

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
(詳細設計)

2024年 5月23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。)に係る安全対策のうち基本設計、詳細設計及び有効性評価について、技術要件書^{※1}の「3. 多様化設備要件」及び「4. 有効性評価」の各要求内容に整合しているかの確認を行い、2024年4月18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(詳細設計)(以下、「要件整合報告書(詳細設計)」という。)」をATENAに提出した。

なお、技術要件書「3.1 設置要求」では、「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。」と規定していることから、事業者は、多様化設備に期待しない前提で有効性評価を行い、有効性評価の結果により多様化設備設置要否の確認を行っている。

ATENA は、受領した要件整合報告書(詳細設計)の確認を行い、確認結果を本要件整合確認書(詳細設計)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)「3. 多様化設備要件」

技術要件書「3.1 設置要求」の要求内容に対する要件整合性の確認を行い、有効性評価の結果より多様化設備設置要否の確認を行う。

なお、有効性評価においては多様化設備に期待しないものとし、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を特定したうえで、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象(運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故)が有効性評価の対象として選定されていることを確認する。

(2)「4. 有効性評価」

技術要件書「4. 有効性評価」の各要求内容に対して下記の確認項目についてチェックシート形式で確認を行う。

なお、事業者は、選定したソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対して、代表 ABWR プラントの有効性評価を基に定性的な評価を行っていることから、その技術的な妥当性を確認する。

【確認項目】

- ① 技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
- ② 記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
- ③ 要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
- ④ エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

(3) 確認体制及び確認フロー

今回の要件整合確認(詳細設計)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) 「3. 多様化設備要件」

技術要件書「3.1 設置要求」に対する要件整合性について、要件整合報告書(詳細設計)の記載内容を確認した結果、以下のとおり有効性評価の結果により多様化設備の設置が不要であることを確認した。

a. 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

安全保護回路の構成機器のうち、デジタル処理部のある機器として平均出力領域モニタ(APRM)及びプロセス放射線モニタリング設備(PRM)があることを確認した。安全保護回路の概略構成を図1に示す。

事業者は、別表1に示す原子炉保護系の構成機器及び別表2に示す工学的安全施設作動回路の構成機器のうち、以下の信号をソフトウェア 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していることを確認した。

【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

【非常用ガス処理系の起動】

- ・原子炉棟排気放射線高
- ・燃料取替階放射線高

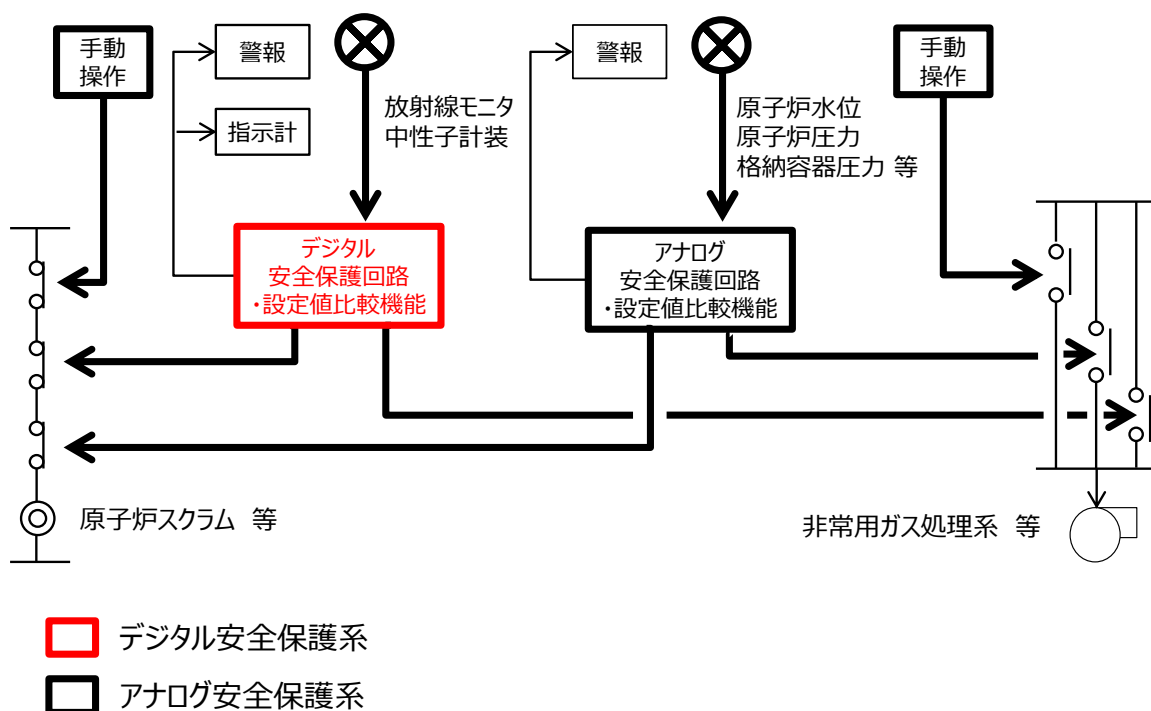


図1 島根原子力発電所2号機 安全保護回路の概略構成

b. ソフトウェア CCF を考慮すべき事象(運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故)
 事業者は、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を特定したうえで、別表3に示す「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」のうち、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象として以下の事象を選定していることを確認した。

【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

c. 多様化設備設置要否の確認結果

「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」のうち、アナログ安全保護回路に収束を期待している事象については、ソフトウェア CCF を考慮する必要がないため、多様化設備の設置は不要であることを確認した。

「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」のうち、デジタル安全保護回路に収束を期待している事象については、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象であるが、後述の「(2)4. 有効性評価」 a. 有効性評価結果」に示すとおり、ソフトウェア CCF を考

慮すべき事象に対していずれも判断基準を概ね満足することを確認したことから、多様化設備の設置は不要であることを確認した。

(2)「4. 有効性評価」

a. 有効性評価結果

島根原子力発電所2号機の有効性評価について、要件整合報告書(詳細設計)の添付 1-1 の有効性評価図書^{※2} 及び添付 1-2 の補足資料^{※3}を確認した。

確認の結果、事業者は、表 1 の有効性評価結果の概要に示すとおり、代表 ABWR プラントの有効性評価を基にした定性的な評価により、ソフトウェア CCF を考慮すべき事象に対していずれも判断基準を概ね満足することを確認しており、その内容が技術的に妥当であることを確認した。

※2 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)

※3 BWR5 の安全保護回路ソフトウェア CCF の有効性評価補足説明(日立 GE/東芝 ESS)

表1 有効性評価結果の概要

評価事象		評価結果概要
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	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉の出力運転中に運転員の誤操作による制御棒1本の連続引き抜きにより、出力が徐々に増加する事象である。 BWR5 は ABWR のような制御棒のギヤング引き抜きモードがなく、制御棒1本の誤引き抜きであり、炉心平均の出力及び原子炉圧力の増加は僅かであり、代表 ABWR プラントの解析結果に包絡される。
	給水加熱喪失	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉の出力運転中に炉心入口サブクーリングが増加し原子炉出力が上昇する事象である。 原子炉圧力の増加及び原子炉水位の低下は僅かであり、主蒸気隔離弁閉条件には至らず、主蒸気隔離弁の誤閉止に包絡される。 主蒸気隔離弁の誤閉止は、重大事故等対策の有効性評価で確認済であり、これらの事象はその結果に包絡される。
	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉の出力運転中に再循環流量制御系の故障により再循環流量が増加し原子炉出力が上昇する事象である。 炉心流量の増加に伴い中性子束が一時的に増加するが、反応度フィードバックにより出力上昇は抑えられ、炉心流量に見合った出力状態に整定する。また、原子炉圧力の増加及び原子炉水位の低下も制御され主蒸気隔離弁閉条件には至らず、主蒸気隔離弁の誤閉止に包絡される。 主蒸気隔離弁の誤閉止は、重大事故等対策の有効性評価で確認済であり、これらの事象はその結果に包絡される。
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)	<ul style="list-style-type: none"> 環境への放射性物質の異常な放出については、BWR5 においても代表 ABWR プラントと同様に現実的な評価条件により判断基準を満足する。
	燃料集合体の落下	

b. 要件整合性確認結果

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、要件整合報告書(詳細設計)及び有効性評価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 2 に示す。

【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

4. まとめ

要件整合報告書(詳細設計)の確認の結果、技術要件書の「3. 多様化設備要件」及び「4. 有効性評価」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、有効性評価結果により多様化設備の設置が不要であることを確認した。

5. 添付資料

添付資料 1 要件整合確認(詳細設計)における確認体制及び確認フロー

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容								
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2 代表プラント以外への適用性(添付表2-1, 添付表2-2)	✓	✓	✓	✓
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、その妥当性を示すこと。	—	—	評価すべき事象において、グルーピングは考慮していない。	4.1 評価対象の整理(P.4-1) 添付2 代表プラント以外への適用性(添付表2-1, 添付表2-2) 要件整合報告書(詳細設計)添付1-2 BWR5の安全保護回路ソフトウェアCCFの有効性評価補足説明	✓	✓	✓	✓
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 ・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 出力運転中の制御棒の異常な引き抜きは、原子炉の出力運転中に運転員の誤操作により制御棒1本の連続引き抜きにより、出力が徐々に増加する事象であるが、ソフトウェアCCFが重畳し制御棒引抜阻止に失敗したとしても、ABWRのギャング引抜とは異なり制御棒1本の誤引き抜きとなるため、炉心平均の出力及び原子炉圧力の増加が僅かであることから、影響の程度は軽微として解析は省略する。 給水加熱喪失は、原子炉の出力運転中に給水温度が低下し炉心入口サブクーリングが増加して原子炉出力が上昇する事象であるが、ソフトウェアCCFが重畳しスクラムに失敗したとしても、他事象よりも出	○	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2 代表プラント以外への適用性(添付表2-1, 添付表2-2) 要件整合報告書(詳細設計)添付1-2 BWR5の安全保護回路ソフトウェアCCFの有効性評価補足説明	✓	✓	✓	✓

※確認要領:確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
②記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容								
	力変化が緩やかであり原子炉圧力及び原子炉水位が制御されることから、影響の程度は軽微として解析は省略する。 原子炉冷却材流量制御系の誤動作は、原子炉の出力運転中に再循環流量制御系の故障により再循環流量が増加し原子炉出力が上昇する事象であるが、ソフトウェア CCF が重畳スクラムに失敗したとしても、原子炉出力は炉心流量に見合った出力に整定し、原子炉圧力及び原子炉水位も制御されることから、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)及び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。							
・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	—	—	評価すべき事象において、グルーピングは考慮していない。	—	—	—	—	—
・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。 【運転時の異常な過渡変化】 ・原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き ・原子炉冷却材流量の部分喪失 ・原子炉冷却材の停止ループの誤起動 ・外部電源喪失 ・負荷の喪失 ・主蒸気隔離弁の誤閉止 ・給水制御系の故障 ・原子炉圧力制御系の故障 ・給水流量の全喪失	○	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 2 代表プラント以外への適用性(添付表 2-1, 添付表 2-2) 要件整合報告書(詳細設計)添付 1-2 BWR5 の安全保護回路ソフトウェア CCF の有効性評価補足説明	✓	✓	✓	✓

※確認要領:確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
②記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
判定		理由						
要求内容	<p>【設計基準事故】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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)(原子炉格納容器内圧力, 雰囲気等の異常な変化, 環境への放射性物質の異常な放出) ・原子炉冷却材流量の喪失 ・原子炉冷却材ポンプの軸固着 ・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) ・主蒸気管破断 ・放射性気体廃棄物処理施設の破損 ・可燃性ガスの発生 ・動荷重の発生 							

※確認要領: 確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
 ①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
 ②記載内容(概要)の欄に, 有効性評価結果が記載され, 要求内容への整合性が明確になっていること。また, 解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
 ③要件整合判定が全て「○」で, かつ, その合理的な理由が記載されていること。
 ④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容								
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。	○	代表 ABWR プラントの解析においては、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。 島根2号機における対象事象は、代表 ABWR の結果に包絡されることを確認した事象と判断基準に対して影響が軽微である事象であるため、判断基準を満足している。	4.2 判断基準 (P.4-1, 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) 6.2.1 制御棒落下(各表, 各図) 7. まとめ(P.7-1) 要件整合報告書(詳細設計)添付 1-2 BWR5 の安全保護回路ソフトウェア CCF の有効性評価補足説明	✓	✓	✓	✓
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。	—	—	—	—	

※確認要領: 確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
 ①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
 ②記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
 ③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
 ④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容								
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。	○	代表ABWRプラントの解析においては、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。	—	—	代表 ABWR プラントの解析においては、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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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 4-4, 表 4-6～表 4-8)	✓	✓	✓	✓
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。	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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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でき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) 6.2.1 制御棒落下(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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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 4-6～表 4-8)	✓	✓	✓	✓

※確認要領: 確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
 ①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
 ②記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
 ③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
 ④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容 ・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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており, 代表ABWRプラントの解析においては, 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 4-6~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。	○	島根2号機は代表 ABWR プラントの解析条件に包絡されており, 代表 ABWR プラントの解析においては, 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 4-6~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いる。	○	島根2号機は代表 ABWR プラントの解析条件に包絡されており, 代表 ABWR プラントの解析においては, 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)	✓	✓	✓	✓
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。	デジタル安全保護回路の機能が喪失し原子炉停止系統が動作しないことを解析条件として設定している。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており, 代表ABWRプラントの解析においては, 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) 6.2.1 制御棒落下(表 6.2.1-2)	✓	✓	✓	✓

※確認要領: 確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」, 該当なしの場合「-」を記入)
①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
②記載内容(概要)の欄に, 有効性評価結果が記載され, 要求内容への整合性が明確になっていること。また, 解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
③要件整合判定が全て「○」で, かつ, その合理的な理由が記載されていること。
④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容								
・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)を解析条件として設定している。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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)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4-7) 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)	✓	✓	✓	✓
・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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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)	✓	✓	✓	✓
・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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、必要な安全機能の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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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)	✓	✓	✓	✓

※確認要領: 確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
 ①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
 ②記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
 ③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
 ④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容								
・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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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) 6.3 環境への放射性物質の異常な放出(P.6-15~P.6-16)	✓	✓	✓	✓
・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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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。	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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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)	✓	✓	✓	✓
・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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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)	✓	✓	✓	✓
・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、そのサポート系が利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。	○	島根2号機は代表 ABWR プラントの解析条件に包絡されており、代表 ABWR プラントの解析においては、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	✓	✓	✓	✓

※確認要領: 確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
 ①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
 ②記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
 ③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
 ④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

表2 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（有効性評価）】

(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		有効性評価図書	①	②	③	④
		判定	理由					
要求内容								
(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、あらかじ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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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てい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)	✓	✓	✓	✓
・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。	○	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、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)	✓	✓	✓	✓
・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。	—	—	島根2号機は代表ABWRプラントの解析条件に包絡されており、代表ABWRプラントの解析においては、中央制御室以外での現場操作を想定していない。	—	—	—	—	—
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。	○	代表ABWRプラントの解析においては、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)	✓	✓	✓	✓
使用する計算プログラム及びモデルは、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。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には、妥当性確認及び検証は不要である。	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。	○	代表 ABWR プラントの解析においては、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。	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)	✓	✓	✓	✓

※確認要領: 確認項目①②③④⑤の欄ごとに確認結果を記入(確認できた場合「✓」、該当なしの場合「-」を記入)
 ①技術要件書の要求内容が漏れなく抽出されていること。
 ②記載内容(概要)の欄に、有効性評価結果が記載され、要求内容への整合性が明確になっていること。また、解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
 ③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
 ④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。

別表 1 原子炉保護系の構成機器

信号の種類		検出器	設定器
原子炉圧力高		アナログ	アナログ
原子炉水位低(レベル3)		アナログ	アナログ
格納容器圧力高		アナログ	アナログ
中性子束高	平均出力領域計装	アナログ	デジタル
	中間領域計装	アナログ	アナログ
中性子計装不作動	平均出力領域計装	アナログ	デジタル
	中間領域計装	アナログ	アナログ
スクラム排水容器水位高		アナログ	アナログ
		アナログ(接点)	
主蒸気隔離弁閉		アナログ(接点)	
主蒸気止め弁閉		アナログ(接点)	
蒸気加減弁急速閉		アナログ(接点)	
主蒸気管放射線高		アナログ	デジタル
地震大		アナログ(接点)	
手動		アナログ(接点)	
原子炉モード・スイッチ「停止」位置		アナログ(接点)	

別表 2 工学的安全施設作動回路の構成機器

機能	信号の種類	検出器	設定器
主蒸気隔離弁閉鎖	原子炉水位低(レベル 2)	アナログ	アナログ
	主蒸気管圧力低	アナログ	アナログ
	主蒸気管流量大	アナログ	アナログ
	復水器真空度低	アナログ	アナログ
	主蒸気管放射線高	アナログ	デジタル
	主蒸気管周囲温度高	アナログ	アナログ
主蒸気隔離弁以外の主要な隔離弁閉鎖	格納容器圧力高	アナログ	アナログ
	原子炉水位低(レベル 3)	アナログ	アナログ
非常用ガス処理系起動	原子炉棟排気放射線高	アナログ	デジタル
	燃料取替階放射線高	アナログ	デジタル
	格納容器圧力高	アナログ	アナログ
	原子炉水位低(レベル 3)	アナログ	アナログ
高圧炉心スプレイ系及び同ディーゼル起動	格納容器圧力高	アナログ	アナログ
	原子炉水位低(レベル 1H)	アナログ	アナログ
低圧炉心スプレイ系起動	格納容器圧力高	アナログ	アナログ
	原子炉水位低(レベル 1)	アナログ	アナログ
低圧注水系起動	格納容器圧力高	アナログ	アナログ
	原子炉水位低(レベル 1)	アナログ	アナログ
自動減圧系作動	格納容器圧力高	アナログ	アナログ
	原子炉水位低(レベル 1)	アナログ	アナログ
非常用ディーゼル発電機起動	格納容器圧力高	アナログ	アナログ
	原子炉水位低(レベル 1)	アナログ	アナログ

別表3 多様化設備設置要否を考慮すべき事象(1/2)

事象		事象収束に期待する安全保護回路等				考慮要否
		原子炉停止回路		工学的安全施設作動回路		
運転時の異常な過渡変化	原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	原子炉スクラム(中間領域計装の中性子束高信号)	アナログ	—	—	否
	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	制御棒引抜監視装置による制御棒引抜阻止信号	デジタル	—	—	要
	原子炉冷却材流量の部分喪失	— (原子炉スクラムに至らない)	—	—	—	否
	原子炉冷却材の停止ループ誤起動	— (原子炉スクラムに至らない)	—	—	—	否
	外部電源喪失	原子炉スクラム(主蒸気止め弁閉信号)	アナログ	—	—	否
	給水加熱喪失	原子炉スクラム(平均出力領域計装の中性子束高(熱流束相当)信号)	デジタル	—	—	要
	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	原子炉スクラム(平均出力領域計装の中性子束高信号)	デジタル	—	—	要
	負荷の喪失	原子炉スクラム(蒸気加減弁急速閉止信号)	アナログ	—	—	否
	主蒸気隔離弁の誤閉止	原子炉スクラム(主蒸気隔離弁閉信号)	アナログ	—	—	否
	給水制御系の故障	原子炉スクラム(主蒸気止め弁閉信号)	アナログ	—	—	否
	原子炉圧力制御系の故障	原子炉スクラム(主蒸気隔離弁閉信号)	アナログ	—	—	否
	給水流量の全喪失	原子炉スクラム(原子炉水位低(レベル3)信号)	アナログ	—	—	否

別表3 多様化設備設置要否を考慮すべき事象(2/2)

事象			事象収束に期待する安全保護回路等				考慮 要否
			原子炉停止回路		工学的安全施設作動回路		
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の著しい変化	原子炉スクラム(原子炉水位低(レベル3)信号)	アナログ	自動減圧系(格納容器圧力高信号及び原子炉水位低(レベル1)信号) 高圧炉心スプレイ系(原子炉水位低(レベル1H)信号) 低圧炉心スプレイ系及び低圧注水系(原子炉水位低(レベル1)信号)	アナログ	否
		環境への放射性物質の異常な放出	原子炉スクラム(原子炉水位低(レベル3)信号)	アナログ	非常用ガス処理系(原子炉水位低(レベル3), 格納容器圧力高又は原子炉棟排気放射線高信号)	アナログ 又は デジタル	否
		原子炉格納容器内圧力, 雰囲気等の異常な変化	—	—	—	—	否
	原子炉冷却材流量の喪失	原子炉スクラム(主蒸気止め弁閉信号)	アナログ	—	—	否	
	原子炉冷却材ポンプの軸固着	原子炉スクラム(主蒸気止め弁閉信号)	アナログ	—	—	否	
	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	原子炉スクラム(中間領域計装の中性子束高信号)	アナログ	—	—	否
		環境への放射性物質の異常な放出	原子炉スクラム(中間領域計装の中性子束高信号)	アナログ	主蒸気隔離弁閉(主蒸気管放射線高信号)	デジタル	要
	放射性気体廃棄物処理施設の破損	—	—	排気筒モニタ放射線高	—	否	
	主蒸気管破断	原子炉スクラム(主蒸気隔離弁閉信号)	アナログ	主蒸気隔離弁閉(主蒸気管流量大信号)	アナログ	否	
	燃料集合体の落下	—	—	非常用ガス処理系起動(燃料取替階放射線高信号)	デジタル	要	
	可燃性ガスの発生	—	—	—	—	否	
	動荷重の発生	—	—	—	—	否	

要件整合確認(詳細設計)における確認体制及び確認フロー

要件整合確認(詳細設計)における確認体制及び確認フロー

1. 確認体制

要件整合確認(詳細設計)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 対策設備の設計・有効性評価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	担当範囲
責任者	■■■■■	原子力エネルギー協議会 技術班 部長	3. 多様化設備要件 4. 有効性評価
担当者	■■■■■	原子力エネルギー協議会 運営班 副部長	3. 多様化設備要件
	■■■■■	原子力エネルギー協議会 運営班 副部長	4. 有効性評価

2. 確認フロー

今回の要件整合確認(詳細設計)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(詳細設計)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(詳細設計)を取りまとめ、ATENA に提出した。
- ATENA 確認チームは、受領した要件整合報告書(詳細設計)に対して、要件整合確認を行い、確認結果を ATENA 役員に報告し、承認を得た。