

柏崎刈羽原子力発電所 6 号機

デジタル安全保護回路の
ソフトウェア共通要因故障緩和対策
に関する要件整合報告書(詳細設計)

2025 年 4 月 16 日

東京電力ホールディングス株式会社

改訂来歴

改訂番号	改訂年月日	改訂内容	備考
初版	2024/2/1	新規作成	-
1	2025/4/16	・多様化設備のタイマーリレー内部にワ ンチップマイコンが使用されていることを 受けた設計変更の反映	-
	ー以下余白ー		

柏崎刈羽原子力発電所6号機 デジタル安全保護回路の
ソフトウェア共通要因故障緩和対策に関する要件整合報告書(詳細設計)
目次

	頁
I. 本文	1
II. 添付書類	45

I . 本文

柏崎刈羽原子力発電所6号機におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障(以下、「ソフトウェア CCF」という。)緩和対策について、「原子力発電所におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策に関する技術要件書(ATENA 20-ME05 Rev.1)」(以下、「技術要件書」という。)が定める「3. 多様化設備要件」及び「4. 有効性評価」の各要求内容に対する要件整合性の確認を行い、2024年2月1日に「デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策に関する要件整合報告書(詳細設計)の提出について(発-原設管(設技)-2023-83 2024年2月1日)」を提出している。

多様化設備の警報回路内(ARI 作動(ハード), L-2(ハード), 原子炉圧力高高(ハード))及び ATWS-RPT 回路のタイマーリレー内部にワンチップマイコンが使用されていることが判明したため、当該タイマーリレーがソフトウェア CCF 発生時に機能喪失したと仮定した場合でも運転員が事象に対応可能なように警報回路設計変更を行ったため改訂を行う。なお、ATWS-RPT 回路のタイマーリレーについては、技術要件書に整合するワンチップマイコンが使用されていない物に変更した。

なお、「5. 手順書の整備と教育及び訓練の実施」については、当社が ATENA へ提出した「デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策の実施計画及び実績(2024年10月10日)」において「再稼働前に実施」としていることから、本報告書の対象外とする。

1. 確認方法

技術要件書に記載された要求内容に対して、各要件に対応する設計図書、有効性評価図書等の記載内容を確認し、要求内容ごとに要件整合性の判定及びその理由を記載する。

2. 確認結果

(1) 「3. 多様化設備要件」

多様化設備に対する要件整合性について、以下に示す技術要件書の各要求内容に対して、各設計図書の記載内容を確認した結果、全ての要求内容に対して整合していることを確認した。各要求内容に対する確認結果については表1に示す。

【技術要件書の各要求内容】

- 3.1 設置要求
- 3.2 機能要求
- 3.3 多様化設備の範囲
- 3.4 設計基本方針
- 3.5 多様化設備への要求事項

(2) 「4. 有効性評価」

有効性評価に対する要件整合性について、以下に示す技術要件書の各要求内容に対して、有効性評価図書(「沸騰水型原子力発電所 デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障影響緩和対策の有効性評価書※」TLR-100, HLR-129, 東芝エネルギーシステムズ株式会社, 日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社, 令和 4 年)の記載内容を確認した結果、全ての要求内容に対して整合していることを確認した。各要求内容に対する確認結果については表 2 に示す。

※:本図書では代表 ABWR プラントの解析結果及びそれらを基にした BWR プラントの有効性評価の検討結果を記載しており、柏崎刈羽原子力発電所6号機の有効性評価は包含される。

【技術要件書の各要求内容】

4.2 評価すべき事象

4.3 判断基準

4.4 解析に当たって考慮すべき事項

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(1/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		設計図書
要求内容		判定	理由	
3.1 設置要求				
デジタル安全保護回路を設ける場合には、代替機能を有する多様化設備を設置しなければならない。	デジタル安全保護回路の代替機能を有する、多様化設備を設置する。	○	デジタル安全保護回路がソフトウェア CCF によってその機能をすべて喪失し、かつ運転時の異常な過渡変化、又は設計基準事故が発生した場合でも設計基準事故の判断基準を概ね満足することができる設備を多様化設備として設けることを設計図書により確認した。 具体的な代替機能は 3.2 項にて、多様化設備の範囲は 3.3 項にて確認を行う。	【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 3.3 章
ただし、ソフトウェア CCF が発生するおそれがない場合、若しくは運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、かつ安全保護回路の一部がソフトウェアにより作動するものがある場合で、当該ソフトウェアが機能しない場合を想定しても、他の安全保護回路の安全機能が作動することにより設計基準事故の判断基準を概ね満足することが有効性評価により確認できる場合には、多様化設備を設けなくてもよい。	—	—	多様化設備を設置する計画であるため、考慮しない。	同上

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(2/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		設計図書
要求内容		判定	理由	
3.2 機能要求				
多様化設備は、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、かつソフトウェア CCF により安全機能が喪失した場合においても、設計基準事故の判断基準を概ね満足できるよう、原子炉停止系統、工学的安全施設等を自動、又は手動で作動させることができないなければならない。	デジタル型安全保護回路がソフトウェア CCF によってその機能が全て喪失し、かつ運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生しても設計基準事故の判断基準を概ね満足することができる設備として多様化設備を設ける。 多様化設備は、デジタル安全保護回路とは異なる動作原理により自動または手動で原子炉緊急停止系及び工学的安全施設等を作動させる機能及び警報機能、指示機能を設ける。 ・自動作動機能 代替制御棒挿入 他 (別表 1「多様化設備が有する自動作動機能一覧表」参照) ・手動操作機能 高圧炉心注水系起動 他 (別表 2「多様化設備が有する手動操作機能一覧表」参照) ・警報機能 ARI 作動(ハード) 他 (別表 3「多様化設備が有する警報機能一覧表」参照) ・指示機能 原子炉水位 原子炉圧力 他 (別表 4「多様化設備が有する指示機能一覧表」参照)	○	多様化設備はデジタル安全保護回路とは異なる動作原理により、原子炉緊急停止系、工学的安全施設等を自動又は手動で作動させる設計であることを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 3.4 章,3.5 章 ・柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障対策設備について 3.1 章 ・原子炉緊急停止系 IBD ・原子炉隔離制御系 IBD ・苛酷事故対策設備 IBD ・再循環ポンプトリップ系 後備原子炉停止系 IBD <u>・大型表示盤重要警報回路 IBD</u>
さらに、原子炉停止系統、工学的安全施設等を手動により作動させる場合には、運転員が必要な時間内に操作を開始し、判断基準を概ね満足した状態で事象を収束させることができるよう、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生時に安全保護回路の安全機能動作の異常の発生を認知し、必要な操作の判断を行える機能を設けなければならない。	原子炉緊急停止系、工学的安全施設等を手動により作動させる場合には、運転員が必要な時間内に操作を開始し、判断基準を概ね満足した状態で事象を収束させることができるよう、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生時に安全保護機能動作の異常の発生を認知し、必要な操作の判断を行える機能を設ける。	○	異常な過渡変化または設計基準事故時にソフトウェア CCF が重畳した場合、デジタル安全保護回路は機能喪失し、原子炉緊急停止系及び工学的安全施設は作動せず、多様化設備の ARI が作動し、ARI 作動警報が発報する。これにより運転員は事象発生を認知し、定められた手順書により事象を判断し、必要な操作を実施する。 運転員が必要な時間内に手動操作を開始し、判断基準を概ね満足した状態で事象を収束させることができることの確認は 4 項で行う。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 3.4 章 ・柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障対策設備について 3.1 章

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(3/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		設計図書
要求内容		判定	理由	
3.3 多様化設備の範囲				
多様化設備の範囲は, 3.2 機能要求を達成するために必要となる, 検出器, 操作スイッチ, 論理回路, 指示計・警報等の計測制御設備とする。 この計測制御設備の構成要素は, 3.5 多様化設備への要求事項を満足する限り, デジタル安全保護回路のソフトウェア CCF 影響緩和対策として設けた設備以外の設備(安全保護回路の検出器及び操作スイッチ, 重大事故等対処設備等)も多様化設備として用いることができる。 また, 多様化設備の範囲は, 安全保護回路のデジタル化の範囲等により異なるため, 多様化設備としてどの設備を選定したか設計図書で明確にする。	多様化設備の範囲は以下の(1)～(5)である。 (1)検出器 原子炉水位 原子炉圧力 ドライウェル圧力 復水貯蔵槽水位 HPCF(C)系統流量 (2)操作スイッチ 手動スクラム MSIV 区分Ⅰ～Ⅳ手動隔離 主蒸気内側/外側隔離弁(A)～(D) CUW 吸込ライン内側隔離弁操作スイッチ RCIC 蒸気ライン内側隔離弁操作スイッチ HPCF ポンプ(C)操作スイッチ HPCF S/P 側吸込隔離弁(C)操作スイッチ HPCF 注入隔離弁(C)操作スイッチ HPCF 最小流量バイパス弁(C)操作スイッチ (3)論理回路 代替制御棒挿入 代替冷却材再循環ポンプ・トリップ (4)指示計 原子炉水位 原子炉圧力 ドライウェル圧力 復水貯蔵槽水位 HPCF (C)系統流量 上記(2)の弁, ポンプの状態表示 (5)警報 L-2(ハード) 原子炉圧力高高(ハード) ARI 作動(ハード)	○	多様化設備の範囲が明確に示されていることを設計図書で確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 3.5 章 ・柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障対策設備について 3.1 章 ・【技術検討書】デジタル安全保護回路のソフトウェアに起因する共通要因故障への対応方針について

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(4/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容 (概要)	要件整合性		設計図書
		判定	理由	
要求内容				
3.4 基本設計方針				
デジタル安全保護回路は、十分に高い信頼度でソフトウェア設計がなされており、ソフトウェア CCF が発生する可能性は極めて小さく抑えられているため、多様化設備は、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、かつソフトウェア CCF により安全機能が喪失するという設計基準を超える事象に対応する設備であることから、多様化設備に対しては、設計上、単一故障を考慮しない。 多様化設備は、設計上、火災・溢水あるいは外的影響(地震を除く)とソフトウェア CCF との重畳を考慮しない。 多様化設備は、ソフトウェア CCF 発生時に安全保護回路の代替機能を有する設備であることから、耐環境性、耐震性、供給電源等は、安全保護回路と同等の条件で機能を発揮できる設計とする。	—	—	本項は基本設計方針を記載したものであるため、具体的な設計については「3.5 多様化設備への要求事項」で確認した。 なお、多様化設備のうち既設の自主設備，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備を兼ねる設備については、機器仕様に変更がないため、既存設備状態を示す図書により確認した。	—

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(5/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		設計図書
要求内容		判定	理由	
3.5 多様化設備への要求事項				
3.5.1 多重性				
多様化設備には、多重性は要求しない。	多様化設備は運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、かつソフトウェア CCF により安全機能が喪失するという設計基準を超える事象に対応する設備であることから、設計上、単一故障を考慮しない。	○	多様化設備は単一故障を想定しないことから、多重性を要求していないことを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.1 章
3.5.2 多様性				
多様化設備自体には、多様性は要求しない。	多様化設備自体には多様性を要求しない。	○	多様化設備自体には多様性を要求していないことを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.2 章
多様化設備は、ソフトウェアを用いた安全保護回路に対して多様性を有した設備とすること。なお、多様性を有した設備とは、アナログ設備等、ソフトウェア CCF によってデジタル安全保護回路と同時にその機能を喪失するおそれがないものをいう。	多様化設備はソフトウェア CCF によってデジタル安全保護回路と同時にその機能を喪失するおそれがないようアナログ設備のみで構成する。	○	多様化設備はソフトウェアを用いた安全保護回路に対して多様性を有するハード回路を用いた設計としていることを設計図書により確認した。 <u>なお、警報回路の一部にワンチップマイコンが使用されているが、運転員の認知に問題が無いよう手順書を整備する。</u>	・ソフトウェア CCF 対策設備のデジタル品の使用有無調査結果
また、多様化設備に用いられるソフトウェア及びデジタル安全保護回路に用いられるソフトウェアにおいて、それらのソフトウェアに不具合が共通して内在する可能性がなく、かつその他ソフトウェア CCF が発生するおそれがないことが明らかである場合には、多様化設備にもソフトウェアを用いることができる。	—	—	ハード回路を用いた設計とする計画であるため、考慮しない。	<u>同上</u>
3.5.3 耐環境性				
多様化設備は、4. 有効性評価で対象とする運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故とソフトウェア CCF が重畳する状態で想定される環境条件において、その機能を発揮できる設計とすること。	多様化設備は運転時の異常な過渡変化、又は設計基準事故とソフトウェア CCF が重畳した状態で想定される温度、湿度、放射線等の環境条件においても所定の機能が発揮できる設計とする。	○	多様化設備はソフトウェア CCF に運転時の異常な過渡変化、又は設計基準事故が重畳した場合での環境下においても所定の安全機能が果たせることを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.3 章 ・柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障対策設備について 3.2 章

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(6/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容 (概要)	要件整合性		設計図書
要求内容		判定	理由	
3.5.4 耐震性				
多様化設備は, 基準地震動 Ss による地震力に対し, 機能維持する設計とすること。	多様化設備は基準地震動 Ss に対し機能維持する設計とする。	○	多様化設備の内, 設計基準対象設備及び重大事故等対処設備と共用しておらず, 個別の耐震評価が必要なものについては基準地震動 Ss に対して機能維持することを設計図書により確認した。 なお, 要件整合報告後に行われる盤改造後に現地で耐震性の確認が必要なものは, 自主検査において確認し, 工事・検査完了報告にて報告する。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.4 章 ・中央運転監視盤の耐震性についての計算書 ・格納容器補助盤の耐震性についての計算書 ・AM 用操作盤の耐震性についての計算書 ・ATWS 緩和設備制御盤の耐震性についての計算書 ・高圧代替注水系制御盤の耐震性についての計算書 ・運転監視補助盤の耐震性についての計算書
3.5.5 供給電源				
多様化設備は, 外部電源が利用できない場合においても, 非常用電源系又は重大事故等対処設備電源系から給電できる設計とすること。	多様化設備は外部電源が利用できない場合において, 非常用電源系又は重大事故等対処設備電源系から給電できる設計とする。	○	外部電源が利用できない場合においても, 非常用電源系又は重大事故等対処設備電源系である非常用交流電源設備, 直流電源設備から給電される設計としていることを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.5 章 ・原子炉緊急停止系及び主蒸気隔離系 ECWD ・原子炉冷却材浄化系 ECWD ・原子炉隔離時冷却系 ECWD ・高圧炉心注水系 ECWD ・ <u>原子炉冷却材再循環系 ECWD</u> ・高圧代替注水系 ECWD ・安全保護系デジタル化共通回路 ECWD ・格納容器計装及び不活性ガス系 ECWD ・原子炉系 計装 ECWD ・ <u>原子炉系 故障表示回路 ECWD</u> ・直流電源分割 ECWD ・交流電源分割 ECWD

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(7/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		設計図書
		判定	理由	
要求内容				
3.5.6 設備の共用				
多様化設備は、二以上の発電用原子炉施設において共用しない設計とすること。また、相互に接続しない設計とすること。	多様化設備は二以上の発電用原子炉施設にて共用及び相互接続しない設計とする。	○	二以上の発電用原子炉施設にて共用及び相互接続しないものとして いることを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.6 章
3.5.7 試験可能性				
多様化設備は、原子炉の運転中又は停止中に、試験又は検査ができる設計とすること。	多様化設備は原子炉の運転中又は停止中に、模擬信号又は実動作によって機能が確認できる設計とする。	○	多様化設備は、模擬信号あるいは実動作によって設定値・ロジックなどの機能が確認できる設計としていることを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.7 章
3.5.8 安全保護回路への波及的影響防止				
多様化設備は、多様化設備の故障影響により安全保護回路の安全機能を喪失させない設計とすること。 <u>なお、電气的分離を行うためのアイソレーションデバイスは、安全保護回路に属する。</u>	多様化設備の故障等により安全保護回路の安全機能を喪失させない設計とする。多様化設備と安全保護回路が部分的に設備を共用する場合には、電气的・機能的に隔離又は分離した設計とする。	○	安全保護回路と多様化設備が部分的に設備を共用する場合には、多様化設備の影響により安全保護機能を失わないように、多様化設備が安全保護回路から隔離デバイス(アイソレータ等)により電气的分離を、安全保護回路と多様化設備が部分的に設備を共用しない場合には、異なる筐体に設備を収納する等の物理的分離を考慮した設計であることを設計図書により確認した。 また、隔離デバイスが安全保護系に属していることを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.8 章 ・原子炉冷却材浄化系 ECWD ・原子炉隔離時冷却系 ECWD ・高圧炉心注水系 ECWD ・安全保護系デジタル化共通回路 ECWD ・原子炉系 IDS ・高圧炉心注水系 IDS
3.5.9 火災防護及び溢水防護				
多様化設備が、火災・溢水の影響を受けたとしても、安全保護回路の安全機能を喪失させない設計とすること。	多様化設備が火災、溢水の影響を受けたとしても、安全保護回路の安全機能を喪失させない設計とする。	○	多様化設備が火災・溢水の影響を受けて機能喪失したとしても、多重性を有した安全保護回路のうち、多様化設備と部分的に設備を共用していない区分の回路があるため、安全保護回路の安全機能は喪失しない。 多様化設備は、実用上可能な限り不燃性または難燃性材料を使用し、内部火災等への耐性を可能な限り有する設計であることを、設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.9 章 ・【技術検討書】デジタル安全保護回路のソフトウェアに起因する共通要因故障(ソフトウェアCCF)対策について (a-6), (b-6)

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(8/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		設計図書
要求内容		判定	理由	
3.5.10 外的事象に対する防護				
多様化設備は、想定される自然現象(地震を除く)、人為による事象、蒸気タービン、ポンプ、その他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物等に対して、多様化設備がそれらの影響を受けない設計とすること又は多様化設備がそれらの影響を受けたとしても、安全保護回路の安全機能を喪失させない設計とすること。	多様化設備は想定される自然現象(地震を除く)、人為による事象、蒸気タービン、ポンプ、その他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物に対して、それらの影響を受けない設計とすること又は多様化設備がそれらの影響を受けたとしても、安全保護回路の安全機能を喪失させない設計とする。	○	発電所で考慮する自然現象及び外部人為事象等に対して、多様化設備の受ける影響評価を行った結果、これらの事象に対して多様化設備が影響を受けない、または影響を受けたとしても、安全保護回路の機能を喪失しないことを別表5「多様化設備の自然現象、外部人為事象等に対する影響評価整理表」により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.10 章
3.5.11 操作性				
多様化設備として手動操作設備が必要になる場合は、原子炉制御室に設置すること。	手動操作(そのための監視を含む)を要する多様化設備は、原則として中央制御室に設置する。	○	誤操作防止が図られたハード操作器及び表示を 3.3 項の操作スイッチ及び表示として中央制御室に設置する設計としていることを設計図書により確認した。	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.11 章 ・柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障対策設備について 3.3 章 ・原子炉緊急停止系及び主蒸気隔離系 ECWD ・原子炉冷却材浄化系 ECWD ・原子炉隔離時冷却系 ECWD ・高圧炉心注水系 ECWD
また、原子炉制御室に設置する場合には、誤操作防止を考慮した設計とするとともに、操作結果が確実に確認できるよう配慮した設計とすること。	また、中央制御室に設置する場合には、誤操作防止を考慮した設計とするとともに、操作結果が確実に確認できるよう配慮した設計とする。	○	同上	同上
なお、有効性評価により、原子炉制御室以外での操作で対応可能であることが確認できた場合はこの限りではない。	—	—	ハード操作器は中央制御室に設置済みであるため考慮しない。	同上

表1 「3. 多様化設備要件」に関する要件整合性確認表(9/9)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策設備設計図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		設計図書
要求内容		判定	理由	
3.5.12 監視性				
多様化設備には、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故とソフトウェア CCF が重畳した事象の発生を認知できる警報、事象の判定及び対応操作の判断に必要な監視設備を原子炉制御室に設置すること。	運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故とソフトウェア CCF が重畳した事象の発生を認知できる警報、事象の判定及び対応操作の判断に必要な監視設備を中央制御室に設置する。	○	事象の発生を認知できる警報、事象の判定及び対応操作の判断に必要な 3.3 項の指示計及び警報を中央制御室に設置することを設計図書により確認した。 <u>なお、警報回路の一部にワンチップマイコンが使用されているが、運転員の認知に問題が無いよう手順書を整備する。</u>	・【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について 4.12 章 ・柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障対策設備について 3.1 章 ・原子炉緊急停止系及び主蒸気隔離系 ECWD ・原子炉冷却材浄化系 ECWD ・原子炉隔離時冷却系 ECWD ・高圧炉心注水系 ECWD ・ <u>原子炉冷却材再循環系 ECWD</u> ・高圧代替注水系 ECWD ・安全保護系デジタル化共通回路 ECWD ・格納容器計装及び不活性ガス系 ECWD ・原子炉系 計装 ECWD ・ <u>原子炉系 故障表示回路 ECWD</u>
また、多様化設備が自動で作動した場合には、その作動要因が原子炉制御室に表示される設計とすること。	また、多様化設備が自動で作動した場合には、その作動要因が中央制御室に表示される設計とする。	○	同上	同上

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(1/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
4.2 評価すべき事象				
運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の全事象を対象に評価。	多様化設備は安全保護回路の代替機能を有する設備であるため、「運転時の異常な過渡変化」及び「設計基準事故」の全事象を対象としている。	○	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の全事象を対象としている。	4.1 評価対象の整理 (P.4-1) 添付 1 評価対象事象について (添付表 1-1, 1-2, 1-3)
<u>安全保護回路の一部にソフトウェアにより作動するものがある場合で、多様化設備の設置が不要であることを確認する場合は、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の全事象のうち、当該部のソフトウェア CCF により影響を受ける事象を対象とする。</u>	＝	＝	<u>同上。</u>	＝
ソフトウェア CCF が同じ影響を与える事象はグルーピングすることができる。なお、グルーピングを行う場合は、代表シナリオの包絡性を確認し、その妥当性	ソフトウェア CCF の影響を踏まえグルーピングを行い、以下の事象を解析対象としている。 ○運転時の異常な過渡変化	○	代表シナリオの包絡性を確認し、その妥当性を示している。	4.1 評価対象の整理 (P.4-1) 添付 1 評価対象事象について

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(2/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
を示すこと。	・原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き ・出力運転中の制御棒の異常な引き抜き ・主蒸気隔離弁の誤閉止 ・原子炉圧力制御系の故障 ・給水流量の全喪失 ○設計基準事故 ・原子炉冷却材喪失(原子炉冷却材の喪失又は炉心冷却状態の著しい変化)(主蒸気管破断, 給水配管破断, RHR 出口配管破断) ・原子炉冷却材流量の喪失 ・制御棒落下(反応度の異常な投入又は原子炉出力の急激な変化) 上記解析対象事象のうち, 以下の事象を代表シナリオとして設定している。 ・主蒸気隔離弁の誤閉止 主蒸気隔離弁の誤閉止は, ソフトウェ			

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(3/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
	ア CCF が重畳した場合において、負荷の喪失や外部電源喪失と比較して、再循環ポンプトリップタイミングが遅く、原子炉圧力上昇が最も高くなるため、圧力上昇過渡に分類される事象の代表シナリオとして選定する。 ・原子炉冷却材流量の喪失(APTA) APTAは、ソフトウェア CCF が重畳した場合において、流量急減事象に分類される事象のうち原子炉冷却材喪失以外の事象の代表シナリオとして選定する。 ・原子炉冷却材喪失(原子炉冷却材の喪失又は炉心冷却状態の著しい変化)(主蒸気管破断、給水配管破断、RHR 出口配管破断) 主蒸気管破断、給水配管破断、RHR 出口配管破断は、ソフトウェア CCF が重畳した場合において、より破断面積			

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(4/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
	が小さい原子炉冷却材喪失事象 (LPFL 配管破断, HPCF 配管破断, ドレン配管破断)を包絡するため, 代表シナリオとして選定する。			
以下に該当する場合は解析を省略できる。				
・判断基準に対して影響の程度が軽微である事象	以下の事象は判断基準に対して影響の程度が軽微であるため, 解析を省略している。 ○運転時の異常な過渡変化 ・給水加熱喪失 ・原子炉冷却材流量制御系の誤動作 ・給水制御系の故障 ○設計基準事故 ・原子炉冷却材喪失(環境への放射性物質の異常な放出)(原子炉格納容器内圧力, 雰囲気等の異常な変化) ・主蒸気管破断(環境への放射性物質の異常な放出)	○	対象事象は判断基準に対して影響が軽微であることを示している。	4.1 評価対象の整理 (P.4-1) 添付 1 評価対象事象について(添付表 1-1, 添付表 1-3)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(5/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
	・燃料集合体の落下 ・制御棒落下(環境への放射性物質の異常な放出) ・可燃性ガスの発生 ・動荷重の発生 給水加熱喪失, 原子炉冷却材流量制御系の誤動作, 給水制御系の故障はいずれも, ソフトウェア CCF が重畳した場合において, 主蒸気隔離弁閉に至らず, 原子炉圧力上昇は緩やかなため, 影響の程度は軽微として解析は省略する。 原子炉冷却材喪失(環境への放射性物質の異常な放出)(原子炉格納容器内圧力, 雰囲気等の異常な変化)は, ソフトウェア CCF が重畳した場合においても, 事象進展, 緩和操作に対する影響の程度は軽微として解析を省略する。			

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(6/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
	主蒸気管破断(環境への放射性物質の異常な放出)は、ソフトウェア CCF が重畳した場合においても、現実的な評価条件を考慮することで判断基準を満足すると判断できることから、影響の程度は軽微として解析は省略する。 燃料集合体の落下は、ソフトウェア CCF が重畳した場合においても、現実的な評価条件を考慮することで判断基準を満足すると判断できることから、影響の程度は軽微として解析は省略する。 制御棒落下(環境への放射性物質の異常な放出)は、ソフトウェア CCF が重畳した場合においても、現実的な評価条件を考慮することで判断基準を満足すると判断できることから、影響の程度は軽微として解析は省略する。 可燃性ガスの発生は、ソフトウェア			

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(7/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
	CCF が重畳した場合においても、現実的な評価条件を考慮することで判断基準を満足すると判断できることから、影響の程度は軽微として解析は省略する。 動荷重の発生は、ソフトウェア CCF が重畳した場合においても、事象進展、緩和操作に対する影響の程度は軽微として解析は省略する。			
・グルーピングしたグループ内の代表事象に包絡される事象	以下の事象は代表事象に包絡されるため、解析を省略する。 ・外部電源喪失及び負荷の喪失 外部電源喪失及び負荷の喪失は、代表事象と比較して、再循環ポンプトリップタイミングが早く、原子炉圧力上昇が低い傾向になるため、代表事象である主蒸気隔離弁の誤閉止に包絡される。 ・原子炉冷却材喪失(LPFL 配管破	○	対象事象が代表事象に包絡されていることを示している。	4.1 評価対象の整理(P.4-1) 添付 1 評価対象事象について(添付表 1-1, 添付表 1-2)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(8/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
	断, HPCF 配管破断, ドレン配管破断) より破断面積が大きい原子炉冷却材喪失(主蒸気管破断, 給水配管破断, RHR 出口配管破断)に包絡される。			
・デジタル安全保護回路の動作を期待しない事象	以下の事象はデジタル安全保護回路の動作を期待しないため, 解析を省略する。 ・原子炉冷却材流量の部分喪失 ・放射性気体廃棄物処理施設の破損	○	対象事象がデジタル安全保護回路の動作に期待していないことを示している。	4.1 評価対象の整理 (P.4-1) 添付 1 評価対象事象について(添付表 1-1, 添付表 1-3)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(9/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
4.3 判断基準				
全事象に対して判断基準は設計基準事故において使用される判断基準を準用し、その判断基準を概ね満足することの確認を行う。	判断基準として「設置許可基準規則」第十三条第一項第二号を準用し、解析によりその判断基準を概ね満足することを確認している。	○	設計基準事故において使用される判断基準を準用し、解析結果は「設置許可基準規則」を概ね満足している。	4.2 判断基準 (P.4-1, 4-2) 5. 運転時の異常な過渡変化+ソフトウェア CCF の解析(各表, 各図) 6. 設計基準事故+ソフトウェア CCF の解析(各表, 各図) 7. まとめ(P.7-1)
設備の健全性が別途確認されている原子炉格納容器の限界圧力, 温度等の条件, 及び炉心の著しい損傷防止が達成できることを適切に確認できる他の判断基準を用いてもよい。	—	—	他の判断基準は使用していない。	—

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(10/ 19)

ATENA 技術要件書		ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性		
要求内容	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
		判定	理由	
4.4 解析に当たって考慮すべき事項				
最適評価コードにより、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故に対する評価を行うこと。	最適評価コードである TRAC 系コードを使用し評価を実施している。	○	最適評価コードによる評価を実施している。	4.3 解析に当たって考慮する事項(P.4-2) 4.4 解析に使用する計算プログラム(P.4-4～4-6)
保守的評価によって解析した結果が余裕をもって判断基準を満足する場合には、保守的評価を採用してもよい。	—	—	従来より使用している保守的な評価コード(許認可解析コード)による評価は実施していない。	—
4.4.1 解析にあたって考慮する範囲				
有効性評価においては、事象発生前の状態として、通常運転範囲及び運転期間の全域を対象とすること。	サイクル期間中の炉心燃焼変化、燃料交換等による長期的な変動及び運転中に予想される運転状態を考慮し、全ての運転範囲及び運転期間を対象に解析条件を設定した。	○	全ての運転範囲及び運転期間を対象に解析条件を設定している。	4.3.1 解析にあたって考慮する範囲(P.4-2) 4.5 解析条件(表 4-3～表 4-8)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(11/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
解析は、想定した事象が、判断基準を概ね満足しながら、過渡状態が収束し、その後原子炉は支障なく安定状態へ移行できることが合理的に推定できる時点までを包含すること。	各事象の解析範囲は、事象発生から多様化設備の作動によって事象進展が収束しプラント状態が安定するまでを基本とし、安定状態へ支障なく移行できると合理的に推定できる時点までの解析結果(グラフ)を示している。	○	事象発生から、主要パラメータが判断基準を満足しながら、安定状態へ支障なく移行出来ると合理的に推定できる時点まで解析を実施している。	4.3.1 解析にあたって考慮する範囲(P.4-2) 5. 運転時の異常な過渡変化+ソフトウェア CCF の解析(各表、各図) 6. 設計基準事故+ソフトウェア CCF の解析(各表、各図)
4.4.2 解析で想定する現実的な条件等				
最適評価で想定する現実的な条件の例を以下に示す。				
・事象発生前のプラント初期条件は、設計値等に基づく現実的な値を用いること。その場合には、安全設計の妥当性確認に用いる安全解析における解析条件との差異及び根拠を明確にすること。	解析条件として、解析のプラント初期条件と設定根拠及び安全設計の妥当性確認に用いる安全解析との差異を示している。	○	プラント初期条件及び設定根拠が示されている。	4.3.2 解析で想定する現実的な条件等(P.4-2) 4.5 解析条件 (表 4-3, 表 4-5～表 4-8)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(12/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
・事象発生によって生じる外乱の程度、炉心状態(出力分布、反応度係数等)、機器の容量等は、設計値等に基づく現実的な値を用いること。その場合には、安全設計の妥当性確認に用いる安全解析における解析条件との差異及び根拠を明確にすること。	事象発生による外乱の程度、炉心状態、機器の容量などの解析条件と設定根拠及び安全設計の妥当性確認に用いる安全解析との差異を示している。	○	解析条件及び根拠が示されている。	4.3.2 解析で想定する現実的な条件等(P.4-2) 4.5 解析条件 (表 4-4～表 4-8)
・作動設定点等については計装上の誤差は考慮しなくともよい。	自動作動を期待する設備の作動設定点として設計値を設定し、解析条件として示している。	○	自動作動を期待する設備の動作条件として、計装上の誤差を考慮しない、設計値を設定している。	4.3.2 解析で想定する現実的な条件等(P.4-2) 4.5 解析条件 (表 4-4～表 4-8)
・誤操作が起因事象となる評価では、運転手順に基づく現実的な操作条件を用いること。	原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜きの解析においては、保安規定に基づき作成された制御棒引抜操作手順を考慮し、現実的な操作条件を想定した投入反応度として示している。	○	運転操作手順に基づく現実的な投入反応度を考慮している。	4.3.2 解析で想定する現実的な条件等(P.4-3) 4.5 解析条件 (表 4-6) 5.1.1 原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き(P.5-1)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(13/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
		判定	理由	
要求内容				
4.4.3 安全系機能に対する仮定				
ソフトウェア CCF 発生時のデジタル安全保護回路, 原子炉停止系統及び工学的安全施設を含む安全設備の作動状態については, 以下を仮定すること。				
・ソフトウェア CCF によりデジタル安全保護回路の機能が喪失し, 原子炉停止系統及び工学的安全施設が自動作動しない。	各事象においてデジタル安全保護回路の機能が喪失し原子炉停止系統及び工学的安全施設が動作しないことを解析条件として設定している。	○	ソフトウェア CCF による機能喪失を解析条件に反映している。	4.3.3 安全系機能に対する仮定(P.4-3) 4.5 解析条件 (表 4-4～表 4-6, 表 4-8) 5. 運転時の異常な過渡変化+ソフトウェア CCF の解析(各クロノロジー表) 6. 設計基準事故+ソフトウェア CCF の解析(各クロノロジー表)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(14/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
・デジタル安全保護回路を経由しない、自動起動信号又は運転員が事象の発生を認知した場合の手動起動信号により、原子炉停止系統及び工学的安全施設は作動可能とする。	各事象においてデジタル安全保護回路の機能が喪失し、動作しない原子炉停止系統及び工学的安全施設について、デジタル安全保護回路を経由しない、自動起動信号(代替制御棒挿入、代替再循環ポンプトリップ)及び手動操作(高圧炉心注水系)を解析条件として設定している。	○	デジタル安全保護回路を経由しない、自動起動信号(代替制御棒挿入、代替再循環ポンプトリップ)及びソフトウェア CCF による機能喪失の対応操作として手動起動(高圧炉心注水系)を解析条件として反映している。	4.3.3 安全系機能に対する仮定(P.4-3) 4.5 解析条件 (表 4-4～表 4-5, 表 4-7) 5. 運転時の異常な過渡変化+ソフトウェア CCF の解析(各クロノロジー表) 6. 設計基準事故+ソフトウェア CCF の解析(各クロノロジー表)
・自動起動信号又は運転員の手動操作による、最も確からしいプラント応答を評価するため、安全機能を有する機器の単一故障は想定しない。	各事象において、起因事象による影響を受けない、安全機能を有する機器の単一故障は想定していない。	○	起因事象の影響を受けない安全機能を有する機器の単一故障を解析条件としていない。	4.3.3 安全系機能に対する仮定(P.4-3) 4.5 解析条件 (表 4-5)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(15/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
・安全機能のサポート系(電源系, 冷却系, 空調系等)は, 起因事象との従属性がなく, かつソフトウェア CCF の影響を受けない場合は, 起因事象が発生する前の作動状態を維持する。	各事象において, 起因事象との従属性がなく, かつソフトウェア CCF の影響を受けない安全機能のサポート系(電源系, 冷却系, 空調系等)は, 起因事象が発生する前の作動状態を維持することを想定している。	○	必要な安全機能に対するサポート系について, 起因事象及びソフトウェア CCF の影響を受けないことを確認している。	4.3.3 安全系機能に対する仮定(P.4-3) 添付 4 多様化設備が作動させる設備に対するサポート系の機能確保
4.4.4 常用系機能に対する仮定				
常用系設備の機能については, 以下を仮定すること。				
・起因事象として外部電源の喪失を仮定する事象以外は, 外部電源は利用可能とする。	起因事象が外部電源喪失以外の事象では外部電源喪失は仮定していない。	○	起因事象が外部電源喪失以外の事象では, 解析条件において, 外部電源喪失を仮定していない。	4.3.4 常用系機能に対する仮定(P.4-3) 4.5 解析条件(表 4-5)
・事象発生前から機能しており, かつ事象発生後も機能し続ける設備は, 故障の仮定から除外する。	事象発生前から機能している常用系設備の機能喪失は仮定していない。	○	解析条件において, 起因事象に関係しない常用系設備の機能喪失は仮定していない。	4.3.4 常用系機能に対する仮定(P.4-3) 4.5 解析条件(表 4-4～表 4-5) 6.3 環境への放射性物質の異常な放出

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(16/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
・常用系機能の喪失が起因となる事象が前提である場合は、当該事象を評価する際にはその機能を期待しない。	常用系機能の喪失が前提となる事象では、当該常用系の機能には期待していない。	○	常用系機能の喪失が前提となる事象では、事象発生以降、その機能には期待していない。	(P.6-15～P.6-16) 4.3.4 常用系機能に対する仮定(P.4-3)
4.4.5 多様化設備に関連する条件				
多様化設備に関連する条件を以下に示す。				
(1)機器条件				
・多様化設備がもつ緩和機能の有効性を確認する観点から、多重性を要求しない多様化設備の単一故障は想定しない。	多様化設備の単一故障は想定していない。	○	多重性が要求されない多様化設備の単一故障を想定していない。	4.3.5 多様化設備に関連する条件(P.4-3) 4.5 解析条件(表 4-5)
・多様化設備がもつ緩和機能の有効性を確認する観点から、多様化設備が代替作動させる原子炉停止系統、工学的安全施設等の故障及び誤動作が起因となる事象は想定しない。	多様化設備が代替作動させる原子炉停止系統、工学的安全施設等は、そのサポート系が使用できない場合を除き、代替作動させる設備の故障及び誤動作は想定していない。	○	多様化設備が代替作動させる設備の故障及び誤動作が起因となる事象は想定していない。	4.3.5 多様化設備に関連する条件(P.4-3)

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(17/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
・多様化設備が作動させる原子炉停止系統、工学的安全施設等は、そのサポート系(電源系、冷却系、空調系等)が利用可能であることを確認し、使用できない場合原子炉停止系統、工学的安全施設等は利用できないものとする。	多様化設備が作動させる原子炉停止系統及び工学的安全施設等は、起因事象及びソフトウェア CCF が発生した状態において、そのサポート系が使用可能であることを確認し、その利用を前提として期待していることを記載している。	○	サポート系が起因事象及びソフトウェア CCF の影響を受けず利用可能であることを確認している。	4.3.5 多様化設備に関連する条件(P.4-3) 添付 4 多様化設備が作動させる設備に対するサポート系の機能確保
(2) 操作条件				
・運転員による手動操作をソフトウェア CCF 対策として期待することができる。ただし、有効性評価において運転員による手動操作を期待する場合には、原子炉制御室において運転員による事象の認知が可能であり、それに基づく操作手順書が整備され、運転操作訓練が適切に行われることによって、手動操作が適切に実施されることが前提となる。	事象に応じ、運転員による手動操作を期待しているが、多様化設備の警報等により事象の認知が可能であり、予め定める手順書に基づき手動操作を行うことを記載している。また、上記手動操作については、ハード対策完了までに整備される運転員操作手順書及び教育訓練計画に適切に反映することを記載している。	○	解析上期待している運転員の手動操作の成立性は、有効性評価の知見が反映された運転員操作手順書及び教育訓練計画により裏付けられることを示している。	4.3.5 多様化設備に関連する条件(P.4-4) 添付 5 有効性評価で仮定する運転員対応操作について

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(18/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
要求内容		判定	理由	
原子炉制御室での運転操作開始時間を現実的な想定としてもよい。その場合においては、運転員による事象の認知から運転操作開始までの時間を適切に考慮し、その根拠を明確にすること。	事象に応じ、中央制御室での運転員による手動操作を期待しており、運転員による事象の認知から運転操作開始までの各所要時間を適切に設定している。	○	事象認知から移動や操作にかかる各操作の所要時間を計測し、根拠を明確にしたうえで成立性を確認している。	4.3.5 多様化設備に関連する条件(P.4-4) 添付 5 有効性評価で仮定する運転員対応操作について
原子炉制御室外における運転員による現場操作を考慮してもよい。その場合においては、原子炉制御室における運転員による事象の認知から現場操作場所までの移動時間、及び現場操作場所に到着してから操作開始までの時間は適切に考慮し、その根拠を明確にすること。	—	—	中央制御室以外での現場操作を想定していない。	—

表 2 「4. 有効性評価」に関する要件整合性確認表(19/ 19)

ATENA 技術要件書	ソフトウェア CCF 対策有効性評価図書の要件整合性			
	記載内容(概要)	要件整合性		有効性評価図書
		判定	理由	
要求内容				
4.4.6 解析に使用する計算プログラム及びモデル				
有効性評価を行う場合は、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の解析で用いる計算プログラム及びモデル、又は最適評価コード及び現実的な計算モデルを使用すること。	最適評価コード及び現実的な計算モデルを使用している。また、有効性評価に用いた計算プログラム及びモデルについて詳述した他の資料を引用する形で記載している。	○	最適評価コード及び現実的な計算モデルを使用しており、詳細は引用した他の資料から確認できる。	4.3 解析に当たって考慮する事項(P.4-2) 4.4 解析に使用する計算プログラム(P.4-4～4-6) 8. 参考文献(P.8-1)
許認可での使用実績の無い計算プログラム及びモデルは、適用範囲(プラント型式、対象事象、事象進展に関わる現象等)について、妥当性確認及び検証が行われたものであること。なお、許認可での使用実績により、計算プログラム及びモデルの確認が行われている場合であっても、ソフトウェア CCF 事象の評価実績が無い場合は、上記に示した適用範囲について、妥当性確認及び検証が行われたものであること。	有効性評価に用いた計算プログラム及びモデルについて、妥当性確認及び検証を行っている。 各コード、解析モデルの妥当性を詳述した他の資料を引用する形で示している。	○	解析で用いた計算プログラム、モデルの妥当性確認及び検証を行っており、詳細は引用した他の資料から確認できる。 なお、有効性評価に TRAC 系コードを適用するために必要な妥当性確認及び検証の適切性について、事業者が確認又は判断したことを「添付 3 TRAC 系コードの適格性評価」に記載している。	4.4 解析に使用する計算プログラム(P.4-4) 8. 参考文献(P.8-1)

別表1 多様化設備が有する自動作動機能一覧表

工学的安全施設等の起動信号の種類		検 出 器 及 び 作 動 条 件						工学的安全施設等の起動信号を発信させない条件	備 考
		検 出 器 の 種 類	個 数	取 付 箇 所		工学的安全施設等の起動に要する信号の個数	設 定 値		
代 替 制 御 棒 挿 入	原子炉 圧力高	原子炉圧力*1 検出器	3	系統名	—	2	7.48MPa 以下	—	各検出器は設計基準対象施設、重大事故等対処設備と共用
				設置床	原子炉建屋 T.M.S.L 4800mm				
	原子炉 水位低 (L-2)	原子炉水位*2 検出器	4	系統名	—	2	1165cm (原子炉圧力容器零レベル*3より)以上	—	
				設置床	原子炉建屋 T.M.S.L 4800mm				

別表1 多様化設備が有する自動作動機能一覧表

工学的安全施設等の起動信号の種類			検 出 器 及 び 作 動 条 件					工学的安全施設等の起動信号を発信させない条件	備 考
			検 出 器 の 種 類	個 数	取 付 箇 所		工学的安全施設等の起動に要する信号の個数	設 定 値	
代替冷却材再循環ポンプ・トリップ	(1)*4	原子炉圧力高	原子炉圧力*1 検出器	3	系統名	—	2	7.48MPa 以下	—
					設置床	原子炉建屋 T.M.S.L 4800mm			
	(1)*4	原子炉水位低 (L-3)	原子炉水位 検出器	3	系統名	—	2	1285cm (原子炉圧力容器零レベル*3より)以上	—
					設置床	原子炉建屋 T.M.S.L 4800mm			
	(2)*5	原子炉水位低 (L-2)	原子炉水位*2 検出器	4	系統名	—	2	1165cm (原子炉圧力容器零レベル*3より)以上	—
					設置床	原子炉建屋 T.M.S.L 4800mm			

*1: 同一検出器

*2: 同一検出器

*3: 原子炉圧力容器零レベルは, 蒸気乾燥器スカート下端より 1224cm 下。

*4: 本信号により, 原子炉冷却材再循環ポンプ 4 台を自動停止させる。

*5: 本信号により, 原子炉冷却材再循環ポンプ 6 台を自動停止させる。

別表2 多様化設備が有する手動操作機能一覧表

操 作 器 の 種 類	個数	取 付 箇 所 (設 置 床)	備 考
手動スクラム	2	コントロール建屋 T.M.S.L 17300mm (中央制御室)	各操作器は設計基準対象施設, 重大事故等対処設備と共用
MSIV 区分 I ～IV 手動隔離	4		
主蒸気内側/外側隔離弁 (A)～(D)	8		
CUW 吸込ライン内側隔離弁 操作スイッチ	1		各操作器は設計基準対象施設, 重大事故等対処設備とは異なる 設備として設置
RCIC 蒸気ライン内側隔離弁 操作スイッチ	1		
HPCF ポンプ(C) 操作スイッチ	1		
HPCF S/P 側吸込隔離弁(C) 操作スイッチ	1		
HPCF 注入隔離弁(C) 操作スイッチ	1		
HPCF 最小流量バイパス弁(C) 操作スイッチ	1		

別表3 多様化設備が有する警報機能一覧表

警 報 の 種 類	個数	取 付 箇 所 (設 置 床)	備 考
L-2 (ハード)	1	コントロール建屋 T.M.S.L 17300mm (中央制御室)	設計基準対象施設，重大事故等対処設備とは異なる設備として，運転監視補助盤に設置する。
原子炉圧力高高 (ハード)	1		
ARI 作動 (ハード)	1		

別表4 多様化設備が有する指示機能一覧表

名 称	検 出 器 類	計 測 範 囲	個 数	取 付 箇 所	備 考
原子炉水位	差圧式水位 検出器	-3200～+3500mm ^{*1}	1	系 統 名	—
				設 置 床	原子炉建屋 T.M.S.L 4800mm
		-8000～+3500mm ^{*1}	1	系 統 名	—
				設 置 床	原子炉建屋 T.M.S.L -8200mm
原子炉圧力	弾性圧力 検出器	0～11MPa	1	系 統 名	—
				設 置 床	原子炉建屋 T.M.S.L 4800mm
ドライウェル圧力	弾性圧力 検出器	-15～30kPa	1	系 統 名	—
				設 置 床	原子炉建屋 T.M.S.L 27000mm
復水貯蔵槽 水位	差圧式水位 検出器	0～+16m ^{*2}	1	系 統 名	復水補給水系
				設 置 床	廃棄物処理建屋 T.M.S.L -6100mm
高圧炉心注水系 系統流量	差圧式流量 検出器	0～1000m ³ /h	1	系 統 名	高圧炉心注水系 C
				設 置 床	原子炉建屋 T.M.S.L -8200mm

*1: 基準点は蒸気乾燥器スカート下端“(原子炉圧力容器零レベルより 1224cm)

*2: 基準点は復水貯蔵槽のノズル下端。

別表4 多様化設備が有する指示機能一覧表

名 称	検 出 器 類 の 種 類	計 測 範 囲	個 数	取 付 箇 所	備 考
主蒸気隔離弁の 状態	リミットスイッチ	開閉状態	8	系 統 名	—
				設 置 床	—
CUW 吸込ライン 内側隔離弁の状態	リミットスイッチ	開閉状態	1	系 統 名	—
				設 置 床	—
RCIC 蒸気ライン 内側隔離弁の状態	リミットスイッチ	開閉状態	1	系 統 名	—
				設 置 床	—
HPCF ポンプ(C) の状態	リミットスイッチ	動作状態	1	系 統 名	—
				設 置 床	—
HPCF S/P 側吸 込隔離弁(C) の 状態	リミットスイッチ	開閉状態	1	系 統 名	—
				設 置 床	—
HPCF 注入隔離 弁(C) の状態	リミットスイッチ	開閉状態	1	系 統 名	—
				設 置 床	—
HPCF 最小流量 バイパス弁(C)の 状態	リミットスイッチ	開閉状態	1	系 統 名	—
				設 置 床	—

検出器は設計基準
対象施設，重大事
故等対処設備と共
用

別表5 多様化設備の自然現象, 外部人為事象等に対する影響評価整理表

(判定記号) ○：影響なし ―：該当なし

設置(変更)許可において想定される自然事象等			(参考)設置許可での想定/対策の概要	各事象に対する多様化設備への影響評価	
				結果	理由
5 条(津波による損傷の防止)	津波		浸水防止設備としては, タービン建屋海水熱交換器区域地下の補機取水槽上部床面に取水槽閉止板を設置し, タービン建屋内の区画境界部及び他の建屋との境界部に水密扉, 止水ハッチ, 浸水防止ダクト(7 号炉) 及び床ドレンライン浸水防止治具の設置並びに貫通部止水処置を実施する。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
6 条(外部からの衝撃による損傷の防止)	想定される自然現象(地震除く)	森林火災	過去の気象条件を踏まえて, 約 20m の防火帯幅を確保すること等により安全施設が安全機能を損なうことのない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		風(台風)	設計基準風速(40.1m/s, 地上高 10m, 10 分間平均)の風荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		竜巻	設計竜巻の最大風速 92m/s の竜巻が発生した場合においても, 竜巻及びその随伴事象によって安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		低温(凍結)	屋内設備について換気空調系により環境温度を維持し, 屋外設備については保温等の凍結防止対策を必要に応じて行うことにより, 安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。

別表5 多様化設備の自然現象, 外部人為事象等に対する影響評価整理表

(判定記号) ○：影響なし —：該当なし

設置(変更)許可において想定される自然事象等			(参考)設置許可での想定/対策の概要	各事象に対する多様化設備への影響評価	
				結果	理由
6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	想定される自然現象(地震除く)	降水	設計基準降水量(101.3mm/h)の降水による荷重に対し, 排水口による海域への排水等により安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		積雪	設計基準積雪量(167cm)の積雪荷重に対し機械的強度を有すること, また, 非常用換気空調系の給・排気口は, 設計基準積雪量より高所に設置することにより安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		落雷	原子炉建屋等への避雷針の設置, 接地網の敷設による接地抵抗の低減等を行うとともに, 安全保護系への雷サージ侵入の抑制を図る回路設計を行うことにより安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		地滑り	斜面からの離隔距離を確保し地滑りのおそれがない位置に設置することにより安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		火山	設定した降下火砕物の設計基準堆積量等に対し, 以下の影響について, 安全機能を損なわない設計とする。 ・直接的影響(降下火砕物の堆積荷重, 化学的影響(腐食), 降下火砕物による閉塞等) ・間接的影響(長期間の外部電源の喪失等)	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。

(判定記号) ○：影響なし －：該当なし

別表5 多様化設備の自然現象, 外部人為事象等に対する影響評価整理表

設置(変更)許可において想定される自然事象等			(参考)設置許可での想定/対策の概要	各事象に対する多様化設備への影響評価	
				結果	理由
6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	想定される自然現象(地震除く)	生物学的影響(クラゲ等)	クラゲ等の発生に対して, クラゲ等を含む塵芥による原子炉補機冷却海水系等への影響を防止するため, 除塵装置及び海水ストレーナを設置し, 必要に応じて塵芥を除去することにより, 安全機能を損なわない設計とする。 小動物の侵入に対しては, 屋内設備は建屋止水処置等により, 屋外設備は端子箱貫通部の閉止処置を行うことにより, 安全機能を損なわない設計とする。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	人為事象	爆発	大きな爆発が発生するおそれがある施設としては, 石油コンビナート等が想定される。石油コンビナート等とは, 石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域内の特定事業所及びコンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所が想定されるが, いずれの施設についても柏崎刈羽原子力発電所から10km以遠であり, 発電用原子炉施設に影響がないことを確認した。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。

別表5 多様化設備の自然現象, 外部人為事象等に対する影響評価整理表

(判定記号) ○：影響なし —：該当なし

設置(変更)許可において想定される自然事象等			(参考)設置許可での想定/対策の概要	各事象に対する多様化設備への影響評価	
				結果	理由
6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	人為事象	近隣工場等の火災・爆発	(爆発)で示したとおり, 発電所近隣の工場で爆発により影響があると考えられるものはないことから, 敷地周辺の道路を運行中の燃料輸送車両の火災・爆発, 発電所港湾内へ侵入してきた漂流船舶の火災・爆発, 敷地内危険物タンクの火災による影響を評価した。 燃料輸送車両及び漂流船舶ともに, 火災で原子炉建屋外壁面が許容温度(200℃)以下となる危険距離, 爆発で人体に影響がないとされる爆風圧(0.01MPa)以下となる危険限界距離のいずれに対しても, 十分な離隔距離があることを確認した。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		航空機墜落による火災	航空機が発電用原子炉施設周辺で落下確率が 10^{-7} 回/炉・年以上になる地点へ落下することを想定し, 発電用原子炉施設に対する火災の影響を評価した結果, 6号炉及び7号炉の外壁面温度が許容温度(200℃)を下回ることを確認した。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。

別表5 多様化設備の自然現象, 外部人為事象等に対する影響評価整理表

(判定記号) ○：影響なし ―：該当なし

設置(変更)許可において想定される自然事象等			(参考)設置許可での想定/対策の概要	各事象に対する多様化設備への影響評価	
				結果	理由
6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	人為事象	有毒ガス	有毒ガスの漏えいについては固定施設(石油コンビナート等)と可動施設(陸上輸送, 海上輸送)からの流出が考えられる。発電所周辺には周辺監視区域が設定されているため, 発電用原子炉施設と近隣の施設や周辺道路との間には離隔距離が確保されていることから, 有毒ガスの漏えいを想定した場合でも, 中央制御室の居住性が損なわれることはない。また, 敷地港湾の前面の海域を移動中の可動施設から有毒ガスの漏えいを想定した場合も同様に, 離隔距離が確保されているため, 中央制御室の居住性が損なわれることはない。 発電所敷地内に貯蔵している化学物質については, 貯蔵設備からの漏えいを想定した場合でも, 非常用換気空調系等により中央制御室の居住性が損なわれることはない。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。

別表5 多様化設備の自然現象, 外部人為事象等に対する影響評価整理表

(判定記号) ○：影響なし —：該当なし

設置(変更)許可において想定される自然事象等			(参考)設置許可での想定/対策の概要	各事象に対する多様化設備への影響評価	
				結果	理由
6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	人為事象	船舶の衝突	最も距離の近い航路でも柏崎刈羽原子力発電所より30kmの離隔距離があり、航路を通行する船舶の衝突により、安全施設が安全機能を損なうことはない。 小型船舶が発電所近傍で漂流した場合でも、敷地前面の防波堤等に衝突して止まることから取水性に影響はない。また、カーテン・ウォール前面に小型船舶が到達した場合であっても、深層から取水することにより、取水機能が損なわれるような閉塞は生じない設計とする。 また、船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合は、オイルフェンスを設置する措置を講じる。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。
		電磁的障害	安全保護系は、電磁的障害による擾乱に対して、制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、通信ラインにおける光ケーブルの適用等により、影響を受けない設計としている。したがって、電磁的障害により安全施設の安全機能を損なうことはない。	○	多様化設備では当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。

別表5 多様化設備の自然現象, 外部人為事象等に対する影響評価整理表

(判定記号) ○：影響なし －：該当なし

設置(変更)許可において想定される自然事象等		(参考)設置許可での想定/対策の概要	各事象に対する多様化設備への影響評価	
			結果	理由
12 条(安全施設)	タービン等の飛来物	タービンミサイルが貫通しない障壁を設ける設計とする。 ・ポンプ, モータ, タービン(RCIC 系, 給水系)などの異常によりミサイルが発生する確率が 10^{-7}/年以下であること。 ・上記が不可能な場合には, 安全上重要な系統, 機器へのミサイル落下確率(破損に至らしめる確率)が 10^{-7}/年以下であること。 ・上記が不可能な場合には, 離隔壁を追加すること。	○	多様化設備は当該事象の影響を受けない建屋内に設置している。

Ⅱ. 添 付 書 類

目 次

(1) 添付資料

添付1 「3. 多様化設備要件」における設計図書

添付1-1 柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通
要因故障対策設備について

添付1-2 【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について

添付1-3 【技術検討書】デジタル安全保護回路のソフトウェアに起因する共通要因故障への対
応方針について

添付1-4 【技術検討書】デジタル安全保護回路のソフトウェアに起因する共通要因故障(ソフト
ウェアCCF)対策について

添付1-5 インターロックブロック線図

添付1-5-1 原子炉緊急停止系 IBD

添付1-5-2 原子炉隔離制御系 IBD

添付1-5-3 苛酷事故対策設備 IBD

添付1-5-4 再循環ポンプトリップ系 後備原子炉停止系 IBD

添付1-5-5 大型表示盤重要警報回路 IBD

添付1-6 展開接続図

添付1-6-1 原子炉緊急停止系及び主蒸気隔離系 ECWD

添付1-6-2 原子炉冷却材浄化系 ECWD

添付1-6-3 原子炉隔離時冷却系 ECWD

添付1-6-4 高圧炉心注水系 ECWD

添付1-6-5 原子炉冷却材再循環系 ECWD

添付1-6-6 高圧代替注水系 ECWD

添付1-6-7 安全保護系デジタル化共通回路 ECWD

添付1-6-8 格納容器計装及び不活性ガス系 ECWD

添付1-6-9 原子炉系 計装 ECWD

添付1-6-10 原子炉系 故障表示回路 ECWD

添付1-6-11 直流電源分割 ECWD

添付1-6-12 交流電源分割 ECWD

添付1-7 耐震計算書

添付1-7-1 中央運転監視盤の耐震性についての計算書

添付1-7-2 格納容器補助盤の耐震性についての計算書

添付1-7-3 AM 用操作盤の耐震性についての計算書

添付1-7-4 ATWS 緩和設備制御盤の耐震性についての計算書

添付1-7-5 高圧代替注水系制御盤の耐震性についての計算書

添付1-7-6 運転監視補助盤の耐震性についての計算書

添付1-8 計器仕様表

添付1-8-1 原子炉系 IDS

添付1-8-2 高圧炉心注水系 IDS

添付1-9 ソフトウェア CCF 対策設備のデジタル品の使用有無調査結果

添付2 「4. 有効性評価」における有効性評価図書

添付3 TRAC 系コードの適格性評価

(1) 添付資料

添付1 「3. 多様化設備要件」における設計図書

添付1－1 柏崎刈羽原子力発電所 6,7 号炉におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア
共通要因故障対策設備について

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－2 【技術メモ】KK6 多様化設備の範囲及び要求事項について

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－3 【技術検討書】デジタル安全保護回路のソフトウェアに起因する共通要因故障
への対応方針について

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－4 【技術検討書】デジタル安全保護回路のソフトウェアに起因する共通要因故障
(ソフトウェアCCF)対策について

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－5 インターロックブロック線図

添付1－5－1 原子炉緊急停止系 IBD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－5－2 原子炉隔離制御系 IBD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－5－3 苛酷事故対策設備 IBD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－5－4 再循環ポンプトリップ系 後備原子炉停止系 IBD

本資料は，機密に係る情報のため公開できません

添付1－5－5 大型表示盤重要警報回路 IBD

本資料は，機密に係る情報のため公開できません

添付1－6 展開接続図

添付1－6－1 原子炉緊急停止系及び主蒸気隔離系 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－2 原子炉冷却材浄化系 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－3 原子炉隔離時冷却系 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－4 高圧炉心注水系 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－5 原子炉冷却材再循環系 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－6 高圧代替注水系 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1-6-7 安全保護系デジタル化共通回路 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－8 格納容器計装及び不活性ガス系 ECWD

本資料は，機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－9 原子炉系 計装 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－10 原子炉系 故障表示回路 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－11 直流電源分割 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－6－12 交流電源分割 ECWD

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－7 耐震計算書

添付1－7－1 中央運転監視盤の耐震性についての計算書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－7－2 格納容器補助盤の耐震性についての計算書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－7－3 AM 用操作盤の耐震性についての計算書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－7－4 ATWS 緩和設備制御盤の耐震性についての計算書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－7－5 高圧代替注水系制御盤の耐震性についての計算書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－7－6 運転監視補助盤の耐震性についての計算書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－8 計器仕様表

添付1－8－1 原子炉系 IDS

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1-8-2 高圧炉心注水系 IDS

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付1－9 ソフトウェア CCF 対策設備のデジタル品の使用有無調査結果

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付2「4. 有効性評価」における有効性評価図書

添付3 TRAC 系コードの適格性評価

本資料は、機密に係る情報のため公開できません