

3号機の高圧注水系作動時における原子炉圧力について

(1) はじめに

3号機の高圧注水系（HPCI）の動作については、平成23年5月23日に原子力安全・保安院へ報告した「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」において、3号機の炉心の状態の評価の記載の一部に、“HPCI が動作している部分において圧力の低下傾向が見られている。例えば HPCI の蒸気配管を通じて格納容器外へ蒸気がリークすると仮定して解析を行うと、原子炉圧力及び格納容器圧力の挙動と概ね一致する解析結果となる”旨、計測された挙動に合う条件の一例を記載している。

その後、調査及び評価を進めている段階で、HPCI は流量調節をしながら連続運転を実施していたことが判明した。ミニマムフローラインを通じて、一定流量の HPCI 流量を維持するために復水貯蔵タンクを水源とする水が圧力抑制室（S/C）へ流れ込むとの仮定をおくことで、原子炉圧力、格納容器圧力の挙動を説明できる解析結果が得られたことから、平成23年7月28日に上述の内容を公表している。

平成23年12月22日公表した「福島第一原子力発電所事故の初動対応について」に記載の新たに得られた情報、「ミニマムフローラインは S/C の水位が上昇することを懸念して全閉操作していたこと」、「HPCI の流量調整は、原子炉への注水の一部をテストラインにまわすことで実施していたこと」「格納容器を冷却するためスプレイを実施していたこと」に基づき、HPCI の運転状況について整理し、平成23年12月22日に原子力安全・保安院に報告した（「福島第一原子力発電所の事故状況及び事故進展の状況調査結果について」）。

なお、7月28日時点での HPCI 運転状態の推定は実際の運転状態とは異なっていたものの、原子炉からは HPCI の蒸気配管を通じて蒸気の流出を継続させていたこと、S/C に外部から低温の水を持ち込むことで格納容器圧力の上昇が抑制されたこと、という大きな特徴についての変更はなく、結果として、12月22日の解析結果および今回の解析結果は7月28日時点の解析結果と同等の傾向を示すものとなった。また、HPCI の作動期間において原子炉水位は維持されていることから、3号機の炉心の状態の解析結果には特段の影響はない。

(2) 現場の状況及び操作について

○現場の状況について

- ・ HPCI の蒸気配管を通じて格納容器外へ大量に蒸気がリークしていた場合は、HPCI 室含め原子炉建屋内は高温又は高い蒸気雰囲気となり建屋に人が

立ち入ることは不可能であると考えられるが、3月13日にHPCIが停止した後、原子炉隔離時冷却系（RCIC）の再起動を試みるためHPCI室を経由してRCIC室に入った運転員がいた。

○HPCIの操作について

- ・HPCIが起動した後、原子炉水位低、原子炉水位高によるHPCIの起動と停止の繰り返しを回避するため、原子炉水位を確認しながらHPCIの流量調整を実施していた※。この流量調整はテストラインを活かし実施していた。なお、ミニマムフローラインはS/Cの水位が上昇することを懸念して全閉操作していた（図1）。
- ・また、この時HPCIは復水貯蔵タンクを水源として原子炉への注水を行っていた。

○格納容器スプレイについて

- ・格納容器の圧力／温度を低下させるため、表1の時系列で格納容器スプレイを実施していた（図2）。

表1 3号機 格納容器スプレイに関する時系列

日付	時刻	事象
3/12	12:06	DDFPによるS/Cスプレイ開始
3/13	3:05	DDFPによるS/Cスプレイ停止
	5:08	DDFPによるS/Cスプレイ開始
	7:39	DDFPによるD/Wスプレイ開始
	7:43	DDFPによるS/Cスプレイ停止
	8:40～9:10	DDFPによるD/Wスプレイ停止

※：操作手順において、原子炉水位低（L-2）／原子炉水位高（L-8）による起動、停止の繰り返しによってHPCIの運転継続を損なわせてはならない旨が定められている。

(3) 設備の設計という観点でのHPCI配管破断の可能性について

平成23年5月の解析においては、計測された原子炉圧力及び格納容器圧力の挙動に合う条件の一例として、HPCIの蒸気配管を通じて格納容器外へ蒸気がリークするとした場合について記載しているが、7月28日に公表したとおり、設備の設計という観点でHPCI配管が破断し大量の蒸気が漏えいしていたということは考えられない。

- ・HPCI動作期間においては原子炉水位が維持されていたことから、原子炉か

ら発生する蒸気は HPCI に供給され、原子炉への注水が行われていた。

- ・仮に HPCI の蒸気配管が破断し、格納容器外に蒸気が流出した場合、HPCI 蒸気管破断（蒸気流量大）により隔離信号が発せられること、また、HPCI 蒸気配管周りには、HPCI タービン／ポンプ室、蒸気供給ラインペネ室等に温度検出器が設置されており、雰囲気温度高により隔離信号が発せられることから、HPCI は動作しない、もしくは停止すると考えられ、原子炉水位が維持できていたことと整合しない。

(4) 原子炉圧力低下等のプラント挙動の要因について

HPCI の流量を調整し、表 1 の操作を考慮した MAAP 解析の結果（原子炉水位変化、原子炉圧力変化）を図 3、図 4 に示す。なお、RCIC、HPCI は実測の水位を模擬するよう注水量を変化させた解析を行った。

- ・通常は HPCI による注水が開始すると、原子炉圧力は HPCI の注入に伴い減少するが、HPCI の注入に使用された蒸気は S/C で凝縮されるため S/C の水温は上昇し、格納容器圧力は上昇することとなる。
- ・実測の原子炉圧力挙動は、HPCI の継続的な運転により原子炉圧力は低下するものの、原子炉水位高（L-8）による HPCI の不必要な停止を避けるため HPCI 注水量を調整し、その際にテストラインを使用していた。また、格納容器の圧力および温度については、スプレイを実施することで上昇が抑制されていたものと考えられる。
- ・解析において、HPCI の起動直後は注水量を多くし、水位が上昇した後は低下させるとの流量調整を実施すると、注水量低下直後は HPCI タービン流量の低下、蒸気発生量の増加により、一時的に圧力低下速度が緩やかとなる。

(5) まとめ

平成 23 年 7 月 28 日、12 月 22 日に公表した内容と同じく、HPCI 停止後に HPCI 室に人が立ち入っていることや設備の設計の観点から、原子炉圧力の低下は HPCI の配管が破断したことによるものではなく、HPCI の継続的な運転によるものと考えられる。

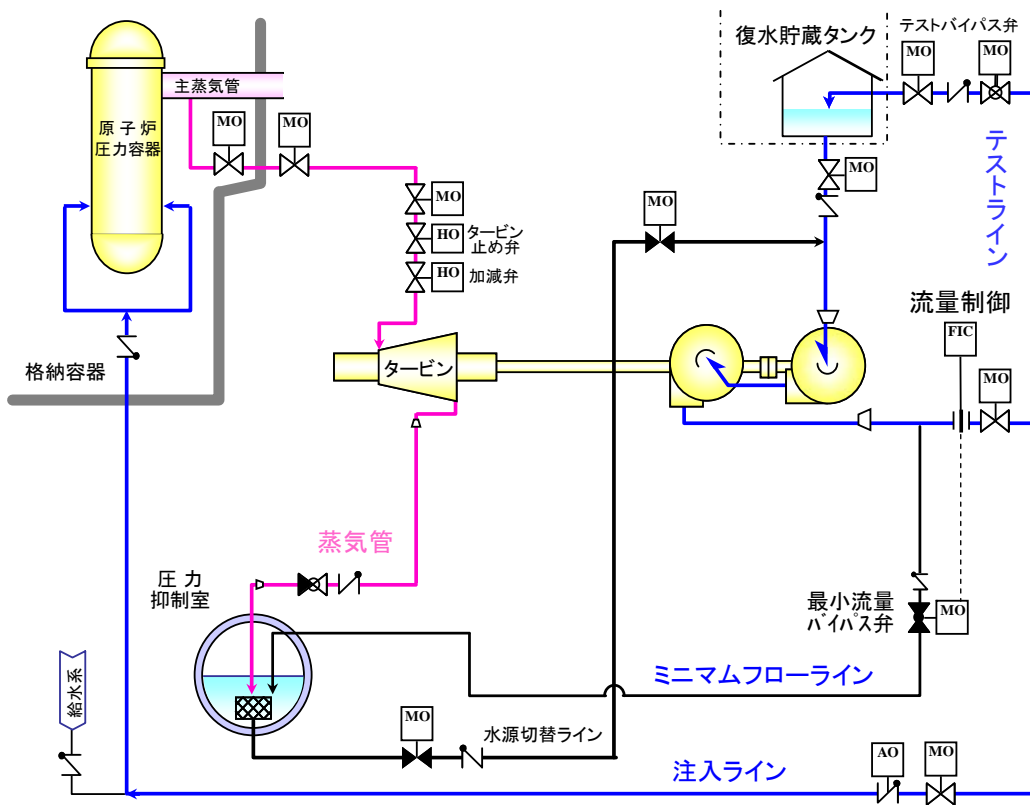


図1 HPCI 系統概略図

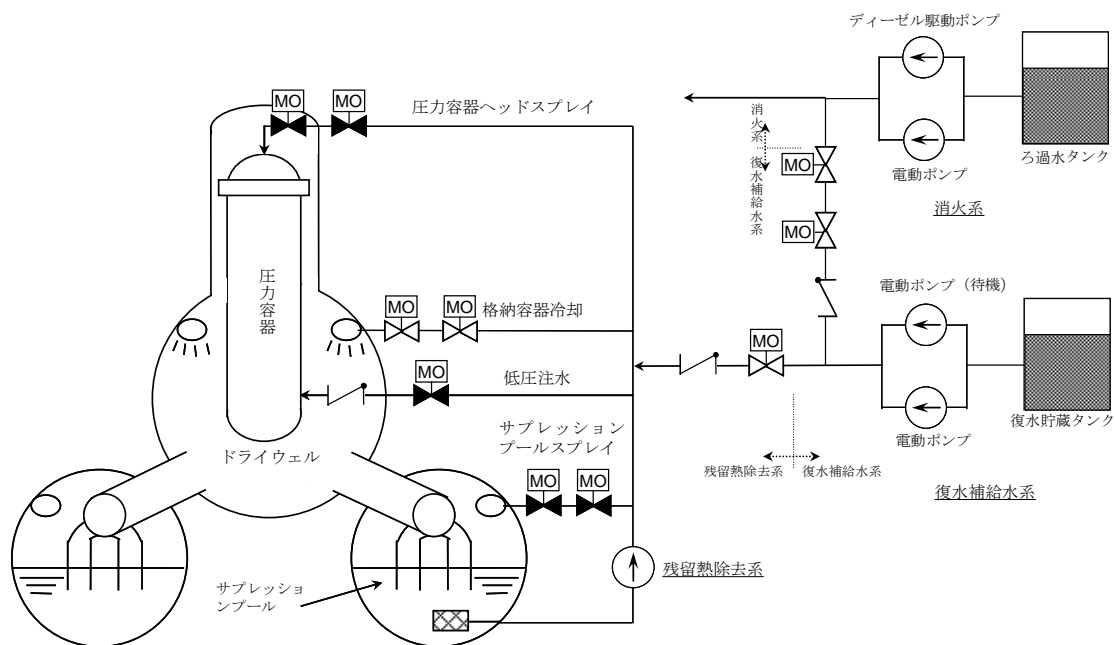


図2 3号機 代替格納容器スプレイ系統概略図

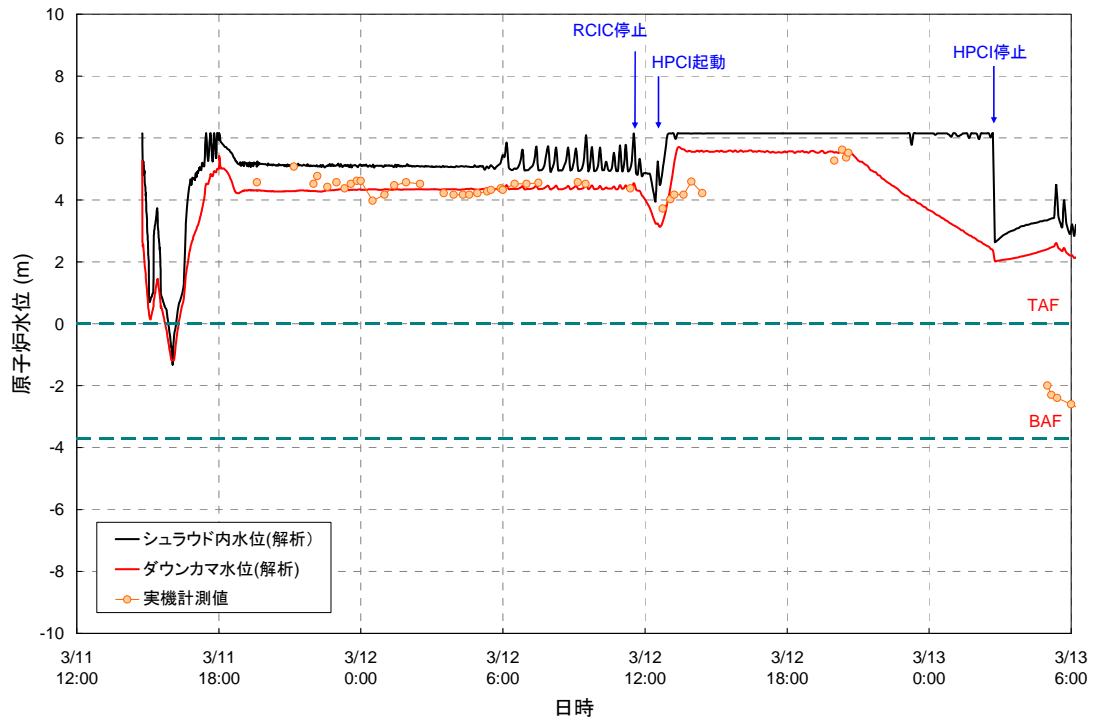


図3 3号機 原子炉水位変化 (今回解析結果)

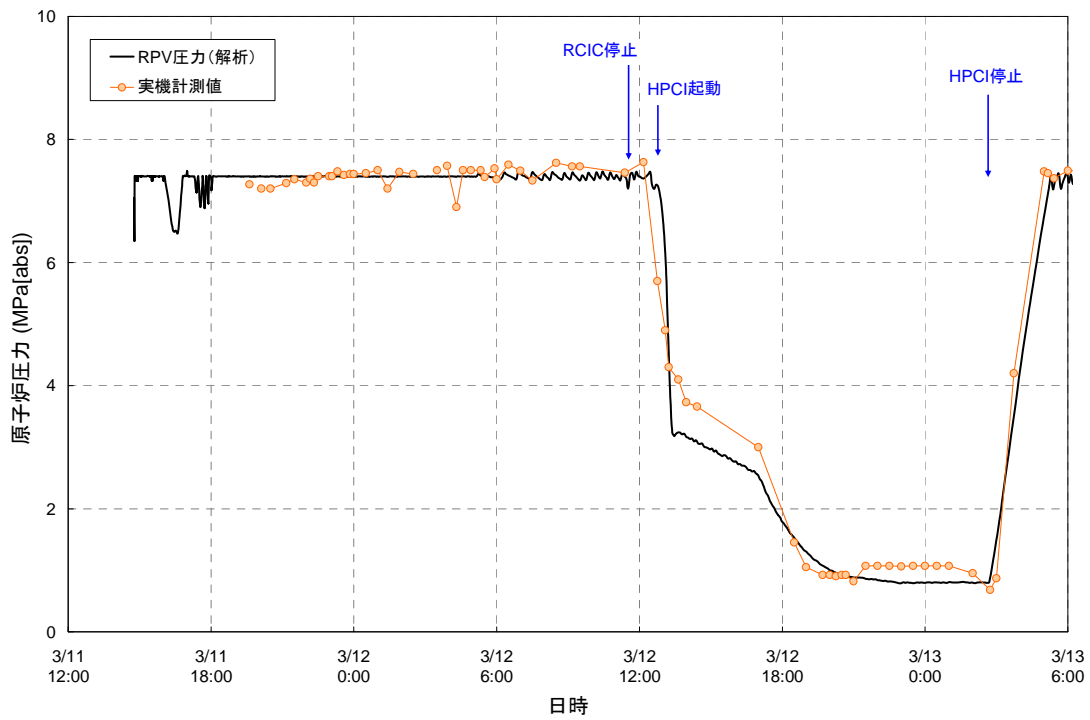


図4 3号機 原子炉圧力変化 (今回解析結果)