

島根原子力発電所 2 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確認書
(手順書)

2024年 8月29日
原子力エネルギー協議会

1. はじめに

中国電力(株)(以下、「事業者」という。)は、島根原子力発電所2号機の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(以下、「デジタル CCF 対策」という。)に係る安全対策に関して、技術要件書^{※1}の「5. 手順書の整備と教育及び訓練の実施」の各要求内容に整合しているかの確認を行い、2024年6月19日に「島根原子力発電所2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(手順書)(以下、「要件整合報告書(手順書)」という。)」をATENAに提出した。

ATENA は、受領した要件整合報告書(手順書)の確認を行い、確認結果を本要件整合確認書として取りまとめた。

※1 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)

2. 確認方法

(1)「5.1 手順書の整備」

技術要件書「5.1 手順書の整備」においては、多様化設備を設置する場合に、多様化設備を用いた手順書を整備することを要求している。

一方、島根原子力発電所2号機について、事業者は、2024年4月18日にATENAに提出した「島根原子力発電所2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)(以下、「要件整合報告書(詳細設計)」という。)」において、有効性評価結果により多様化設備の設置が不要であるとの確認結果を報告している。ATENA も、その確認結果を妥当と判断した。

したがって、島根原子力発電所2号機については、多様化設備の設置及びそれに伴う多様化設備を用いた手順書の整備は不要である。

なお、事業者は、要件整合報告書(手順書)において、ソフトウェア CCF を考慮すべき以下の事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、現行の運転手順書にて、ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報を監視することにより異常の発生を認知し、必要な運転操作が可能であるとの確認結果を報告している。

【運転時の異常な過渡変化】

- ・出力運転中の制御棒の異常な引き抜き
- ・給水加熱喪失
- ・原子炉冷却材流量制御系の誤動作

【設計基準事故】

- ・制御棒落下(環境への放射性物質の異常な放出)
- ・燃料集合体の落下

ATENA は、上記の事業者の確認結果のとおり、事象収束に必要な運転操作が可能であ

るかどうかについて、要件整合報告書(手順書)及び現行の整備されている手順書により確認する。

(2)「5.2 教育及び訓練の実施」

ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、現行の整備されている手順書に従い的確な対処をするために必要な力量を付与させるための教育及び訓練を、その対象者及び実施頻度を含め適切に計画し、実施することが規定されていることを確認する。

(3) 確認体制及び確認フロー

今回の要件整合確認における確認体制及び確認フローについて添付資料 1 に示す。

3. 要件整合確認結果

(1)「5.1 手順書の整備」

ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、現行の整備されている手順書にて事象収束に必要な運転操作が可能であることを、要件整合報告書(手順書)及び表 1 に示すエビデンス(手順に係る規定文書)により以下のとおり確認した。

なお、ソフトウェア CCF の影響を受ける評価事象に対する異常の認知手段と対応操作手順書について表 2 に示す。

- ✓ ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報を監視することにより異常の発生を認知できることを確認した。
- ✓ ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報として、要件整合報告書(詳細設計)において、ソフトウェア CCF を想定する安全保護回路のデジタル部の範囲として特定された以下の信号を使用していないことを確認した。

【原子炉スクラム】

- ・中性子束高(平均出力領域計装)
- ・中性子束計装不作動(平均出力領域計装)
- ・主蒸気管放射線高

【主蒸気隔離弁閉鎖】

- ・主蒸気管放射線高

【非常用ガス処理系起動】

- ・原子炉棟排気放射線高
- ・燃料取替階放射線高

- ✓ ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、異常の発生を認知した場合には、現行の整備されている手順書にて、事象収束に必要な運転操作が可能であることを確認した。

以上のことから、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、現行の整備されている手順書にて、ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報を監視することにより異常の発生を認知し、事象収束に必要な運転操作が可能であることを確認した。

表 1 エビデンス(手順に係る規定文書)

規定文書	添付資料番号
島根原子力発電所2号機 設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置(その1) 計算機警報(原子炉熱出力定格出力(1分間平均)) サマリストータスモニタ警報 制御棒ドリフト 排ガス除湿器出口放射線高 R/B放射線高	添付資料 2
島根原子力発電所2号機 設備別運転要領書 原子炉設備 制御棒挿入操作	
島根原子力発電所2号機 事故時操作要領書 原子炉再循環系事故 制御棒駆動系事故 燃料破損事故	
島根原子力発電所2号機 事故時操作要領書 徴候ベース 「スクラム」(RC)	

表2 ソフトウェアCCFの影響を受ける評価事象に対する異常の認知手段と対応操作手順書(1/2)

評価事象		異常の認知手段※1		対応操作手順書
		計器	警報	
運転時の異常な過渡変化	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	・制御棒の操作 (制御棒操作は制御棒の操作を行う運転員の他に少なくとも1名の運転員を配置し実施しており、異常に気づき速やかな制御棒の挿入が期待できる。また、制御棒操作時は、制御棒位置表示を確認するため、異常な引抜きが発生した場合は、当該制御棒の目標となる制御棒位置と異なることから、速やかに認知可能である。) ・原子炉熱出力※2 (保安規定第26条)	・計算機警報 (原子炉熱出力(1分間平均))	【設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置】 ・計算機警報 【設備別運転要領書 原子炉設備】 ・制御棒挿入操作 【事故時操作要領書 徴候ベース】 ・「スクラム」(RC)
	給水加熱喪失	・給水温度 ・原子炉圧力 ・原子炉水位 ・発電機出力 ・原子炉熱出力※2 (保安規定第26条)	・計算機警報 (原子炉熱出力(1分間平均)) ・サマリステータスマニタ警報	【設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置】 ・計算機警報 ・サマリステータスマニタ警報 【事故時操作要領書 徴候ベース】 ・「スクラム」(RC)
	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	・原子炉圧力 ・原子炉水位 ・PLRポンプ速度 ・再循環流量 ・発電機出力 ・原子炉熱出力※2および炉心流量 (保安規定第26条)	・計算機警報 (原子炉熱出力(1分間平均)) ・サマリステータスマニタ警報	【設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置】 ・計算機警報 ・サマリステータスマニタ警報 【事故時操作要領書】 ・原子炉再循環系事故 【事故時操作要領書 徴候ベース】 ・「スクラム」(RC)

※1:要件整合報告書(詳細設計)表1及び表2における、ソフトウェアCCFの影響を受けるデジタル安全保護回路の信号を使用しておらず、監視機能が維持されている計器や警報を監視することにより異常の発生を認知可能な手段。

※2:原子炉熱出力は、流体(冷却材、蒸気)の質量及びその熱量の流出入からヒートバランスを計算しており、中性子計装信号は使用していないため、ソフトウェアCCFの影響を受けない。

表2 ソフトウェアCCFの影響を受ける評価事象に対する異常の認知手段と対応操作手順書(2/2)

評価事象		異常の認知手段※1		対応操作手順書
		計器	警報	
設計基準事故	制御棒落下 (被ばく評価)	・制御棒位置表示 ・原子炉圧力 ・原子炉水位 ・排ガス除湿冷却器出口線形モニタ ・排ガス除湿器出口モニタ	・制御棒ドリフト ・排ガス除湿器出口放射線高	【設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置】 ・制御棒ドリフト ・排ガス除湿器出口放射線高 【事故時操作要領書】 ・制御棒駆動系事故 ・燃料破損事故 【事故時操作要領書 徴候ベース】 ・「スクラム」(RC)
	燃料集合体の落下 (被ばく評価)	・エリア放射線モニタ ・ダスト放射線モニタ ・プロセス放射線モニタ ・排気筒放射線モニタ	・R/B 放射線高	【設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置】 ・R/B 放射線高 【事故時操作要領書】 ・燃料破損事故

※1:要件整合報告書(詳細設計)表1及び表2における、ソフトウェアCCFの影響を受けるデジタル安全保護回路の信号を使用しておらず、監視機能が維持されている計器や警報を監視することにより異常の発生を認知可能な手段。

※2:原子炉熱出力は、流体(冷却材、蒸気)の質量及びその熱量の流出入からヒートバランスを計算しており、中性子計装信号は使用していないため、ソフトウェアCCFの影響を受けない。

(2)「5.2 教育及び訓練の実施」について

ソフトウェアCCFを考慮すべき事象に対して、現行の整備されている手順書に従いの確な対処をするために必要な力量を付与させるための教育及び訓練の実施について、要件整合報告書(手順書)及び表3に示すエビデンス(教育訓練に係る規定文書)により、以下のとおり確認した。

- ✓ 運転員の教育・訓練の計画を定めた「運転員教育訓練手順書」の班内教育手引に、「デジタル安全保護回路のソフトウェア CCF 教育」が追加されていることを確認した。
- ✓ 運転操作における基本的な一般事項を定めた「運転員の基本手引書」に、ソフトウェア CCF に関する運転操作の基本事項及び教育資料が追加されていることを確認した。
- ✓ 運転員には、現行の整備されている手順書に従いの確な対処をするための力量を付与(運転員資格の認定)することが、「運転員教育訓練手順書」に定められていることから、新たに力量を付与させるための教育及び訓練は不要であることを確認した。

表 3 エビデンス(教育訓練に係る規定文書)

規定文書	添付資料番号
運転員教育訓練手順書	添付資料 2
運転員の基本手引書	

以上のことから、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、現行の整備されている手順書に従いた的確な対処をするために必要な教育を、その対象者及び実施頻度を含め適切に計画し、実施することが規定文書に定められていることを確認した。

技術要件書「5.1 手順書の整備」及び「5.2 教育及び訓練の実施」の要求内容に対する要件整合性の確認結果については表 4 に示す。

4. まとめ

島根原子力発電所 2 号機の要件整合報告書(手順書)は、技術要件書の「5. 手順書の整備と教育及び訓練の実施」の各要求内容に対して全て整合していることを確認した。

また、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報を監視することにより異常の発生を認知し、それに対して現行の整備されている運転手順書にて事象収束に必要な運転操作が可能であることを確認した。

なお、新たな手順書の整備は不要であることから、新たに力量を付与させるための教育及び訓練は不要であるが、デジタル化に伴うソフトウェア CCF の知見は重要であるため、教育(対象者、実施頻度含む)を適切に計画・実施することが規定文書に定められていることを確認した。

5. 添付資料

添付資料 1 要件整合確認における確認体制及び確認フロー

添付資料 2 島根原子力発電所 2 号機 要件整合報告書(手順書) 添付資料(抜粋)

表 4 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確認結果
【対象：島根原子力発電所 2 号機（手順書）】

(判定記号) ○：整合性有 －：該当なし

ATENA 技術要件書	事業者の要件整合報告の内容				ATENA による要件整合確認結果
	記載内容(概要)	要件整合性		規定文書	
		判定	理由		
5.1 手順書の整備					
運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した際に、デジタル安全保護回路の安全機能の喪失によって、原子炉停止系統及び工学的安全施設が自動作動していないことを運転員が認知した場合に、その要因がソフトウェア CCF の重畳によることを判断した上で、必要な運転操作を実施し、判断基準を概ね満足した状態で事象を収束することができるための手順書を整備すること。	要件整合報告書(詳細設計)において、ソフトウェアCCF を考慮すべき事象として有効性評価の評価対象とした5事象に対して、その原因がソフトウェアCCFと認知できずとも、ソフトウェアCCFの影響を受けない他の計器や警報により何らかの異常の発生を認知し、以下の現行の運転手順書にて必要な運転操作を行う。 1. 設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置 2. 設備別運転要領書 原子炉設備 3. 事故時操作要領書 4. 事故時操作要領書 徴候ベース	○	要件整合報告書(詳細設計)において、以下のとおり多様化設備の設置は不要であることを確認している。 ・島根原子力発電所2号機において考慮すべきデジタル安全保護回路のソフトウェア CCF 事象は 5 事象となるが、BWR5 の包絡性を持たせた代表 ABWR プラントの有効性評価結果より判断基準を満足することが確認できたことから、多様化設備の設置は不要である。 また、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 の重畳が発生し、デジタル安全保護回路の安全機能が喪失した場合において、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報を監視することにより異常の発生を認知し、現行の運転手順書にて必要な運転操作が可能である。 以上のことから、手順書の整備は不要である。	・設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置 計算機警報 サマリステータスモニタ警報 制御棒ドリフト 排ガス除湿器出口放射線高 R/B 放射線高 ・設備別運転要領書 原子炉設備 制御棒挿入操作 ・事故時操作要領書 原子炉再循環系事故 制御棒駆動系事故 燃料破損事故 ・事故時操作要領書 徴候ベース 「スクラム」(RC)	ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、現行の整備されている手順書にて事象収束に必要な運転操作が可能であることを、以下のとおり確認した。 ・ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報を監視することにより異常の発生を認知できることを確認した。 ・ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報として、要件整合報告書(詳細設計)において、ソフトウェア CCF を想定する安全保護回路のデジタル部の範囲として特定された以下の信号を使用していないことを確認した。 【原子炉スクラム】 中性子束高(平均出力領域計装) 中性子束計装不作動(平均出力領域計装) 主蒸気管放射線高 【主蒸気隔離弁閉鎖】 主蒸気管放射線高 【非常用ガス処理系起動】 原子炉棟排気放射線高 燃料取替階放射線高 ・ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、異常の発生を認知した場合には、現行の整備されている手順書にて、事象収束に必要な運転操作が可能であることを確認した。 以上のことから、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、その原因がソフトウェア CCF と認知できずとも、現行の整備されている手順書にて、ソフトウェア CCF の影響を受けない他の計器や警報を監視することにより異常の発生を認知し、事象収束に必要な運転操作が可能であることを確認した。

表 4 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確認結果
【対象：島根原子力発電所 2 号機（手順書）】

(判定記号) ○：整合性有 －：該当なし

ATENA 技術要件書	事業者の要件整合報告の内容				ATENA による要件整合確認結果
	記載内容(概要)	要件整合性		規定文書	
判定		理由			
5.2 教育及び訓練の実施					
運転員には、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 が重畳する事象に対して、整備された手順書に従いの確な対処をするために必要な力量を付与させるための教育及び訓練を、その対象・実施頻度を含め適切に計画し、実施すること。	「5.1 手順書の整備」で示したとおり、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 が重畳する事象に対しては、現行の整備されている手順書に従いの確に対処可能であり、運転員にはその力量を付与(運転員資格の認定)することを規定文書に定めている。 なお、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 が重畳する事象に対して、現行の整備されている手順書に従いの確に対処可能であり、新たな手順書の整備は不要であることから、新たに力量を付与させるための教育及び訓練は不要である。ただし、デジタル化に伴うソフトウェア CCF の知見は重要であるため、教育(対象者、実施頻度含む)を実施する計画を整備した。	○	運転員には、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 が重畳する事象に対して、現行の整備されている手順書に従いの確な対処をするための力量が付与(運転員資格の認定)されていることを確認した。 なお、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 が重畳する事象に対して、現行の整備されている手順書に従いの確に対処可能であり、新たな手順書の整備は不要であることから、新たに力量を付与させるための教育及び訓練は不要である。ただし、デジタル化に伴うソフトウェア CCF の知見は重要であるため、教育(対象者、実施頻度含む)を適切に計画・実施することが規定文書に定められていることを確認した。	・運転員教育訓練手順書 ・運転員の基本手引書	ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、現行の整備されている手順書に従いの確な対処をするために必要な力量を付与させるための教育及び訓練の実施について、以下のとおり確認した。 ・運転員の教育・訓練の計画を定めた「運転員教育訓練手順書」の班内教育手引に、「デジタル安全保護回路のソフトウェア CCF 教育」が追加されていることを確認した。 ・運転操作における基本的な一般事項を定めた「運転員の基本手引書」に、ソフトウェア CCF に関する運転操作の基本事項及び教育資料が追加されていることを確認した。 ・運転員には、現行の整備されている手順書に従いの確な対処をするための力量を付与(運転員資格の認定)することが、「運転員教育訓練手順書」に定められていることから、新たに力量を付与させるための教育及び訓練は不要であることを確認した。 以上のことから、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、現行の整備されている手順書に従いの確な対処をするために必要な教育を、その対象者及び実施頻度を含め適切に計画し、実施することが規定文書に定められていることを確認した。

要件整合確認における確認体制及び確認フロー

要件整合確認における確認体制及び確認フロー

1. 確認体制

今回の要件整合確認は、下表に示す ATENA 確認チームにて実施した。

なお、ATENA 確認チームの人選にあたっては、当該プラントのデジタル CCF 対策設備の詳細設計、有効性評価、手順書整備などに直接関わっていないことを条件に、業務経歴をもとに力量を確認した。

表 ATENA 確認チーム

	氏名	所属・役職
責任者	■■■■■	原子力エネルギー協議会 技術班 部長
担当者	■■■■■	原子力エネルギー協議会 運営班 副部長

2. 確認フロー

今回の要件整合確認にあたっては、以下のフローで実施した。

- ATENA-WG(デジタル CCF-WG)にて要件整合報告書(手順書)の記載内容や様式の検討を行い、その検討結果をもとに事業者は要件整合報告書(手順書)を取りまとめ、ATENA に提出した。
- ATENA は、受領した要件整合報告書(手順書)及びエビデンス(手順及び教育訓練に係る規定文書)の記載内容について、ATENA 確認チームによる要件整合確認を行った。
- ATENA 確認チームは、要件整合確認結果を ATENA 役員に報告し、承認を得た。

島根原子力発電所 2 号機 要件整合報告書(手順書)
添付資料(抜粋)

島根原子力発電所 2 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（手順書）

2 0 2 4 年 6 月 1 9 日

中国電力株式会社

Ⅱ． 添付書類

目 次

(1) 添付資料

添付1 2号機 設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置(その1)

添付1-1 計算機警報(原子炉熱出力定格出力(1分間平均))

添付1-2 サマリストータスモニタ警報

添付1-3 制御棒ドリフト

添付1-4 排ガス除湿器出口放射線高

添付1-5 R/B放射線高

添付2 2号機 設備別運転要領書 原子炉設備

添付2-1 制御棒挿入操作

添付3 2号機 事故時操作要領書

添付3-1 原子炉再循環系事故

添付3-2 制御棒駆動系事故

添付3-3 燃料破損事故

添付4 2号機 事故時操作要領書 徴候ベース

添付4-1 「スクラム」(RC)

添付5 運転員教育訓練手順書

添付6 運転員の基本手引書

（ 1 ） 添付資料

添付 1 2号機 設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置（その1）

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 1－1 計算機警報（原子炉熱出力定格出力（1 分間平均））

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 サマリストータスモニタ警報

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 制御棒ドリフト

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 排ガス除湿器出口放射線高

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 R／B放射線高

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 2 2号機 設備別運転要領書 原子炉設備

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 2－1 制御棒挿入操作

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 3 2号機 事故時操作要領書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 3－1 原子炉再循環系事故

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 3－2 制御棒駆動系事故

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 3－3 燃料破損事故

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 4 2 号機 事故時操作要領書 徴候ベース

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 4－1 「スクラム」 (R C)

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 5 運転員教育訓練手順書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません

添付 6 運転員の基本手引書

本資料は、機密に係る情報のため公開できません