

デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因 故障対策の自律的対応について

川内1号機の対応結果と振り返り

2023年 7月13日
原子力エネルギー協議会

1. はじめに
2. 川内 1 号機で行った対応
3. ATENAによる川内 1 号機の確認結果
4. 川内 1 号機の振り返り
5. デジタルCCF対策の今後の進め方
6. 後続プラントの対応状況
 - (添付 1) 川内 1 号機 要件整合報告書 (詳細設計)
 - (添付 2) 川内 1 号機 要件整合報告書 (手順書)
 - (添付 3) 川内 1 号機 工事・検査完了確認書
 - (添付 4) ATENAの確認要領 (マニュアル)

1. はじめに

- (1) 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。）の自律的対応について、最早プラントの川内1号機は、ATENAによる要件整合確認（詳細設計）、要件整合確認（手順書）及び工事・検査完了確認が完了し、2023年4月から対策設備の運用を開始した。
- (2) 川内1号機では、第6回（2023年2月17日）及び第7回（2023年3月20日）の公開会合（発電用原子炉施設におけるデジタル安全保護系の共通要因故障対策等に関する検討チーム）を踏まえ、追加対応を行ったことから、今回、川内1号機で行った対応とその振り返りについて説明する。
- (3) 川内2号機は、川内1号機と同様の対応を行い、2023年3月にATENAによる要件整合確認（詳細設計）、2023年7月にATENAによる要件整合確認（手順書）、2023年7月にATENAによる工事・検査完了確認が完了し、2023年7月に対策設備の使用を開始する予定である。
- (4) 柏崎刈羽7号機は、2023年6月にATENAによる要件整合確認（詳細設計）、2023年7月にATENAによる要件整合確認（手順書）が完了し、2023年7月には検査を開始する計画である。

2. 川内 1 号機で行った対応 (1/3)

ATENAは、第 6 回及び第 7 回公開会合を踏まえ、(図 1) に示す「デジタルCCF対策に係る安全対策の基本フロー」に基づき、川内 1 号機に対し、以下の対応を行った。

(1) ATENAが事業者に要求した対応

① 要件整合報告 (詳細設計)

事業者は、技術要件書「3. 多様化設備要件」及び「4. 有効性評価」の要求事項について、要件整合報告書(詳細設計)を提出すること。

② 要件整合報告 (手順書)

事業者は、技術要件書「5. 手順書の整備と教育及び訓練の実施」の要求事項について、要件整合報告書(手順書)を提出すること。

③ 事業者自主検査

事業者は、工事完了後に実施する事業者自主検査を、使用前事業者検査と同等の内容及び体制にて実施し、検査記録を提出すること。

④ 運用開始後の管理体制

事業者は、デジタルCCF対策に係る保全計画、手順書、教育訓練、故障時の措置等について、保安規定に基づく規定文書及び保安管理体制で管理し、管理文書を提出すること。

⑤ 品質保証体制

事業者は、設計管理について、設工認対象の工事と同等のプロセスで管理し、管理記録を提出すること。

2. 川内1号機で行った対応 (2/3)

(2) ATENAによる確認

ATENAは、以下の確認を行った。(詳細は、「3. ATENAによる川内1号機の確認結果」に示す。)

- ① 要件整合確認 (詳細設計)
- ② 要件整合確認 (手順書)
- ③ 工事・検査完了確認

(3) ATENAによるプロセス管理

ATENAは、以下のホールドポイントを設けて事業者のプロセスを管理することとした。

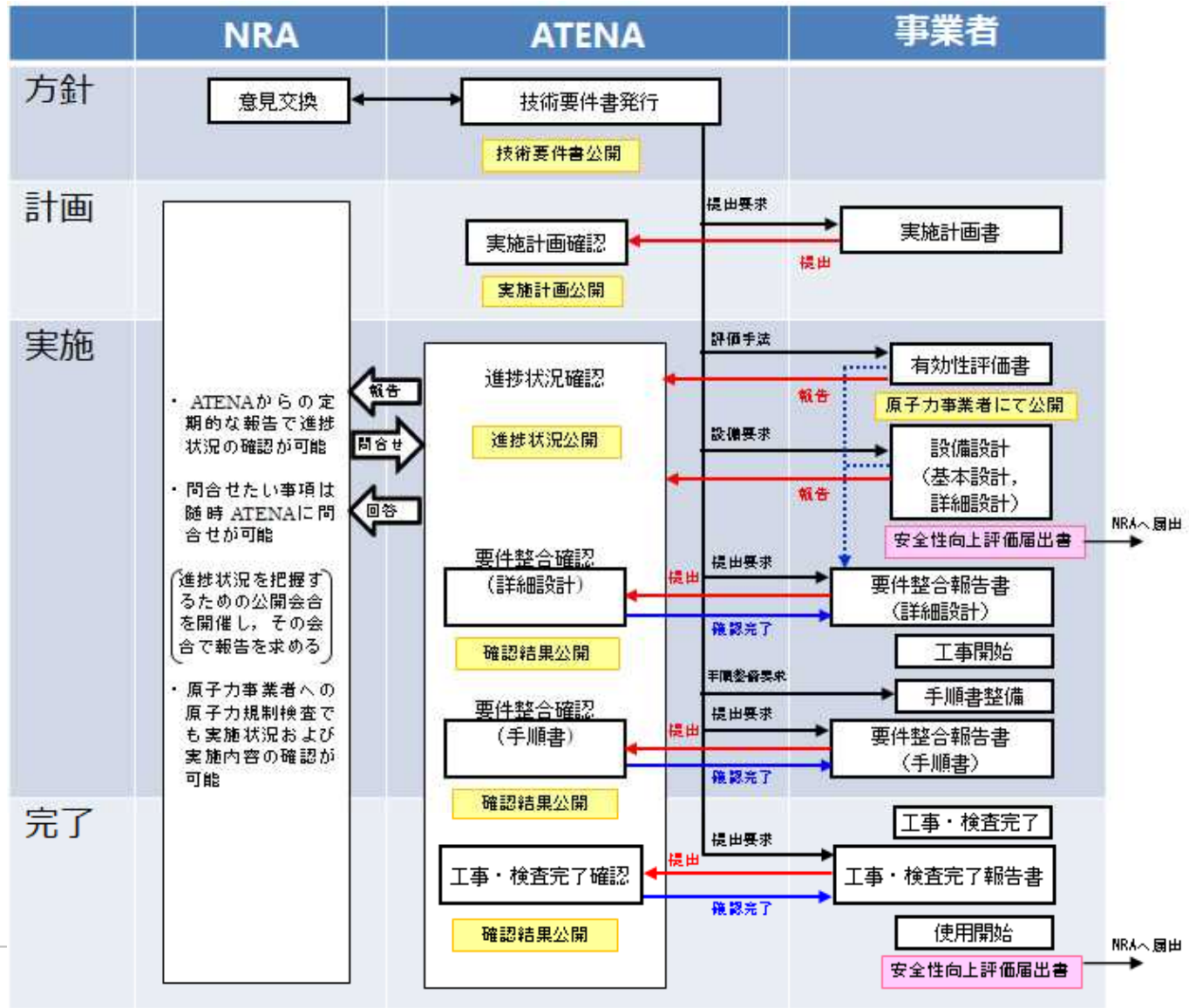
- ① ATENAは、事業者の工事開始前までに、ATENAの要件整合確認 (詳細設計) を完了し、確認結果を事業者に通知するとともに速やかに公開する。
事業者は、ATENAの確認結果の通知をもって、工事を開始する。
(川内1号機については、ATENAによる要件整合報告書 (詳細設計) の確認完了前に工事を開始しているが、確認完了後に工事を完了し、検査を開始した。)
- ② ATENAは、事業者の多様化設備の使用開始前までに、ATENAの要件整合確認 (手順書) 及び工事・検査完了確認を完了し、確認結果を事業者に通知するとともに速やかに公開する。
事業者は、ATENAの確認結果の通知をもって、多様化設備の使用を開始する。

2. 川内1号機で行った対応 (3/3)

- (4) ATENAによる「安全保護系への波及的影響の防止」検査への現場同席確認
安全保護回路への波及的影響防止については、その重要性に鑑み、事業者自主検査にATENAが現場で同席して確認した。
- (5) ATENAによる確認結果の公開
ATENAは、事業者の要件整合報告書（詳細設計）、要件整合報告書（手順書）及び工事・検査完了報告書の確認結果について、事業者の報告書と合わせてATENAが取りまとめた確認書についても公開を行った。

(図 1) デジタルCCF対策に係る安全対策の基本フロー

第 7 回公開会合(2023年3月20日)以降、基本方針に基づく対応フローを以下に見直した。



3. ATENAによる川内1号機の確認結果（1/6）

川内1号機のデジタルCCF対策に係る安全対策については、追加対応を反映した「デジタルCCF対策に係る安全対策の基本フロー」を（図1）に基づき実施した。基本フローの各プロセスの完了実績を下表に示す。

	事業者の完了時期	ATENAの確認
有効性評価	2022年6月公開	実績確認
基本設計	2021年11月完了	実績確認
詳細設計	2023年2月完了	実績確認
要件整合報告（詳細設計）	2023年1月提出 2023年3月提出（改訂1）	2023年3月改訂指示 2023年3月確認・公開
要件整合報告（手順書）	2023年4月提出	2023年4月確認・公開
工事・検査完了報告	2023年2月工事開始※ 2023年4月提出	2023年4月確認・公開

※：ATENAによる要件整合報告書（詳細設計）の確認完了前に工事を開始しているが、確認完了後に工事を完了し、検査を開始した。

3. ATENAによる川内1号機の確認結果（2/6）

(1) 要件整合確認（詳細設計）

- ATENAは、2023年1月に川内1,2号機の要件整合報告書（詳細設計）を受領し、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、確認結果を2023年3月に公開した。（添付1）

3. 多様化設備要件	4. 有効性評価
3.1 設置要求	4.1 有効性評価の目的
3.2 機能要求	4.2 評価すべき事象
3.3 多様化設備の範囲	4.3 判断基準
3.4 設計基本方針	4.4 解析に当たって考慮すべき事項
3.5 多様化設備への要求事項	

- 要件整合確認において、ATENAは、技術要件書の「3.5.8 安全保護回路への波及的影響防止」に関して、多様化設備は安全保護回路に対して隔離デバイス（アイソレーションカード等）による電氣的分離、及び異なる筐体に設備を収納する物理的分離を設計上考慮していることを確認した。なお、ATENAは、九州電力（株）に対して、本確認に係る設計図書を追加提出を指示し、九州電力（株）は要件整合報告書（詳細設計）の改訂（2023年3月）を行った。

3. ATENAによる川内1号機の確認結果（3/6）

(2) 要件整合確認（手順書）

○ATENAは、2023年4月に川内1号機の手順書の要件整合報告書（手順書）を受領し、以下の確認内容及び確認の観点に基づき、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、確認結果を2023年4月に公開した。（添付2）

技術要件書の要件	確認内容
5.1 手順書の整備	<ul style="list-style-type: none">デジタル安全保護回路の自動作動が要求されたときに原子炉停止系統及び工学的安全系施設が作動していないことを認知する手段を特定し、ソフトウェアCCF事象を判断する手順が記載されていること。所定の手順への移行の方法が明確になっていること。運転操作を行う場合の判断条件及び操作場所が記載されていること。所定の手順への移行の方法が明確になっていること。プラント状態を監視するための手段及びその設置場所が記載されていること。
5.2 教育及び訓練の実施	<ul style="list-style-type: none">運転員に対して、整備された手順書の内容について習熟を図ることができるよう、教育及び訓練が計画されていること。

3. ATENAによる川内1号機の確認結果（5/6）

(3) 工事・検査完了確認

○ATENAは、2023年4月に川内1号機の工事・検査完了報告書を受領し、以下の確認内容に基づき、設計から検査実施までの品質保証体制、及び運用開始後の管理体制が適切に管理されていること、並びに自主検査が適切に実施され全ての検査項目が判定基準を満足していることを確認し、確認結果を2023年4月に公開した。（添付3）

確認項目	確認内容	確認資料
品質保証体制	<ul style="list-style-type: none">設計から検査実施までの品質保証体制について、設計及び工事計画認可申請／届出の対象の工事と同等のプロセスで管理されていることを確認する。	品質保証の計画及び記録
事業者自主検査結果	<ul style="list-style-type: none">使用前事業者検査と同等のプロセスで検査項目、検査内容、検査対象範囲が選定されていること。既設設備については、過去の使用前検査、使用前事業者検査等の実績を踏まえて検査対象範囲が選定されていること。使用前事業者検査と同等の検査体制で実施されていること。全ての検査項目について、判定基準を満足していること。	事業者自主検査の計画及び記録
運用開始後の管理体制	<ul style="list-style-type: none">保全計画、手順書の整備と教育及び訓練、故障時の対応及び日常管理について、保安規定に基づく規定文書及び保安管理体制で管理することが規定されていること。	運用管理方針及び保安規定に基づく規定文書

3. ATENAによる川内1号機の確認結果（6/6）

- また、ATENAは、安全保護回路への波及的影響防止について、その重要性に鑑み、事業者自主検査に現場で同席して確認を行った。なお、ATENAによる指摘はなかった。
その際、ATENAは、検査開始前に事業者に対し、ATENAから指摘があった場合には検査実施要領書の不適合管理に基づき対応する方針であることを口答で確認した。なお、後続プラントでは、同方針が検査実施要領書又はオーソライズ資料に記載されていることを確認することとした。
- 事業者の運用管理方針（オーソライズ資料）に、「ATENAによる要件整合確認（手順書）及び工事・検査完了確認を経て使用開始する」ことが定められていることを確認した。

4. 川内1号機の振り返り（1/5）

（1）川内1号機の実施内容に対するATENAの評価を以下に示す。

項目	実施内容	評価
要件整合確認 （詳細設計）	<ul style="list-style-type: none">・事業者は川内1,2号機の要件整合報告書（詳細設計）をATENAに提出した。（2023年1月31日）・ATENAは、同報告書には、記載の追加、充実及び適正化が必要と判断し、事業者に対して気付き事項12件を送付し、改訂版の提出を求めた。（2023年3月1日）・事業者は、ATENAの気付き事項の反映を行い、改訂版をATENAに提出した。（2023年3月6日）・ATENAは、有効性評価と詳細設計が、ATENAの技術要件書の要求内容に整合していることを確認し、確認結果を公開した。（2023年3月14日）	<p>事業者の報告書に対する12件の気付き事項は、全て報告書の記載に関するもので、要求内容に違反するような重篤なもの無く、事業者はATENAが求めた対策を確実に実施できていた。</p> <p>ATENAの技術要件書の要求内容に対する、事業者の設備設計と有効性評価の妥当性を示す重要な確認である。</p> <p>また、ATENAが設計図書や有効性評価書を確認し公開することにより、透明性を確保できる。</p>

4. 川内1号機の振り返り (2/5)

項目	実施内容	評価
要件整合確認 (手順書)	<ul style="list-style-type: none">・事業者は、川内1号機要件整合報告書（手順書）をATENAに提出した。（2023年4月3日）・ATENAは、手順書整備及び教育・訓練計画が技術要件書の要求内容に整合していることを確認し、確認結果を公開した。なお、ATENAの気付き事項は無かった。（2023年4月17日）	ATENAによる指摘は無く、事業者は適切に対応していた。ATENAが事業者の手順書や規定文書を確認し公開することにより、透明性を確保できる。
ATENAの現場同席確認	ATENAは、安全保護系への波及的影響防止に関して、隔離デバイス（アイソレータ等）による電气的分離等の確認に係る事業者自主検査に現場同席し、検査の実施状況を確認した。なお、現場同席確認においてATENAから指摘は無かった。（2023年3月28日）	ATENAによる指摘は無く、事業者は適切に対応していた。安全保護系への波及的影響の防止の検査は、安全上重要な確認であり、ATENAが現場で同席することにより、一層の确实性を担保した。また、ATENAが現場で確認し公開することにより、透明性を確保できる。

4. 川内1号機の振り返り (3/5)

項目	実施内容	評価
工事・検査完了確認	<p>・事業者は、川内1号機の、設計から検査実施までの品質保証体制、事業者自主検査結果及び運用開始後の管理体制について、工事・検査完了報告書をATENAに提出した。(2023年4月10日)</p> <p>・ATENAは、以下の確認を行い、対策工事が適切に完了したことを確認し、確認結果を公開した。なお、気付き事項は無かった。(2023年4月17日)</p> <p>①設計から検査実施までの品質保証体制について、設工認対象の工事と同等のプロセスで管理されている。</p> <p>②自主検査が使用前事業者検査と同等のプロセス及び検査体制で実施されており、全ての検査項目が判定基準を満足している。</p> <p>③保全計画、手順書の整備及び教育訓練、故障時の対応及び日常管理について、保安規定に基づく規定文書で管理される。</p>	<p>ATENAによる気付き事項は無く、事業者は適切に対応していた。</p> <p>ATENAが検査記録や運用開始後の管理体制に関する規定文書を確認し公開することにより、透明性を確保できる。</p>

4. 川内1号機の振り返り (4/5)

項目	実施内容	評価
ATENAによるホールドポイント管理	<p>ATENAは、以下のホールドポイント管理を行った。</p> <p>①事業者の工事開始前までに、ATENAの要件整合確認（詳細設計）を完了する。 川内1号機は既に工事を開始していたことから、以下の対応を行った。</p> <ul style="list-style-type: none">・ATENAは確認結果を事業者に通知した。（2023年3月9日）・事業者は、ATENAの確認結果の通知をもって、対策設備の工事を完了し、検査を開始した。 <p>②事業者の設備使用開始前までに、ATENAの要件整合確認（手順書）及び工事・検査完了確認を完了する。</p> <ul style="list-style-type: none">・ATENAは、確認結果を事業者に通知した。（2023年4月14日）・事業者は、ATENAの確認結果の通知をもって、対策設備の使用を開始した。（2023年4月19日）	<p>事業者は検査が完了していない状況で、設備の使用を開始することは無い。</p> <p>ATENAが確認結果を公開することにより、透明性を確保できる。</p>

（2）川内1号機の振り返りを踏まえたPDCA

①確認要領への反映

川内1号機で実施したATENAの確認方法やプロセス管理方法を、事業者と共有するため、ATENA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に関する実施状況等の確認要領」に以下の内容を追加する。（添付4）

- ATENAが事業者に要求する追加対応
 - ・要件整合報告（手順書）
 - ・工事・検査完了報告
- ATENAによるプロセス管理
- ATENAによる「安全保護系への波及的影響の防止」検査への現場同席確認

②技術要件書への反映（手順書関係）

後続のPWRプラント、ABWRプラントの要件整合確認（手順書）における結果も踏まえて、ATENA-WGにおいて手順書の整備と教育及び訓練の実施に係る技術要件書の改定について検討を行う。

(1) 川内 1 号機の振り返りの結果、以下の評価結果を得たことから、後続プラントについても、川内 1 号機と同様の対応を継続する。

【川内 1 号機の振り返りの評価結果】

- ①事業者は、ATENAが求めたデジタルCCF対策を確実に実施できていた。
- ②ATENAが、事業者の対策実施内容とATENAの確認内容を公開することにより、事業者の実施内容に対するATENAの確認結果を公開することにより、事業者の取り組みについて、外部の者への透明性が高まった。
- ③安全保護系への波及的影響の防止については、その重要性に鑑み、ATENAが事業者自主検査へ同席し確認することで、一層の確実性を担保した。

(2) 設計図書、検査記録、社内規定等を確認することにより、事業者の自律的な取り組みが適切に行われていることの透明性を高める仕組みを構築した。
なお、第三者機関を活用することも、今後検討する。

(3) ATENAは、各事業者の工事開始、検査開始及び使用開始の計画（年月ベース）を管理し、ホールドポイントを設けてプロセス管理を行う。
なお、事業者がATENAの確認がなければプロセスを進めないことを、社内オーソライズ資料等に規定することにより、プロセスを管理する仕組みを構築した。

6. 後続プラントの対応状況（1/5）

川内 2 号機及び柏崎刈羽 7 号機においても、川内 1 号機と同様の対応を行っている。

(1) 川内 2 号機

①多様化設備の概要

自動作動機能、手動操作機能、指示機能、警報機能を有する多様化設備を設置した。
川内 1 号機と同じであり相違点はない。（図 2）

②対応状況

	事業者の完了時期	ATENAの確認
要件整合報告（詳細設計）	2023年1月提出 2023年3月提出（改訂 1）	2023年3月改訂指示 2023年3月確認・公開
要件整合報告（手順書）	2023年7月提出	2023年7月確認・公開
工事・検査完了報告	2023年5月工事開始 2023年7月提出	2023年7月確認・公開

③ATENAによる確認結果

✓ 要件整合確認 (詳細設計)

川内1,2号機として要件整合確認を行っており、川内1号機との相違点はない。なお、波及的影響に関する確認として、事業者に対して、要件整合報告書(詳細設計)の改訂を指示し、隔離デバイス(アイソレーションカード等)が回路図に記載されていることを確認した。

✓ 要件整合確認 (手順書)

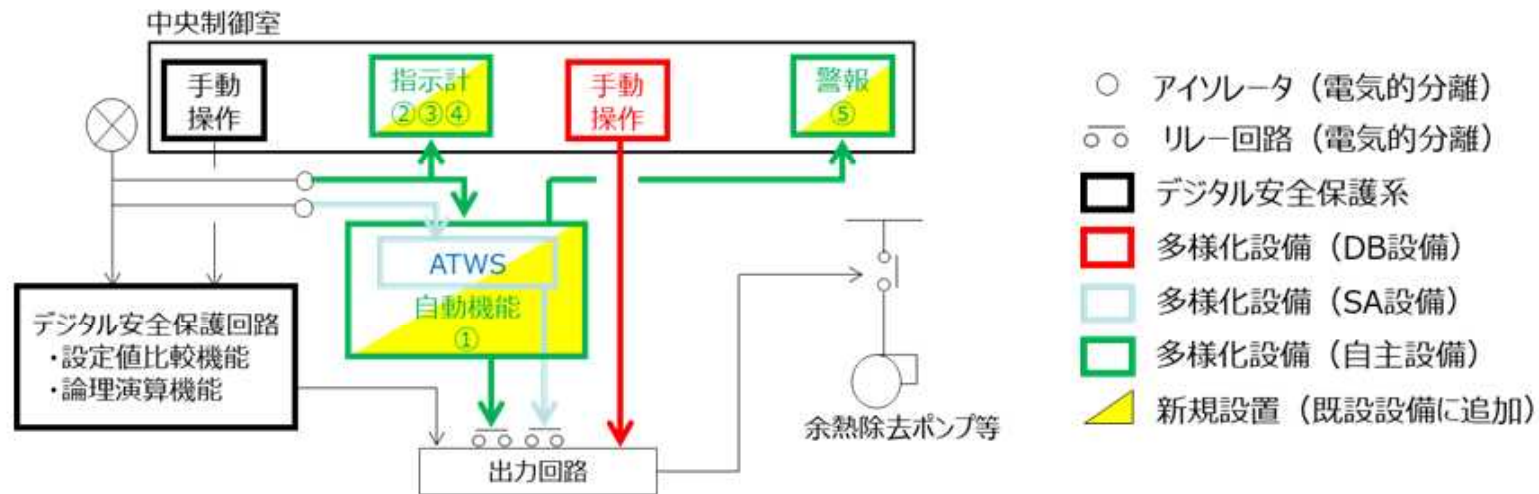
川内1号機と同様に手順書が整備され、教育訓練計画に基づき教育及び訓練が実施されることを確認した。川内1号機との相違点はない。

✓ 工事・検査完了確認

川内1号機と同様に、設計から検査実施までの品質保証体制、及び運用開始後の管理体制が適切に管理されていること、並びに自主検査が適切に実施され全ての検査項目が判定基準を満足していることを確認した。

川内1号機との相違点として、「安全保護系への波及的影響の防止」に係る事業者自主検査へのATENA又は第3者機関の現場同席における指摘・気付き事項があった場合の不適合管理について、オーソライズ資料に記載されていることを確認した。

(図2) デジタルCCF対策の概要 (川内2号機)



設備区分		自動機能	手動操作	指示計	警報
既設 流用	DB 設備	-	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉トリップ 主給水隔離 主蒸気隔離 補助給水起動/流量調節 高圧/低圧注入系起動 格納容器隔離 主蒸気逃がし弁全開/全閉 加圧器逃がし弁全開/全閉 	-	-
	SA 設備	<ul style="list-style-type: none"> 補助給水起動 主蒸気隔離 	-	-	-
	自主 設備	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉トリップ 主給水隔離 	-	<ul style="list-style-type: none"> 1次冷却材圧力 加圧器水位 主蒸気ライン圧力 蒸気発生器水位 (狭域) 格納容器圧力 1次冷却材低温側温度 (広域) 	<ul style="list-style-type: none"> 多様化設備作動 加圧器圧力低 (原子炉トリップ等) 加圧器圧力高 (原子炉トリップ等) 蒸気発生器水位低 (原子炉トリップ等) 蒸気発生器水位異常高
新規 設置	自主 設備	①高圧/低圧注入系起動	-	<ul style="list-style-type: none"> ②中間領域中性子束 ③燃料取替用水タンク水位 ④格納容器再循環サンブ広域水位 	⑤加圧器圧力異常低 (高圧/低圧注入系作動)

6. 後続プラントの対応状況 (3/5)

(2) 柏崎刈羽 7 号機

① 多様化設備の概要

自動作動機能、手動操作機能、指示機能、警報機能を有する多様化設備を設置した。
(図 3)

② 対応状況

	事業者の完了時期	ATENAの確認
要件整合報告 (詳細設計)	2023年1月提出 2023年6月提出 (改訂 1)	2023年5月改訂指示 2023年6月確認・公開
要件整合報告 (手順書)	2023年7月提出	2023年7月確認・公開
工事・検査完了報告	2022年7月工事開始※ 2023年8月提出予定	2023年8月確認・公開予定

※ : ATENAによる要件整合報告書 (詳細設計) の確認完了前に工事を開始しているが、確認完了後に工事を完了し、検査を開始した。

③ATENAによる確認結果

✓ 要件整合確認 (詳細設計)

川内1号機と同様の確認項目について確認を行い、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。

なお、波及的影響に関する確認として、事業者に対して、要件整合報告書(詳細設計)の改訂を指示し、隔離デバイス(アイソレーションカード等)が回路図に記載されていることを確認した。

川内1号機との相違点として、事業者の報告書の記載内容について、説明性の観点から事業者に気付き事項を通知して報告書の改訂指示を出し、気付き事項の内容はATENAの要件整合確認書(詳細設計)に添付して公開した。

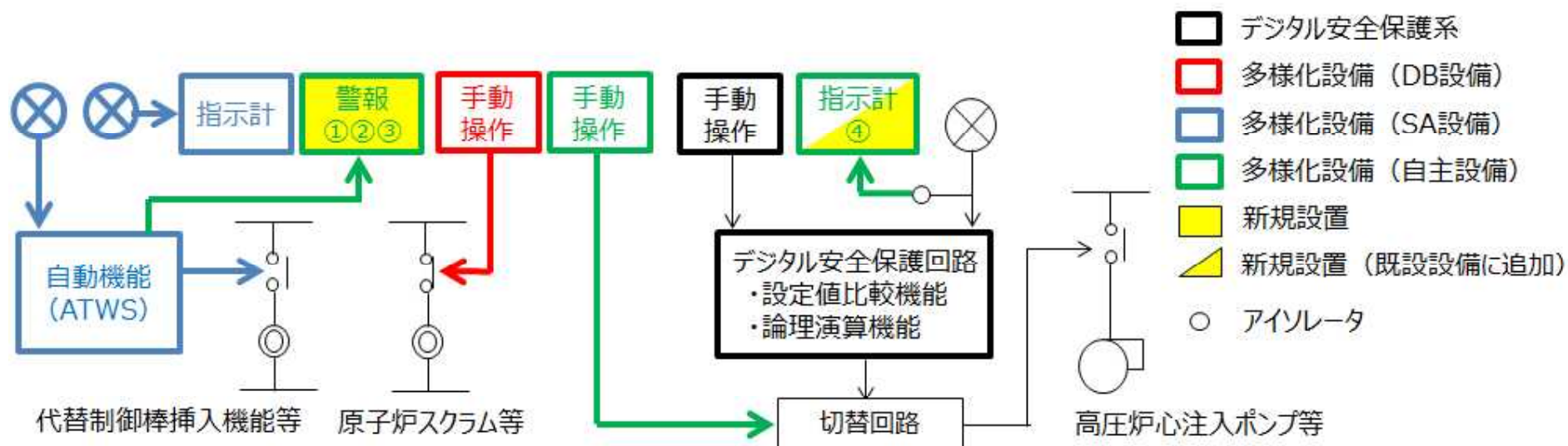
✓ 要件整合確認 (手順書)

川内1号機と同様に手順書が整備され、教育訓練計画に基づき教育及び訓練が実施されることを確認した。

川内1号機との相違点として、川内1号機は事象ベースの事故時操作手順書であるのに対し、柏崎刈羽7号機は徴候ベースの事故時操作手順書となっている。

(PWRとBWRの相違)

(図3) デジタルCCF対策の概要 (柏崎刈羽7号機)



設備区分		自動機能	手動操作	指示計	警報
既設 流用	DB設備 (安全保護系)		・原子炉スクラム ・主蒸気隔離弁閉止	・主蒸気隔離弁の状態	
	SA設備	・代替制御棒挿入機能 ・代替原子炉再循環ポンプトリップ		・原子炉水位, 原子炉圧力	
	自主設備		・主要な隔離弁閉止 ・高圧炉心注水系起動	・主要な隔離弁の状態 ・高圧炉心注水系系統流量	
新規 設置	自主設備			④ドライウェル圧力	①ARI作動 ②L-2 ③原子炉圧力高高

6. 後続プラントの対応状況 (5/5)

(3) 2023年度に要件整合報告（詳細設計）完了予定のプラント
（川内1号機、川内2号機、柏崎刈羽7号機を除く。）

プラント	炉型	要件整合報告（詳細設計）	工事・検査完了報告
大飯3号機	PWR	2023年1月提出済 2023年4月提出済（改訂1）	2024年度（第20回定検）
大飯4号機	PWR	2023年1月提出済 2023年4月提出済（改訂1）	2023年度（第19回定検）
高浜3号機	PWR	2023年4月提出済	2023年度（第26回定検）
高浜4号機	PWR	2023年4月提出済	2024年度（第25回定検）
美浜3号機	PWR	2023年8月提出予定	2023年度（第27回定検）
玄海3号機	PWR	2023年9月提出予定	2023年度（第17回定検）
玄海4号機	PWR	2024年1月提出予定	2024年度（第16回定検）
高浜1号機	PWR	2024年2月提出予定	2024年度（第28回定検）
高浜2号機	PWR	2024年2月提出予定	2024年度（第28回定検）
島根2号機	BWR	2023年9月提出予定	新規制基準適合性に係る工事完了まで
女川2号機	BWR	2023年11月提出予定	新規制基準適合性に係る工事完了まで
柏崎刈羽6号機	ABWR	2024年3月提出予定	再稼働前に実施

**川内原子力発電所 1 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)**

別冊資料参照

**川内原子力発電所1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)**

別冊資料参照

**川内原子力発電所1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
に関する工事・検査完了確認書**

別冊資料参照

**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
実施状況等の確認要領**

別冊資料参照