

BWR事業者のSBO時における 格納容器隔離弁の閉止操作手順について

2024年3月13日
原子力エネルギー協議会
(ATENA)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

目次

1. はじめに
2. 従来の操作手順の状況
3. 知見を踏まえた手順の見直し
4. 教育訓練
5. まとめ

1. はじめに

- 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会では、福島第一原子力発電所1号炉（以下、「1F1号炉」という。）の原子炉補機冷却系統（以下、「RCW」という。）の汚染に関する調査・分析から得られた知見について、規制上の取扱いに係る検討を進めることが第15回原子力規制委員会（2023年6月14日）にて了承され、検討の為、廃止措置プラント等を除くBWR、PWR全プラントを対象に、格納容器下部の配管の配置や隔離弁の詳細な設計等について、プラント毎の実態に係る情報を整理し提供するよう要望が行われた。
- これを受けて、原子炉圧力容器から落下するデブリの直接的な影響を受けた配管を通じ、放射性物質を含む格納容器内の流体の格納容器外（原子炉建屋）へのリークパスが形成される可能性を検討するため、格納容器下部の配管の配置や隔離弁の設計等について調査し、その結果を第5回東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見の規制への取り入れに関する作業チーム事業者意見聴取会合（以下、「意見聴取会合」という。）（2023年11月1日）にて報告した。
- 第5回意見聴取会合では、PWRは原子炉圧力容器から落下するデブリの直接的な影響を受ける可能性がある配管はあるものの、格納容器を貫通する配管はないこと、BWRでは原子炉圧力容器から落下するデブリの直接的な影響を受ける可能性がある配管はあるものの、隔離弁等の機器（隔離弁の駆動電源確保策を含む）があることから、格納容器外（原子炉建屋）へのリークパスは形成されないものと考えられることを説明した。また、BWRのSBO時における隔離弁閉止操作は現行の操作手順に基づき対応できることを説明し、ATENA-WGにてBWR事業者の操作手順を共有することで、事業者とともにATENAも各事業者が手順に基づき適切に対応できることを適時確認していくこととした。
- ATENA-WGにおいてBWR事業者の操作手順を共有し、新規規制基準に適合したプラントについてはSA想定時においても格納容器を隔離するという原則に対応した取り組みが出来ていることを確認した。しかしながら、溶融炉心が格納容器下部の配管を損傷することで原子炉建屋へのリークパスが形成され得るという重要な知見が1F事故の分析により得られたことから、より確実に操作を実施できるように、手順書の見直しを行うこととした。
- 第60回原子力規制委員会（2024年1月24日）にて、事故時の操作手順を意見聴取会合にて確認することになったことから、今回、BWR事業者の従来の操作手順の状況および今回の知見を踏まえた手順の見直しについてご説明する。

2. 従来の操作手順の状況

(1) BWR事業者の共通的な状況※

- 「原子炉施設保安規定」添付の“原子炉がスクラムした場合の運転操作基準”において、一般的な注意事項として、格納容器隔離信号が発生したにもかかわらず隔離弁が自動作動しない場合の対応を定めている。また、事故時に使用する運転操作手順（事故時操作手順書）にも、同様の注意事項を定めている。（参考1 ➡ 4）
- 具体的な操作手順としても、徴候ベースの手順書に、格納容器隔離信号が発生した場合の格納容器隔離系（以下、「PCIS」という。）の作動状態の確認を定めている（参考2 ➡ 5）。また、SBOにより隔離弁が自動閉止しない場合でも、電源復旧後にPCISの作動状態を確認し、閉止していない隔離弁の閉止操作を行うこととしている。この操作の網羅性の観点として、運転員には基本行動としてプレイスキューピング等による操作漏れ対策を実施するように求められている（参考3 ➡ 6）ことから、SBO時に当該操作が実施できない場合においても、電源復旧後に手順を抜けなく実施することができる。
- 操作時間の観点では、事象進展の早い事故シナリオと、新規制基準適合性審査にて説明しているタイムチャートの関係から、当該操作は原子炉圧力容器破損前に実施可能である。（参考4 ➡ 7）
※電源開発大間原子力発電所も同様の内容にて今後、手順を整備していく方針である。

(2) 設備の相違による個社の状況

- ✓ 日本原子力発電東海第二発電所では、RCW配管の隔離弁は自動隔離インターロックを有さないものの、新規制基準対応としてペDESTAL外に設置する制限弁により、仮にペDESTAL内でRCW配管が損傷してもRCW配管を経由した放射性物質の格納容器外への放出の抑制に期待できる。（参考5 ➡ 8）
- ✓ また、今回得られた知見を踏まえ、運転操作手順に、炉心損傷後におけるRCW配管の格納容器隔離弁の閉止操作を加える予定である。（詳細については、今後の保安規定審査で説明予定）

参考 1 : 保安規定等に定める隔離弁が閉まらなかった場合の対応

保安規定及び事故時操作手順書に定める隔離弁に対する基本的な対応

- ✓ 「原子炉施設保安規定」の添付の“原子炉がスクラムした場合の運転操作基準”において、一般的な注意事項として、格納容器隔離信号が発生したにもかかわらず隔離弁が自動作動しない場合の対応を定めている。
- ✓ 事故時操作手順書にも、同様の注意事項を定めている。また、具体的な操作手順としても、徴候ベースの手順書に、格納容器隔離信号が発生した場合のPCISの作動状態の確認を定め、SBOにより隔離弁が自動閉止しない場合でも、電源復旧後にPCISの作動状態を確認し、閉止していない隔離弁の閉止操作を行うこととしている。

原子炉施設保安規定 添付 1 原子炉がスクラムした場合の運転操作基準（抜粋）

東京電力HD柏崎刈羽原子力発電所7号炉の例

原子炉がスクラムした場合の運転操作基準（7号炉）

（中略）

また、当直長は、以下の一般的な注意事項について留意する。

（中略）

（7）格納容器隔離信号、原子炉建屋隔離信号が発生した場合は、格納容器隔離弁、原子炉建屋給排気隔離弁が自動閉鎖したことを確認する。

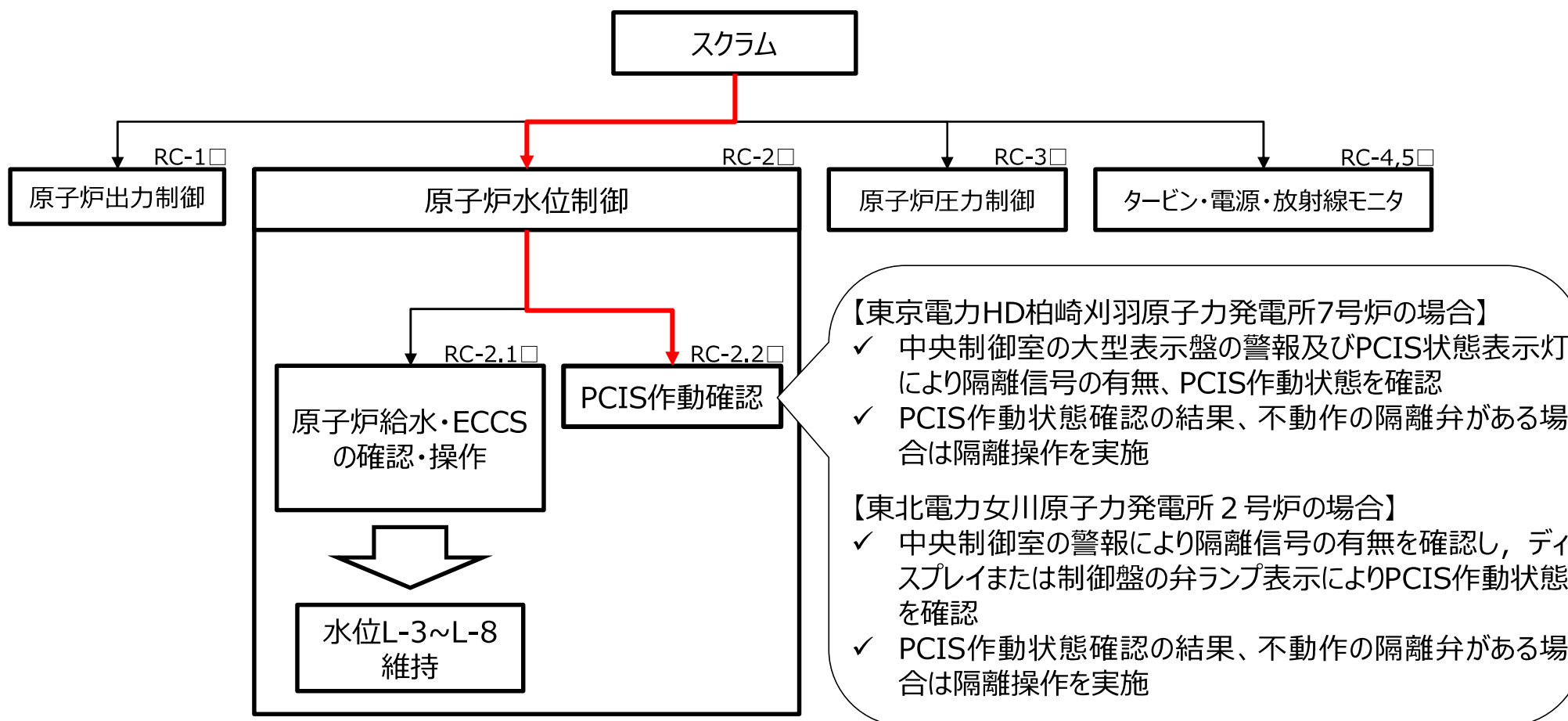
（8）**格納容器隔離信号、原子炉建屋隔離信号が発生したにもかかわらず、格納容器隔離弁、原子炉建屋給排気隔離弁が自動閉鎖しない場合は手動で閉鎖することを試みる。**

また、格納容器隔離弁、原子炉建屋給排気隔離弁が自動閉鎖する事態が発生したと判断される場合にもかかわらず、格納容器隔離弁、原子炉建屋給排気隔離弁が自動閉鎖しない場合は、直ちに手動で閉鎖する。

参考 2 : スクラム発生時の基本的な対応操作

事故時操作手順書（徴候ベース）（以下、「EOP」という。）において、通常スクラム時の隔離弁の確認について定めており、運転員は手順書に従い、PCISの作動状況を確認することとしている。

EOPにおけるRC「スクラム」手順書フロー概略



参考 3 : 操作の網羅性

BWR事業者の社内文書にて、運転操作手順に定める操作実施の抜けを防止する措置の具体的方法として「プレイスキープ」を定めている。プレイスキープを用いることにより、SBO等の場合に、隔離弁の駆動電源がなくEOPで定めるPCIS作動確認の操作手順を行うことができない場合であっても、電源復旧後に、当該操作手順に再度戻ってきて、残っている確認・操作手順を抜けなく実施することができる。

東京電力HD柏崎刈羽原子力発電所7号炉の例

プレイスキープ使用イメージ

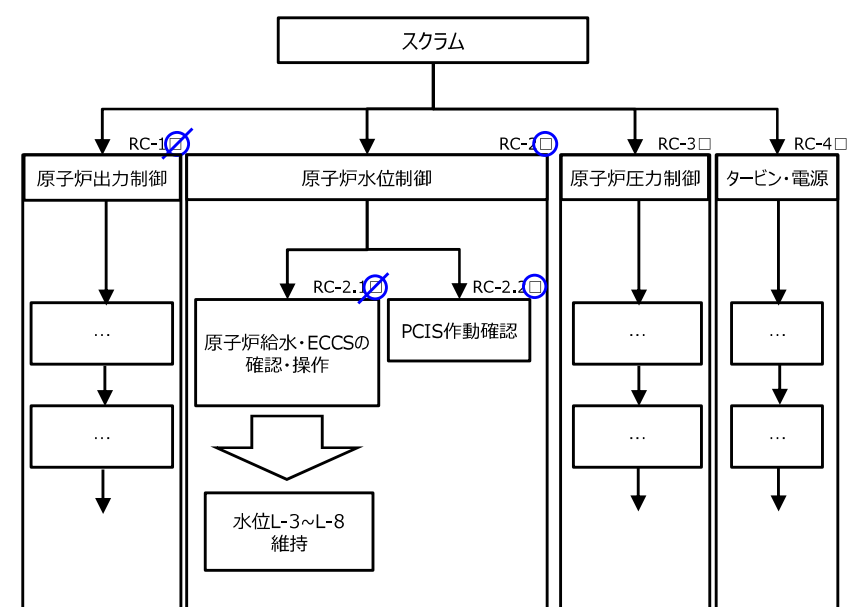
プレイスキープ実施方法

1. これから着手するステップの番号を○で囲う
2. そのステップの操作内容を確認・実施する。
3. ステップを完了したらスラッシュを記入
4. 手順が完了しない場合、○が残り続ける

通常手順

操作手順	操作内容	注意事項	操作場所
1	(1) ○○の系統について以下の系統構成を実施する~ (a) 弁A 「全開」 操作 (b) 弁B 「調整開」 操作	...	原子炉建屋 1階 ○○通路
	(2) 電源の復旧操作を実施する (a) 電源A MCC「入」操作 (b)	コントロール建屋 1階 ○○室
	(3) 受電操作を実施する ...		
2	(1) ...		
...

EOP等のフロー手順



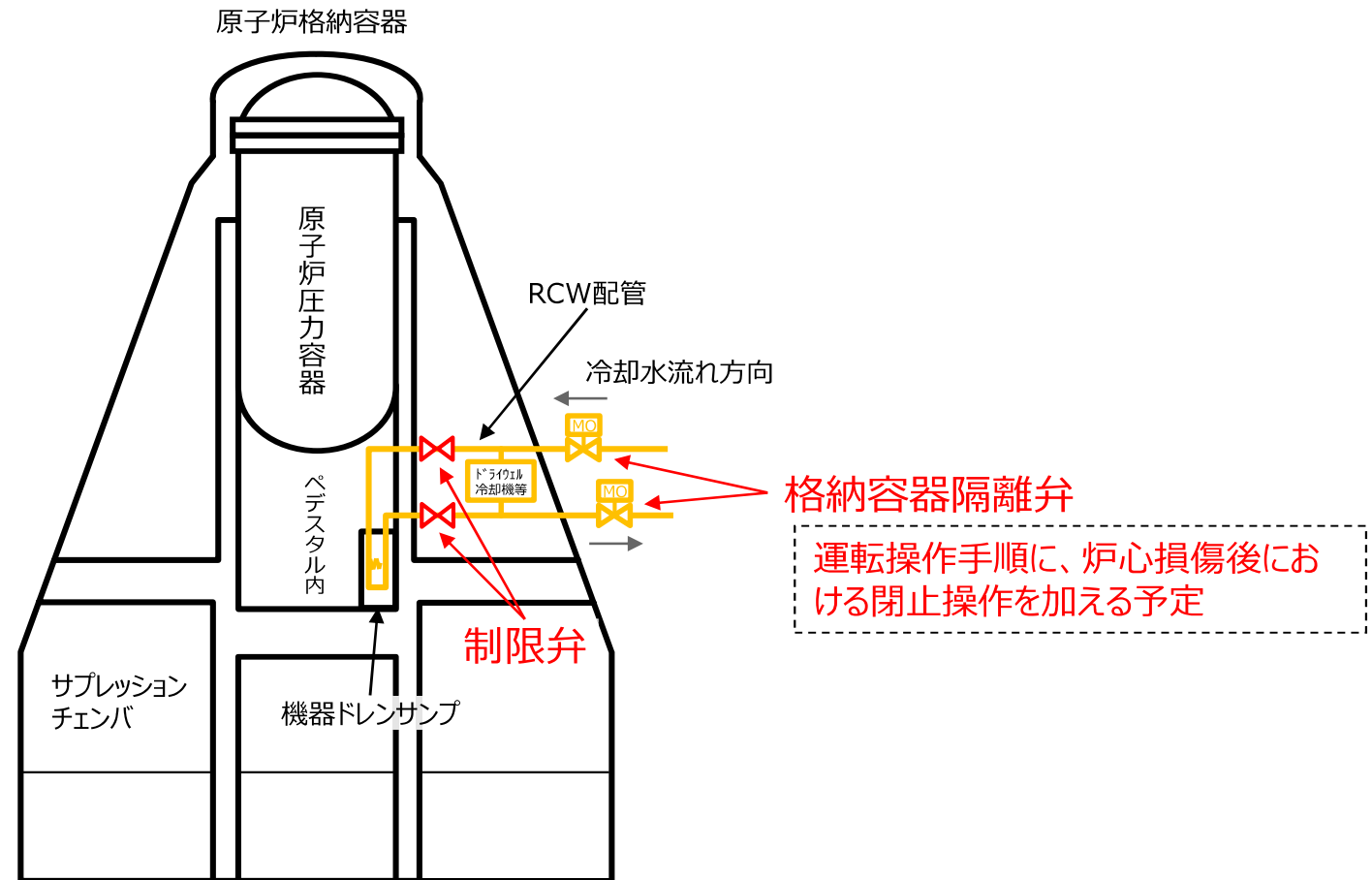
参考 4 : SA時の原子炉圧力容器破損と電源復旧のタイミング (既許可プラント)

新規制基準に適合したプラントについてはSA想定時の要員及び体制を確保していることから、PCISの作動状態確認と閉止していない隔離弁の閉止操作が、原子炉圧力容器破損タイミング及び電源復旧タイミングを比較し、原子炉圧力容器破損前までに実施可能なことを確認している。

プラント名	原子炉圧力容器破損 タイミング		電源復旧 (SA電源から 非常用母線への電源供給) タイミング	備考
	TQUV (RPV破損)	大LOCA (RPV破損)		
柏崎刈羽7号炉	約7時間後	約6時間後	約1時間後	
東海第二	約4.5時間後	約3.3時間後	約1.8時間後※	※ RCW配管の隔離弁については非常用母線を介さずにSA電源から直接給電可能
女川2号炉	約4.3時間後	約3時間後	約1時間後	
島根2号炉	約5.4時間後	約3.3時間後	約1時間後	

参考5：東海第二発電所 RCW配管への制限弁の設置について

- 新規制基準対応として、事故が発生した場合にペDESTAL内への水の流入を制限するため、RCW配管に制限弁を設置することとしている（ペDESTAL外）。制限弁はSA電源からの給電が可能な電動弁とするとともに、PCV圧力高信号及びRPV水位異常低下により自動閉する。また、環境条件として200℃・2Pdを想定し設計を行う。
- この対策により、仮にペDESTAL内でRCW配管が損傷しても、制限弁を閉止することでRCW配管を経由した放射性物質の格納容器外への放出の抑制に期待できる。



3. 知見を踏まえた手順の見直し

(1) 手順の見直し

2. で示した通り、事故時に格納容器を隔離するという原則に対応した取り組みはできているものの、溶融炉心が格納容器下部の配管を損傷させることで原子炉建屋へのリークパスが形成され得るという重要な知見が1F事故の分析から得られたことから、原子炉圧力容器の破損までに隔離弁の状態確認及び閉止操作を実施することを、その目的とともに事故時に使用する運転操作手順等に追記することとした。手順の見直し内容は以下の通りである。なお、今回の手順改訂は保安規定に記載している異常時の措置の基本的な考え方等の変更を伴うものではなく、保安規定の変更は不要と考えている。

※Mark- I 改プラントについては知見の要因となったRCW配管は損傷のおそれはないものの、他に原子炉圧力容器から落下するデブリの直接的な影響を受ける可能性がある配管はあることから同様の対応を行う。

【BWR事業者共通】

- ✓社内文書にRCWの汚染に関する調査・分析から得られた知見に係る教訓を追記（参考6 → 11）
- ✓EOPにおける個別手順「交流／直流電源供給回復」(PS/R)の非常用母線電圧復旧後に、PCIS作動状態の確認を追記（参考6 → 11）

【プラント固有の対応※1】

- ✓SBO発生後の受電手順への隔離弁電源負荷の追加（東京電力HD柏崎刈羽原子力発電所7号炉の事例）（参考7 → 11）
- ✓炉心損傷後におけるRCW配管の格納容器隔離弁の閉止操作の追加※2（日本原子力発電東海第二発電所）（参考5 → 8）

※1：東北電力女川2号炉及び中国電力島根2号炉は対応不要であることを確認済

※2：手順の詳細は検討中

3. 知見を踏まえた手順の見直し

(2) BWR事業者の手順書の改訂スケジュール

BWR事業者はATENA-WGにて状況を共有しつつ、手順書の共有および上記（1）の改訂作業を適宜、進めることとしている。

なお、東京電力HD柏崎刈羽原子力発電所7号炉、東北電力女川原子力発電所2号炉は既に手順書を改訂し、その内容をATENA-WG内にて共有済。中国電力島根原子力発電所2号炉は先行と同様の方針での改訂を8月までに行うことを予定。

参考6：EOPへの追加事項

東京電力HD柏崎刈羽原子力発電所7号炉の例

✓ EOPに1 F事故の教訓として記載を充実

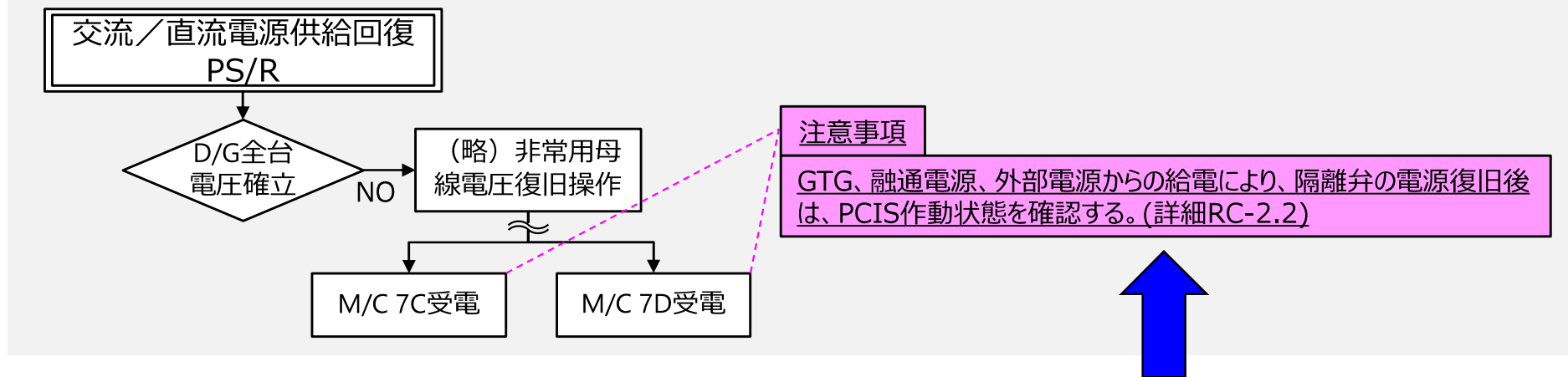
○ 1 F事故の教訓

1 F 1号炉においてR C W配管やR C Wサージタンクの高線量汚染が確認されており、落下した溶融燃料が格納容器ペDESTAL内にあるR C W配管を損傷し、放射性物質等のリークパスを形成したことが推定されている。

この知見を踏まえ、隔離弁の電源復旧後はペDESTAL配管損傷による放射性物質の系外放出防止のため、R P V破損前までにP C V内側・外側隔離弁（P C I S）の作動状態を確認すること。

✓ 個別手順のフロー中に電源復旧後に実施すべき事項として注意事項を追加

EOPにおけるPS/R「交流／直流電源供給回復」手順書フロー概要



RC「スクラム」のフローとのリンクをとり、PCISの作動状態の確認を強化する手順とした

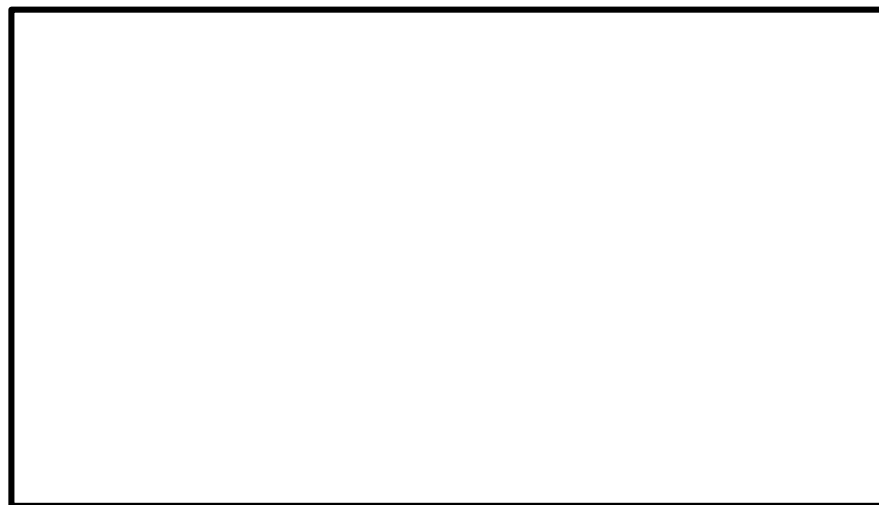
参考7：SBO発生後の受電手順への隔離弁電源負荷の追加 (東京電力HD柏崎刈羽原子力発電所7号炉の事例)

【隔離弁電源負荷の追加】

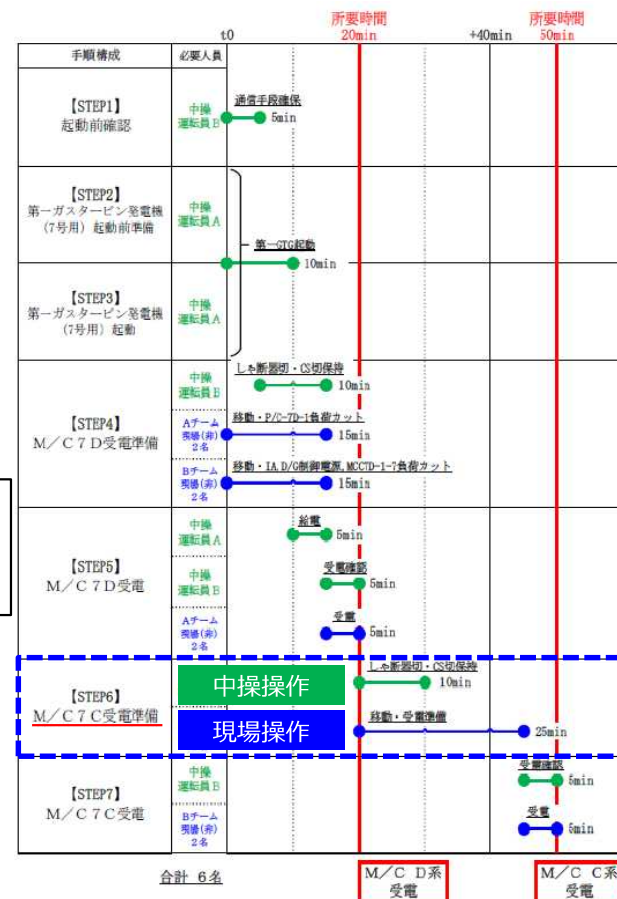
SA時に使用する手順（AM設備別操作手順書）において、SBOとなった際にSA電源から受電を行う手順を定めているが、当該手順では炉心への注水を最優先とすることから受電する負荷を限定しており、片側の一部隔離弁の電源については受電しない手順としていた。しかし、今回の1F1号炉の知見を踏まえ、隔離弁の閉止を確実にするために、追加でC系の非常用母線の受電時に受電する負荷として隔離弁を追加することとした。（D系については既に受電する負荷として手順に入っている）

【有効性評価への影響】

中央制御室にて機器起動阻止の操作スイッチの操作が4件追加となるが、現場操作に比べ中央制御室での操作は所要時間が短いため影響はない。現場にて電源を受電する際に「切」操作としていたしゃ断器を「入」へ変更するが現場所要時間は変わらない。よって影響はない。



隔離弁を負荷に持つ
MCCを受電対象として
追加



AM設備別操作手順書：第一ガスタービン発電機起動（抜粋）

4. 教育訓練

BWR事業者は、手順書改訂後、運転員への教育訓練を実施する。

- ✓ 東京電力HD柏崎刈羽原子力発電所7号炉、東北電力女川原子力発電所2号炉、中国電力島根原子力発電所2号炉は、3.(2)で示した手順改訂後に、各社にて運転員に周知や教育訓練を実施。
- ✓ 今後は年間計画に基づき、計画的に教育訓練を実施する。

5. まとめ

- BWR事業者の共通的な状況を確認した結果、SBO時における隔離弁閉止操作については、従来の操作手順に基づき対応できるものと考えている。
- 一方で、溶融炉心が格納容器下部の配管を損傷することで原子炉建屋へのリークパスが形成され得るという重要な知見が1F事故の分析から得られたことから、より確実に操作を実施できるように、原子炉圧力容器の破損までに隔離弁の状態確認及び閉止操作を実施することとその目的を、事故時に使用する運転操作手順書等に追記することとした。
- BWR事業者において、適宜手順改訂を進め、改訂した手順による教育訓練を実施する。なお、東京電力HD柏崎刈羽7号炉および東北電力女川2号炉は改訂済、中国電力島根2号炉は8月までに先行と同様の方針での改訂を予定。
- ATENA-WGにて、本知見を反映した手順を今後とも共有していく。

参考資料：新規制基準適合性に係る審査状況（BWRプラント）

事業者	プラント名	プラント型式	格納容器形状	新規制基準適合性審査の状況				1F事故から得られた知見を踏まえた手順書類の見直し状況※
				申請	設置変更許可	設計及び工事の計画の認可	保安規定認可	
東北電力株式会社	女川原子力発電所 2号機	BWR-5	Mark- I 改	済	許可済	認可済	認可済	改訂済
	女川原子力発電所 3号機	BWR-5	Mark- I 改	未申請				
	東通原子力発電所 1号機	BWR-5	Mark- I 改	済	審査中	審査中	審査中	時期未定
東京電力ホールディングス株式会社	柏崎刈羽原子力発電所 1号機	BWR-5	Mark- II	未申請				
	柏崎刈羽原子力発電所 2号機	BWR-5	Mark- II 改	未申請				
	柏崎刈羽原子力発電所 3号機	BWR-5	Mark- II 改	未申請				
	柏崎刈羽原子力発電所 4号機	BWR-5	Mark- II 改	未申請				
	柏崎刈羽原子力発電所 5号機	BWR-5	Mark- II 改	未申請				
	柏崎刈羽原子力発電所 6号機	ABWR	RCCV	済	許可済	審査中	未申請	時期未定
	柏崎刈羽原子力発電所 7号機	ABWR	RCCV	済	許可済	認可済	認可済	改訂済
中部電力株式会社	浜岡原子力発電所 3号機	BWR-5	Mark- I 改	済	審査中	未申請	未申請	時期未定
	浜岡原子力発電所 4号機	BWR-5	Mark- I 改	済	審査中	審査中	審査中	時期未定
	浜岡原子力発電所 5号機	ABWR	RCCV	未申請				
北陸電力株式会社	志賀原子力発電所 1号機	BWR-5	Mark- I 改	未申請				
	志賀原子力発電所 2号機	ABWR	RCCV	済	審査中	審査中	審査中	時期未定
中国電力株式会社	島根原子力発電所 2号機	BWR-5	Mark- I 改	済	許可済	認可済	審査中	2024.8月までの改訂を予定
	島根原子力発電所 3号機	ABWR	RCCV	済	審査中	未申請	未申請	時期未定
日本原子力発電株式会社	東海第二発電所	BWR-5	Mark- II	済	許可済	認可済	審査中	時期未定
電源開発株式会社	大間原子力発電所	ABWR	RCCV	済	審査中	審査中	未申請	時期未定