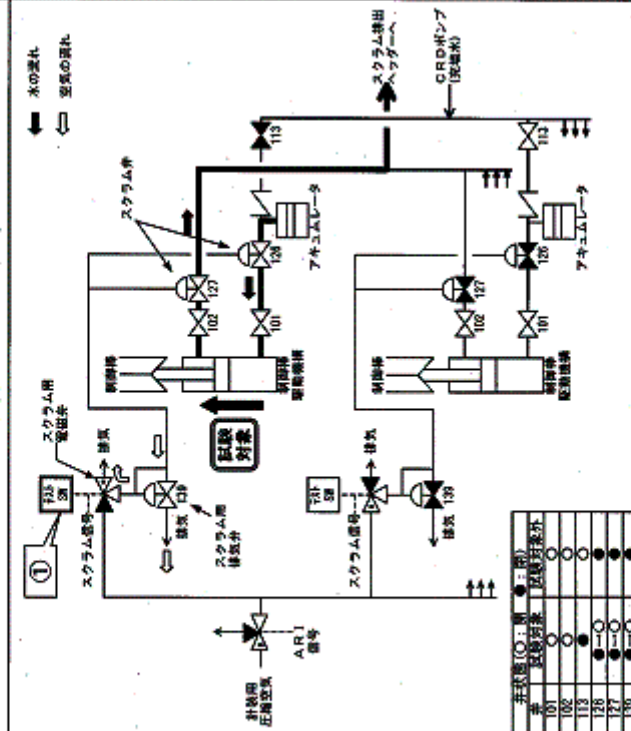
上げられラッチがかからない状態で、挿入側の圧力低下に伴って、自重および引き抜き側の圧力によるピストンの押し下げ力によって引き抜けが始まる。実機では、3本のCRDで101弁閉、102弁開の状態が発生し、引き抜けが発生した。

10. 制御棒の引き抜けに伴う反応度付加により、中性子レベルが高くなり、中間領域モニタ高高信号により、原子炉の自動スクラム信号が入った。しかしこの時にアキュムレーターが充填されておらず、また101弁が閉じていたためにスクラムは実行されなかった。
11. しかし制御棒は、102弁が全閉になり引き抜き側圧力がさがったこと、またはこのスクラム信号により127弁が開いたことにより、引き抜き側圧力が下がったために、引き抜き途中であった3本のCRDのコレットピストンがばね力で押し下げられ、インデックスチューブのひっかかり機能が回復し、ここで引き抜き動作は停止した。
12. この結果から言えることを要約して下記に示す。
 - (1) 今回の問題は「ARI試験」における操作ミス(系統圧力高警報のアイソレーション及び駆動水系の隔離をしなかったこと)が原因であり、制御棒駆動系の動作上の問題はなく、正常に安全機能が働いた。
 - (2) 3本の制御棒の部分引き抜けが発生し、厳しめに評価をすると即発臨界状態になったが、その場合でも燃料棒のドップラー効果や減速材(水)の負の反応度が効果的に働き、即発臨界状態はごく短時間で終了し、燃料の破損や放射線問題を一切引き起こさなかったことは、自己制御性が非常に有効に働いたことを示している。
 - (3) 引き抜けが開始してもスクラム信号で引き抜け防止のコレットピストン、フィンガー機構が確実に作動し、部分引き抜けでとどまったことはメカニズムの有効性を示している。

【添付資料】単体スクラム試験およびARI機能試験の動作説明図

注記：系統図は図内並列説明のための概要図である。

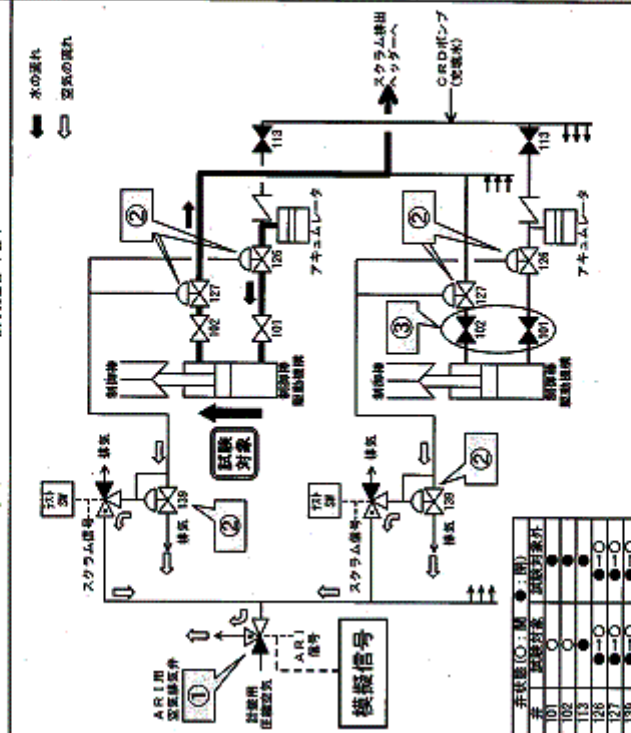
図1 単体スクラム試験



各駆動機構に設置されたスクラムテストスイッチにより、個別にスクラム作動試験を実施する。

①のスクラムテストスイッチは、各制御棒駆動機構にそれぞれ設置され、他の制御棒を挿入することなく、選択した制御棒のみをスクラム作動させることができる。

図2 ARI機能試験

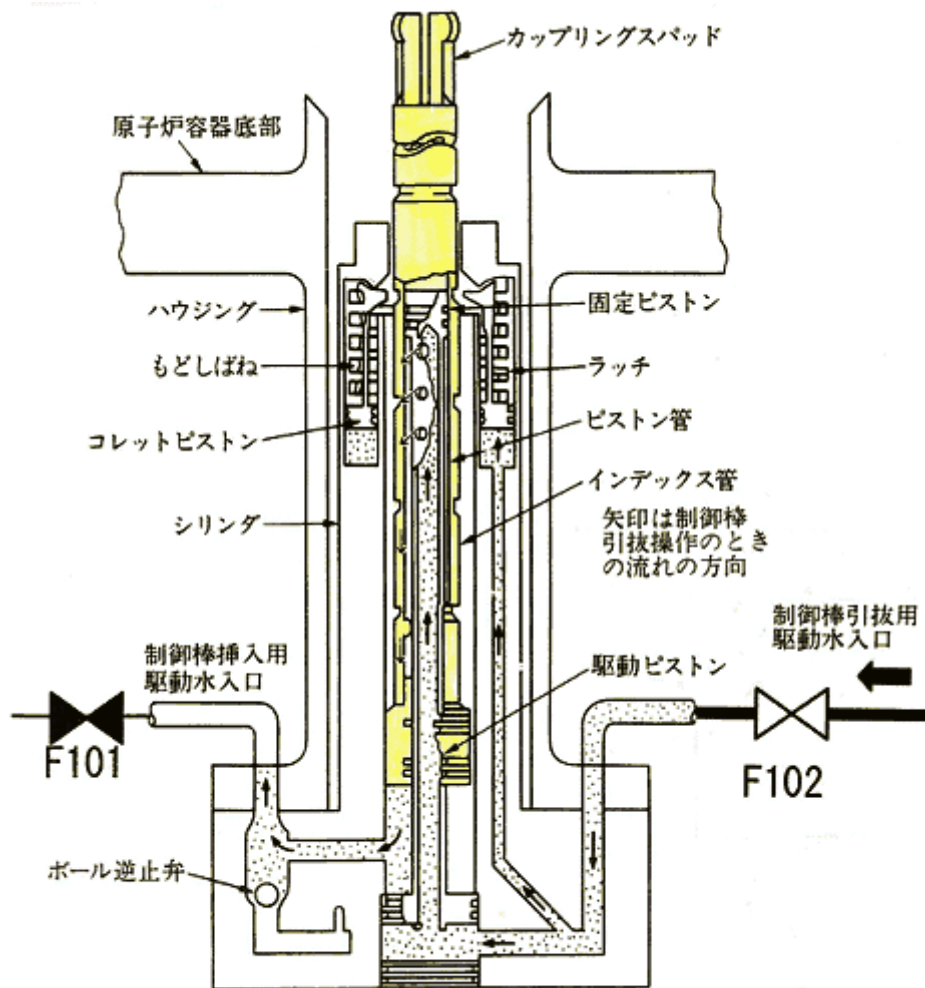


ARI機能は、計装用空気の共通母管の電磁弁を作動させることによって、全制御棒を挿入作動させる。

機能試験は、①の電磁弁に接続番号を与えて、試験対象の制御棒を全挿入から全挿入まで作動させることで実施するが、このとき、試験対象以外の制御棒も含んで全ての制御棒のスクラム弁が閉作動する。

このため、試験対象の1本を除いた他の制御棒については、予め③の隔離弁 (101/102) を閉じておく。

志賀原力発電所1号機で実施したARI機能試験の方法。



制御棒駆動機構断面図 (矢印は引抜時)

図 3、制御棒駆動機構の動作原理説明断面図

(この図は動作原理を説明するものであり、志賀 1 号機の実際の弁開閉操作内容については図 1 , 2 を参照)

注記: 原子炉停止機能強化工事確認試験(「ARI 試験」)とは何か

通常のスラム信号は、中性子束高、炉圧高、炉水位低、MSIV閉、タービントリップ、PCV圧力高等の「OR」条件で発信し、スラムさせるようになっている。
 これに対してスラムにいたる色々な過渡現象(冷却水漏れによる炉水位低下、弁の急閉による炉圧上昇等)を把握して、通常のスラム系とは異なる独立した設備でスラムさせることにより、スラム不能異常過渡現象(ATWS=Anticipated Transient Without Scram)による炉心損傷の可能性を低下させる対策が望まれており、

志賀1号機ではこの目的のために「原子炉停止機能強化工事」が平成11年の定検中に行われた。この工事の確認試験が「ARI試験」である。

ARIは Alternative Rod Insertion の略であり、スクラム信号以外のARI信号でスクラムさせることを意味している。ARI信号は、炉圧高、炉水位低のみの「OR」信号で発信する。この信号を新たに設置された「ARI用空気排気弁」（図2の左端参照）に送り、計装空気を排気させスクラムさせるものである。この「ARI用空気排気弁」は全CRDに共通の弁であり、この作動により、全CRDをスクラムさせることができる。

以上