

## デジタル安全保護系のソフトウェア共通要因故障対策に関する 事業者の対応状況及び今後の対応

令和5年12月27日  
原子力規制庁

### 1. 趣旨

本議題は、発電用原子炉施設におけるデジタル安全保護系のソフトウェア共通要因故障（以下「デジタルCCF」という。）対策に関する事業者の対応状況について報告するとともに、今後の対応について、了承を諮るものである。

### 2. 経緯

デジタルCCF対策については、事業者が参画する原子力エネルギー協議会（以下「ATENA」という。）の~~ガバナンスの下で~~活動の枠組みの中でその事業者が~~対策を~~自律的な取組を進めることとしており、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（以下「検討チーム」という。）において、ATENA及び事業者が実施する活動の説明を受けているところである。令和5年5月17日の原子力規制委員会において、ATENA及び事業者が実施する活動の内容を報告した際、事業者の自律的対応に対するATENAの関与についてのトップマネジメントの姿勢や考え方について、原子力規制委員会とATENAとの間で意見交換を実施することが了承され、同年7月19日の原子力規制委員会において意見交換が実施された。

同意見交換において、ATENA理事から、デジタルCCF対策については、原子力規制委員会からの問題意識を認識し、ATENAの~~ガバナンスの下で~~活動の枠組みの中で事業者が自律的な取組をしっかり対応する進めるとの意向が表明された。

その後、同意見交換の結果を踏まえて実施した第8回及び第9回検討チーム会合（令和5年7月25日及び10月26日）において、九州電力株式会社川内原子力発電所（以下「川内原子力発電所」という。）1号機、2号機及び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（以下「柏崎刈羽原子力発電所」という。）7号機の対応状況並びにATENAの関与の具体的内容について、ATENA及び事業者から説明を受け、意見交換を行った（参考1及び参考2参照）。

### 3. 検討チーム会合の結果

第8回及び第9回検討チーム会合の結果概要は以下のとおり（詳細は別紙参照）。

### 3. 1 ATENAの取組状況の確認結果

これまでにATENAが実施するとしていた主な確認内容は以下のとおり。検討チーム会合では、これらに対するATENAの取組状況を、以下（１）及び（２）のとおり確認した。

- ① 事業者の詳細設計が技術要件<sup>1</sup>に整合していること
- ② 事業者の設計管理が設工認対象の工事と同等に実施されていること
- ③ 事業者の運用が技術要件に整合していること
- ④ 運用開始後の管理が保安規定に基づく文書及び体制で実施されていること
- ⑤ 事業者自主検査の現場立会い

#### （１）川内原子力発電所に関する活動について

川内原子力発電所 1号機及び2号機については、これまでに、上記①～⑤が実施されたことが示され、新たな課題はなかった。

#### （２）柏崎刈羽原子力発電所に関する活動について

柏崎刈羽原子力発電所 7号機については、これまでに、上記①～⑤が実施されたことが示された。本件の議論において見いだされた論点とこれに対するATENAの対応は3. 2のとおり。

### 3. 2 論点とATENAの対応

#### （１）許認可実績のない解析コードの適用や技術基準適合性について

デジタルCCF対策に係る有効性評価において、許認可における使用実績のない解析コードを用いており、低温反応度事故時のボイド反応度フィードバックが考慮されていることに関し議論があった。第8回検討チーム会合においてATENAは、有効性評価書で引用された参考文献に記載されるモデルの詳細やその検証結果により技術要件への整合性を確認し<sup>2</sup>、妥当と判断した旨説明した。この点について検討チーム会合で当該手法の十分性について議論があったことを踏まえ、第9回検討チーム会合においてATENAは、事業者に解析コードの妥当性に関する追加資料を求め、これを確認することにより妥当と判断した旨の説明があった。

---

<sup>1</sup> デジタルCCF対策に対する技術要件は、「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。）に規定されている。この技術要件書は、デジタル安全保護回路に係る共通要因故障対策として満足すべき水準（令和2年3月23日原子力規制委員会了承）を具体化するものとして策定された。

<sup>2</sup> 技術要件書において、「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」とされている。

また、追設したドライウェル圧力指示計のアイソレータが安全保護系に属していない点<sup>3</sup>について、第8回検討チーム会合においてATENAは、事業者から、安全保護系と計測制御系が機能的に分離されており問題ないと説明を受け、これを妥当と判断した旨説明していた。この点について検討チーム会合における技術基準規則解釈への適合性の観点からの議論を踏まえ、第9回検討チーム会合においてATENAは、事業者が自主的にアイソレータを安全保護系に属するように設計変更を行い、ATENAがこの内容を確認し妥当と判断したとの説明があった。

これらの事例を踏まえ、今後、事業者が許認可実績のない解析コードの適用を行う場合や技術基準適合性が明確でない場合は、ATENAが事業者及びメーカーに十分な説明を求めた上で妥当性の確認を行うとの方針を確認した。

## (2) デジタルCCFを考慮すべきデジタル化の範囲

ATENAから、手動操作（MSIV閉回路）の出力回路にFPGA<sup>4</sup>が使用されているプラントがあり、この回路は本来デジタルCCF対策の範疇外であるものの、保守的にソフトウェアCCFを想定した旨説明があった<sup>5</sup>。ATENAからは、今後、デジタルCCF対策において多様性と捉えて良いデジタル化技術の要件を明確化し、技術要件書へ反映する予定であるとの説明があった。検討チームからは、この点は安全保護系に用いられるデジタル化技術の構成を踏まえて整理すべきで、デジタルCCF対策の議論とは別途検討されるべきものである旨を指摘した<sup>6</sup>。

なお、ATENAから、今回説明した3機以外のプラントで導入予定のデジタルCCF対策は、検討チーム会合において説明した内容と大きな差異はなく、ATENAにおいて技術要件適合性等を確認し、原子力規制庁に情報共有するとの説明があった。

---

<sup>3</sup> 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈「別記-11 日本電気協会「安全保護系へのデジタル計算機の適用に関する規程（JEAC4620）」等の適用に当たって」において、「デジタル安全保護系と計測制御系との信号取り合いには、光/電気変換などのアイソレーションデバイスを用いる。この場合アイソレーションデバイスは安全保護系に属する。」とされている。

<sup>4</sup> 素子メーカーの製造・出荷後に、論理回路の設計者により用途に合わせて内部回路がプログラムされる集積回路素子。Field Programmable Gate Array

<sup>5</sup> 技術要件書において、デジタル安全保護系のCCF対策の対象は、デジタル計算機を適用した安全保護回路のうち設定値比較機能、論理演算機能とされている。

<sup>6</sup> デジタル安全保護系を構成するデジタル化技術には、CPU(Central Processing Unit)による演算処理に限らず、FPGA等も含め、これまでに示されたソフトウェアの共通要因故障対策においてその影響を一括して考慮した種々の技術が含まれる。今後、仮に個々のデジタル技術毎のCCF対策の要件を検討するとしても、その前に、それぞれのデジタル技術が実行する機能の重要度、複雑さ、処理としての実装方法等、広範な技術的要素を踏まえて、どのようなデジタル技術がどのような箇所に使われているか、使われる可能性があるかを把握することが必要である。

#### 4. 今後の対応（了承事項）

原子力規制委員会とATENAとの意見交換において、デジタルCCF対策については、ATENAの~~ガバナンスの下で対応する活動の枠組みの中で事業者が自律的に取り組む~~との意向が表明され、今般、ATENA及び事業者から、川内原子力発電所1号機及び2号機並びに柏崎刈羽原子力発電所7号機のデジタルCCF対策の状況について具体的対応状況に関し説明を受けた。

検討チーム会合での議論を通じ、ATENA及び事業者がこれまで説明したとおりに対応していること、デジタルCCF対策については現時点で更なる議論が必要な課題はないこと、今後事業者が実施するデジタルCCF対策はこれまで検討チーム会合において説明した内容と大きな差異はないこと、今後もATENAが技術要件適合性を確認していく方針を示していることが確認できた。

このため、引き続き 事業者にATENAのガバナンスの下で活動の枠組みの中で デジタルCCF対策を実施させることとし、原子力規制庁は、ATENAから、これまで検討チーム会合でなされた説明との差異を中心に適宜面談にて聴取することとする（資料及び面談概要は公開）。特段の必要が認められる場合には検討チーム会合を開催し、その結果を原子力規制委員会に報告することとする。なお、デジタルCCF対策に係る追加設備を対象とする原子力規制検査は、令和5年5月17日の原子力規制委員会において了承された方針通り、事業者の保安活動の監視の一環として実施する。

また、FPGAの取扱いに関する議論を踏まえた安全保護系設備のデジタル化技術に関する課題については、デジタルCCF対策とは別に調査を行い、技術情報検討会に報告する。

別紙	検討チーム会合の結果
参考1	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（第8回検討チーム 資料8-1-1）
参考2	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 今後のATENAによる対応（第9回検討チーム 資料9-1-1）

## 検討チーム会合の結果

### 1. 第8回検討チーム会合

#### 1-1. 事業者等からの説明の概要（参考1）

- (1) 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19日から対策設備の使用を開始した。
- (2) 川内2号機は、川内1号機と同様の対応を行い、2023年3月9日にATENAによる要件整合確認（詳細設計）、2023年7月5日にATENAによる要件整合確認（手順書）、2023年7月12日にATENAによる工事・検査完了確認が完了し、2023年7月14日に対策設備の使用を開始した。
- (3) 柏崎刈羽7号機は、2023年6月20日にATENAによる要件整合確認（詳細設計）、2023年7月14日にATENAによる要件整合確認（手順書）が完了し、2023年7月20日に検査を開始した。

#### 1-2. 主な質疑応答

##### (1) ATENAの技術要件書

NRA：運転手順書に関して、ヒューマンファクターエンジニアリングの観点から、運転手順書も設備と同様に設計対象として扱って、その妥当性が確認されるべきと思う。原子力規制委員会の人間工学設計開発に関する審査及び検査ガイドにおいて、対象手順書の設計として、手順書を設備と同様の設計対象として取り扱う考え方を採用した。この際に参考とした米国の規制では、Important Human Actionとして特段に重要な運転操作と扱われている。（今瀬原子力規制専門職 技術基盤課）

ATENA：基本的にはヒューマンファクターエンジニアリングに対する考え方を踏まえて、有効性評価の中で、手順書、設備と訓練を整理して構築している。ただし、タスク分析のエビデンスといったところまでは残していないので、今後、検討の余地があると考えている。（遠藤 ATENA デジタルCCF-WG委員）

NRA：運転手順を設計する上で、多様性を徹底し、部分的なCCFにも対処できるようにする必要があると思う。多様化設備が作動すると、これを原因として二次的な原子炉トリップも作動するはずなので、安全保護系からも警報が出力される可能性を否定できないのではないか。（今瀬原子力規制専門職 技術基盤課）

ATENA：デジタルCCFが起きた場合には、完全アナログの回路を用いて動作を

確認することになっているので、多様性を持っているが、今後、検討していくことが必要と思う。（岡原 ATENA デジタルCCF-WG委員）

ATENA：技術要件書にどのようにフィードバックしていくかは、今後ワーキングで検討したい。（谷川部長 ATENA 技術班）

## （2）ABWRの有効性評価、設計及び手順書

NRA：ABWRの有効性評価の確認について、低温RIA（反応度事故）時のボイド反応度フィードバックを考慮されているが、その妥当性は、ATENAとしてどのように確認したのか。トピカルレポートが出されていると思うが、ボイド反応度フィードバックの妥当性は確認されていないのではないかと。（関根副主任技術研究調査官 シビアアクシデント研究部門）

ATENA：今回作成したトピカルレポートの中で、必ずしも記載が十分でない部分はあったかもしれない。（及川 ATENA デジタルCCF-WG委員）

ATENA：別途確認して回答したい。ATENAとしては、最適コードとして、トピカルレポートが添付されていることの確認をしたが、トピカルレポートの中で、どこまで検証がされているかというところまでは確認していない。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：事業者が新しいコードを適用しても、ATENAとしては、内容を確認せずに、資料が提出されていることを確認するという意味か。（関根副主任技術研究調査官 シビアアクシデント研究部門）

ATENA：許認可等で参考解析として出しているコードであれば、検証はある程度終わっているだろうということを前提に、最適コードとしての適用は適切と判断をした。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：参考解析では使用実績があるとのことだが、それは使用実績にならない。今後、TRACコードをメインのツールに使用としていることは承知している。技術的に否定するものではないが、順序立てて進めてほしい。（杉山委員）

NRA：検討の経緯からいって、ATENAと事業者の自律的な活動に委ねることとしたのは、ATENAという組織がある程度中身を把握して、全体を主導するという期待があったのも事実だと思う。（遠山技術基盤課長）

NRA：より先進的なコードに移行するのは望ましいと思うが、オーソライズされたかのように前に進まないよう注意してほしい。（杉山委員）

ATENA：許認可の実績がないものについて、どのように扱うかについては、検討し説明したい。（富岡理事 ATENA）

NRA：有効性評価書の確認は、どのようなステップで行って、フィードバックはどのようにしているのか。技術的な内容について、十分に有効性評価の中で行われているか、内容が正しいかは、後段の要件整合確認の中で行われるのか。どういうコードが使われて、それが適切かという記録は保存されているのか。（酒井原子力規制専門職 技術基盤課）

ATENA：そのとおりである。最適コードを使う場合には検証されたコードであることを確認するという要求をしているので、トピカルレポートとし

て示されていることと、ATWS解析の参考として用いているという2点をもって適切なコードであると判断した。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：ドライウェル圧力のアイソレータは中操側に、HPCF（高圧炉心注水系）はRMU（多重伝送装置）側にあるが、設計思想の違いはどこにあるのか。（酒井原子力規制専門職 技術基盤課）

ATENA：安全保護系と多様化設備の分離ができれば問題ないと考えており、RMU側か中操側かというところは特にこだわっていない。（遠藤 ATENA デジタルCCF-WG委員）

NRA：シミュレーター訓練の中でSTA資格の新規取得という記載がある。これは米国でいうシフトテクニカルアドバイザーのことか。その場合、安全対策としてはよい活動と思う。CCFのように高度な技術知識が必要なものは、一般の運転員全てにレベルの高い教育をするというのは無理があるので、米国流のSTAを導入するのであれば、有効だと思う。（今瀬原子力規制専門職 技術基盤課）

ATENA：現時点では、米国のように高い知識のある要員として整備されていない。（狩山 ATENA デジタルCCF-WG委員）

### （3）ATENAによる要件整合確認

NRA：ATENAから事業者に要件整合確認の完了通知を行い、その後に工事を開始するという説明があった。これは、事業者やATENAの文書の形で担保されるのか。（菊川管理官補佐 実用炉監視部門）

ATENA：九州電力の場合、オーソライズ文書を基に運用を開始する。（財前 ATENA デジタルCCF-WG委員）

NRA：PWRプラントで、今後予定している主な対策は川内原子力発電所1号機と同様であるとのことだが、図面等で設計上相違ないことは確認したのか。（村上課長補佐 検査監督総括課）

ATENA：実施計画をつくるときに、プラント毎に主要な対策として出してもらって確認している。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：BWR5プラントは、多様化設備の設置が不要であっても運用に係る事業者検査を実施するとあるが、どのようなケースを想定しているのか。（村上課長補佐 検査監督総括課）

ATENA：設備対策がなくても、手順書に記載が追記される場合は、要件整合確認報告書（手順書）を出してもらい、確認する。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：検査後に、ATENAから確認完了という形で何か通知を出して、それから使用できるという理解でよいか。（村上課長補佐 検査監督総括課）

ATENA：設備がないので、設備の使用開始ではなく、一連の確認が終わった通知ということになる。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：有効性評価書には、設備の有無について、直接的に記載されていない。設備を設置する、しないという説明が、今後明確化されると思ってよいか。（酒井原子力規制専門職 技術基盤課）

ATENA：そのとおりで、BWR-5の要件整合確認については、事業者と作業会で議論している。（谷川部長 ATENA 技術班）

## 2. 第9回検討チーム会合

### 2-1. 事業者からの説明の概要

#### (1) 柏崎刈羽7号機の要件整合確認（詳細設計）の追加確認結果

##### ① TRAC 系コードの適用性に関する確認

第8回会合において、TRAC系コードの適用性に関して下記が論点となった。

- ・制御棒落下事象におけるボイド反応度の取り扱い
- ・許認可実績の無いコードの適用性

ATENAは、当初、有効性評価書で引用された参考文献に、モデル詳細説明やその検証結果が記載されており、技術要件書で要求した「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」に整合していることを確認し妥当と判断したが、その後、事業者に解析コードの妥当性に関する追加資料を求め、ATENAは、これを確認し妥当と判断した。

##### ② ドライウェル圧力指示計の設計変更内容の確認

第8回会合において、ドライウェル圧力計とHPCF系統流量計のアイソレータ設置位置の設計の違いに関して、ATENAは、安全保護系と計測制御系が機能的に分離されていれば問題ないとの事業者の説明を妥当としていたが、その後、事業者は、技術評価されたJEAC4620-2020を踏まえアイソレータを安全保護系に属するように設計変更を行った。ATENAは、当該設計変更の内容を確認し、妥当と判断した。

#### (2) ATENA による今後の対応

##### ① 課題抽出と妥当性確認

事業者及びメーカーは、許認可実績のない手法等、新たな課題を幅広く抽出し、その技術的論点を明確にする。ATENAは、対応方針を取り纏め事業者に連絡する。事業者は、対応方針に沿って要件整合報告書（詳細設計）を作成しATENAに提出する。

##### ② 第三者機関の活用（工事・検査完了確認業務委託）

ATENA 在籍の要員が行っている工事・検査完了確認で、今までの経験も踏まえ定型化されている部分については、第三者機関（発電技検）を活用する。

##### ③ 工事開始に関する事業者の担保について

事業者は、ATENAの要件整合確認（詳細設計）の完了通知を受けてから工

事を開始することを、オーソライズ文書等に定める。

#### ④PDCA

上記内容をATENA 確認要領書に反映した。また、安全保護回路（マイクロプロセッサ）と多様性が確保できるソフトウェア技術の要件を明確化し、技術要件書へ反映する。

### (3) BWR プラントの対応状況

ABWRプラントにおける主な対策は、手動操作に関する手順書（出力回路の一部にFPGAが使用されているため、保守的に当該FPGAをソフトウェアCCF対象としている。）を除き、柏崎刈羽7号機と同じである。また、BWR5プラントでは、安全保護回路の一部にデジタル化された範囲（放射線モニタ、中性子計装、温度計装）があるため、この範囲にソフトウェアCCFの発生を想定する。

## 2-2. 主な質疑応答

### (1) 許認可実績のない解析コードの適用

NRA：TRAC系コードの適用性に関するATENAの確認内容について、資料を確認した。今回は審査や技術評価ではないので、技術の詳細まで踏み込んだわけではないが、適用できると判断した考え方について、米国の許認可実績との差分を丁寧に確認したという点で、抜けはないと考える。（塚本上席技術研究調査官 シビアアクシデント研究部門）

NRA：許認可実績のない手法等が出てきた場合の手順が記載されているが、一方で、PWRはほぼ設計は同じようになる、BWRもABWRを踏まえてBWR5はもっと変更点は少なくなっているといった説明もあった。新しい工法の採用が既に予想されるので、手順を作ったのか。（佐々木企画調整官 技術基盤課）

ATENA：現時点では、具体的案件は聞いていないが、将来的には、そういう案件が出てきてもおかしくないので手順を決めた。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：許認可実績のない手法等、新しい技術を導入すること自体は奨励されるべきかもしれないが、ATENAに対して行うのは好ましくない。原子力規制委員会に対して申請し、議論を重ねて認められるというのが本来の姿ではないか。ATENAのほうが通しやすいといった認識があるとしたら、それは違う。ATENAのガバナンスを利かせることを前提にしているので、重く受け止めてほしい。（杉山委員）

ATENA：ATENAのガバナンスの中で自主的に行うものが今後出てきた場合には、同じやり方をするを考えている。（富岡理事 ATENA）

### (2) アイソレータの設計

NRA：アイソレータの電氣的分離について違和感があり指摘したが、JEAC4620-2020に基づいて、適切な設計に見直したとのことで、ATENAでの議論をとおして、是正されたことはよかった。一方で、産業界が技術評価を希望した民間規格と異なった設計がされていたということに対して、規制庁が指摘する前に、ATENA内で何らかの意見等があったのか。  
(酒井原子力規制専門職 技術基盤課)

ATENA：アイソレータが安全保護系にないということはATENAでも認識しており事業者に質問をしたが、事業者から安全保護系に抵抗が設置してあり電氣的な影響がないように設計をしているという説明があり、妥当と判断した。(谷川部長 ATENA 技術班)

NRA：アイソレータの適切性について再検討し、JEAC4620-2020に適合するように設計変更を行ったということだが、ほかにも同様の事例があるのか。  
(菊川管理官補佐 実用炉監視部門)

ATENA：アイソレータが安全保護系に属していないものはない。(遠藤 ATENA デジタルCCF-WG委員)

NRA：10月19日、20日に自主検査を実施し、ATENAも立ち会ったと規制事務所から連絡を受けた。現在、検査報告書をまとめているという段階という理解でよいか。(菊川管理官補佐 実用炉監視部門)

ATENA：そのとおりである。(遠藤 ATENA デジタルCCF-WG委員)

### (3) FPGAの取扱い

NRA：柏崎刈羽原子力発電所7号機では、FPGAが使われているという説明があった。最近、デジタル安全保護系に関する日本電気協会規格の技術評価を行ったが、このような話は聞かなかつた。ATENAは、いつ認識したのか。また、このような設計は建設当初から行われていたものなのか。  
(酒井原子力規制専門職 技術基盤課)

ATENA：2年程前、優先回路にFPGAを使用しているが、CCF上どう取り扱ったらいいか課題提起があった際、FPGAがMSIVの出力回路に使われているプラントがあることが分かった。ATENAの技術要件書には、扱いが明確でなかったため、保守的にFPGAにもCCFが起ると仮定して手順書を作った。(谷川部長 ATENA 技術班)

ATENA：柏崎刈羽原子力発電所7号機の建設当時はPAL<sup>1</sup>で、現在はFPGAである。  
(原 ATENA デジタルCCF-WG委員)

NRA：FPGAはマイクロプロセッサに対して多様性を有するとあるが、このような構成でも多様性が確保できるということであれば、FPGAにソフトウェア共通要因が内在しないことの証明が必要だと思う。(酒井原子力規制専門職 技術基盤課)

ATENA：安全保護系の中で多様性を有する場合と、安全保護系の外で多様化

---

<sup>1</sup> Programmable Array Logic

設備としての多様性を有する場合は、多様性の要件が違うと思っている。今後、どのような条件が成立すれば多様性が確保されたといえるのかを技術要件書の中で規定していきたい。（谷川部長 ATENA 技術班）

NRA：安全保護系の多様性を考える場合、並列の場合は多様性といっていいと思うが、柏崎刈羽原子力発電所7号機の回路構成は、マイクロプロセッサの出力をFPGAが受けるというシリーズ接続になっている。このような場合でも多様化されていると主張をされると、違うと思う。そもそも安全保護系の中でどういったデジタル技術がどこに使われているかを明確にして、何が多様性といえるのかは、詳しい議論をしなければいけない。CCF対策設備でどう多様性を確保するかは、その後の話だと思う。（酒井原子力規制専門職 技術基盤課）

NRA：安全保護系本体のデジタル化技術に関する整理があって、その上で多様化設備はどうあるべきか、ということになるので、別途、場を設定することを検討したい。（佐々木企画調整官 技術基盤課）

# 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25日  
原子力エネルギー協議会

枠囲みの範囲は、機密に係る事項であるため、公開できません。

### 目次

1

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. 川内1号機の評価と今後の進め方
6. 後続プラントの対応状況
  - (添付1-1) 川内1,2号機 要件整合報告書 (詳細設計)
  - (添付1-2) 川内1,2号機 要件整合確認書 (詳細設計)
  - (添付2) 川内1号機 要件整合確認書 (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)
  - (添付5-1) 柏崎刈羽7号機 要件整合報告書 (詳細設計)
  - (添付5-2) 柏崎刈羽7号機 要件整合確認書 (詳細設計)
  - (添付6) 柏崎刈羽7号機 要件整合確認書 (手順書)

- (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19日から対策設備の使用を開始した。
- (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9日にATENAによる要件整合確認（詳細設計）、2023年7月5日にATENAによる要件整合確認（手順書）、2023年7月12日にATENAによる工事・検査完了確認が完了し、2023年7月14日に対策設備の使用を開始した。
- (4) 柏崎刈羽7号機は、2023年6月20日にATENAによる要件整合確認（詳細設計）、2023年7月14日にATENAによる要件整合確認（手順書）が完了し、2023年7月20日に検査を開始した。

## 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、P6に示す「図1 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) 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、以下の通り事業者のプロセスを管理した。

- ① ATENAは、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した。  
(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たため、工事  
完了及び検査開始はATENAによる確認完了の通知受領後とした。)
- ② ATENAは、事業者の対策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した。  
事業者は、ATENAの確認結果の通知受領をもって、対策設備の使用を開始した。

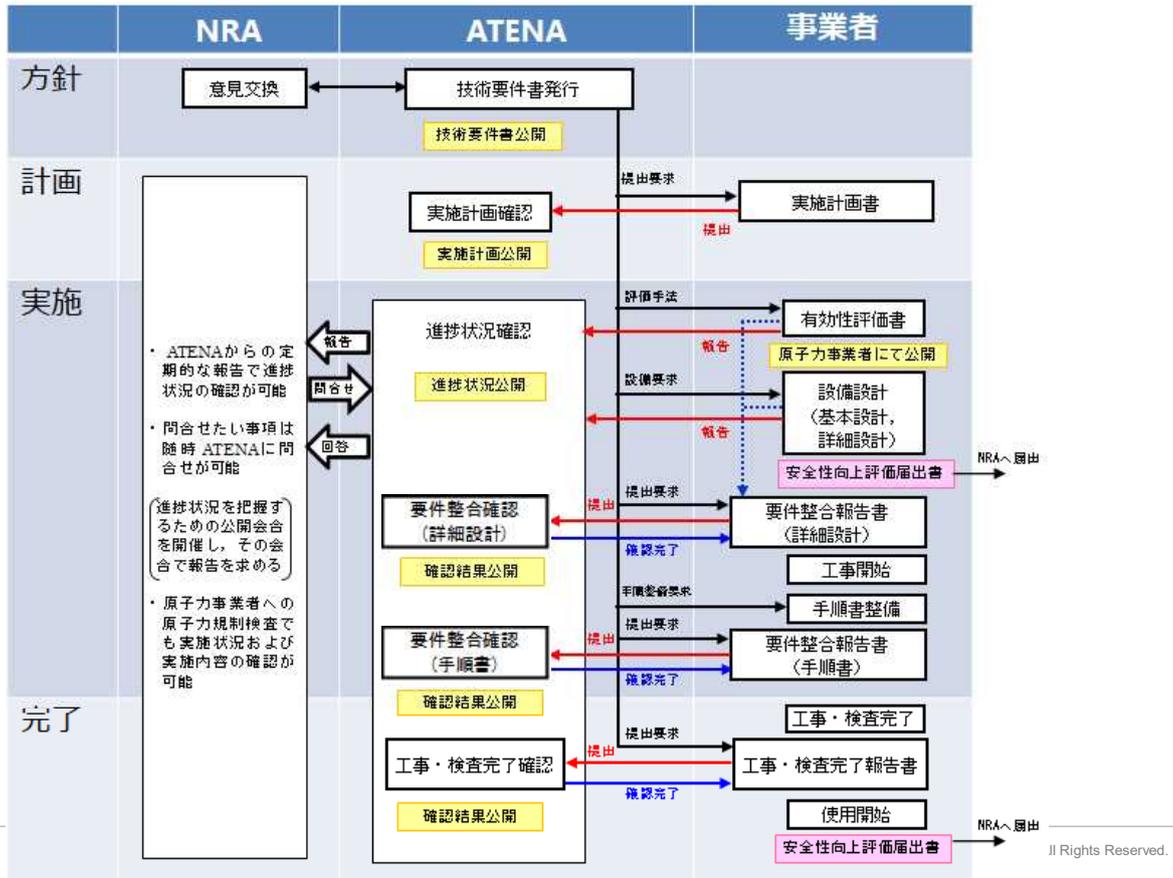
### (4) ATENAによる「安全保護系への波及的影響の防止」検査への現場同席確認

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を行った。

### (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・検査完了報告書を公開するとともに、これらの報告書に対するATENAの確認結果を取りまとめた確認書についても公開を行った。

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。



II Rights Reserved.

## 3. ATENAによる川内1号機の確認結果 (1/19)

P6「(図1) デジタルCCF対策に係る安全対策の基本フロー」に基づき実施した各プロセスの完了実績を下表に示す。

プロセス	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10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たため、工事完了及び検査開始はATENAによる確認完了の通知受領後とした。



#### (1) 要件整合確認 (詳細設計)

- ATENAは、2023年1月に九州電力（株）から川内1,2号機要件整合報告書（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」の各要求内容に対する確認を行った。
- ATENAは、九州電力（株）に対して、技術要件書の「3.5.8 安全保護回路への波及的影響防止」の確認に係る設計図書の追加提出を指示し、2023年3月に九州電力（株）は要件整合報告書（詳細設計）の改訂を行った。
- ATENAは、要件整合報告書（詳細設計）の改訂版の確認を行い、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）による電气的分離、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。
- ATENAは、技術要件書の各要求内容に対して全て整合していることを確認し、要件整合確認書（詳細設計）として取りまとめ、確認結果を2023年3月に公開した。  
【添付1-1】【添付1-2】

#### 【確認結果の概要 (例)】技術要件書の「3.多様化設備要件」の確認内容

✓ 下記の確認項目についてチェックシートを用いて確認した。(添付1-2、P10)

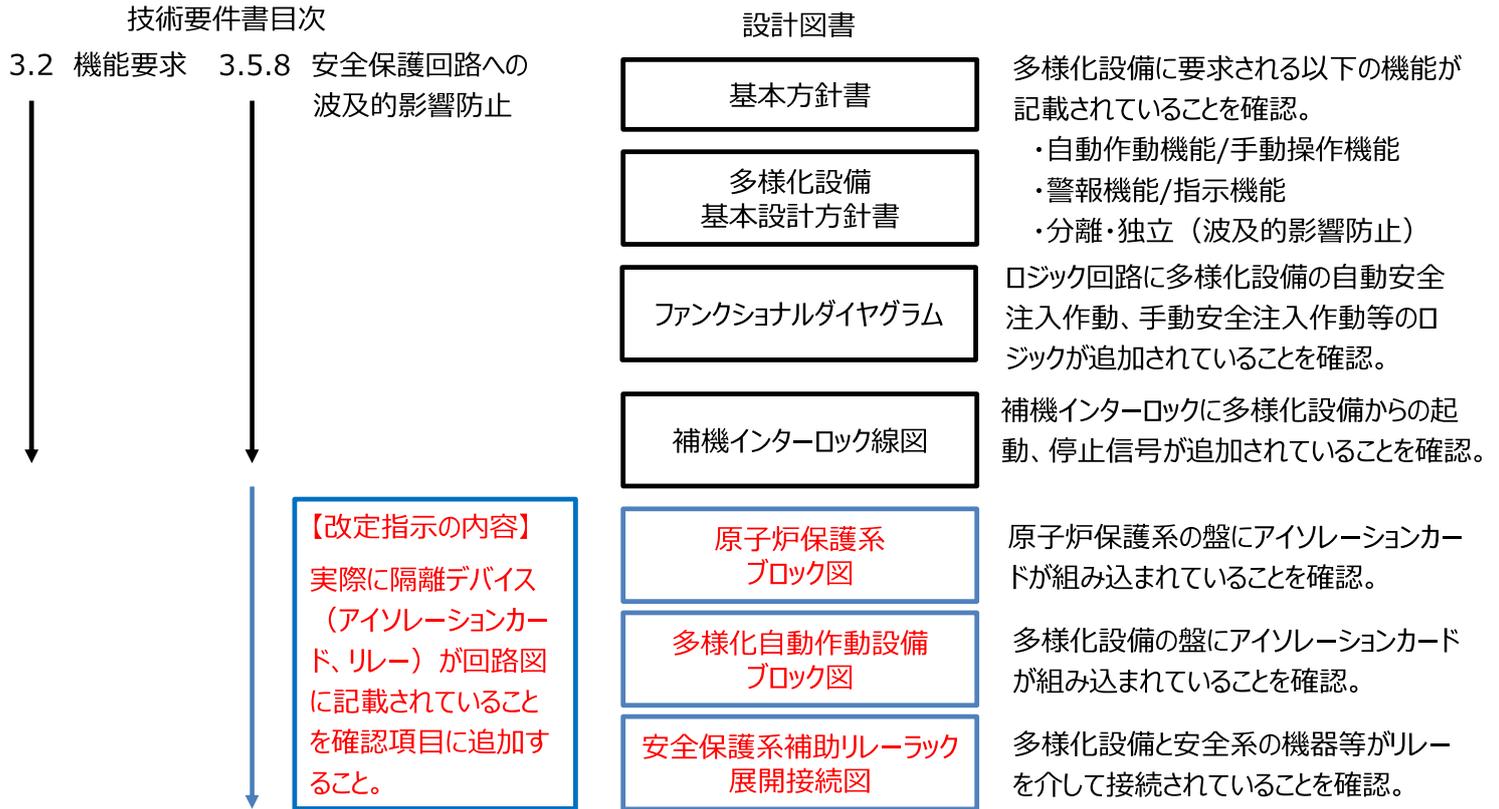
- ①技術要件書の要求事項が漏れなく抽出されていること。
- ②記載内容（概要）の欄に、具体的な設備仕様や有効性評価結果が記載され、要求事項への整合性が明確になっていること。  
また、設計仕様や解析条件等が小項目に細分化されて記載されていること。
- ③要件整合判定が全て「○」で、かつ、その合理的な理由が記載されていること。
- ④エビデンスに上記②の欄の内容が具体的に記載されていること。
- ⑤多様化設備設計と有効性評価の関連する項目が紐づけられていること。

ATENA確認箇所

ATENA確認結果

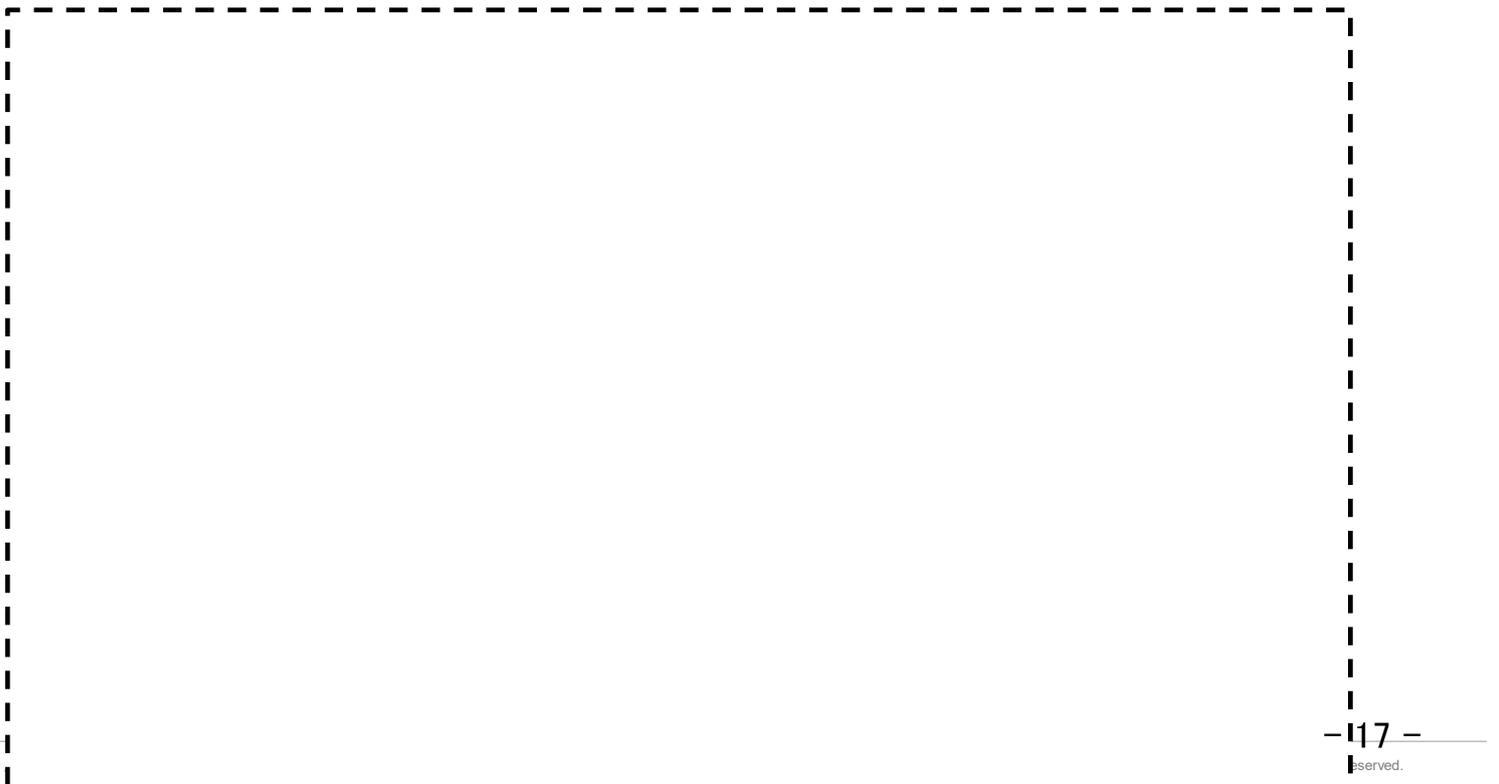
① ATENA技術要件書	② 記載内容(概要)	③⑤ 要件整合性		④ 設計図書	ATENA 確認結果				
		判定	理由		①	②	③	④	⑤
3.5.8 安全保護回路への多様化設備は、多様化設備の故障影響により安全保護回路の安全機能を喪失させない設計とすること。	波及的影響防止 多様化設備である共通要因故障対策設備は、共通要因故障対策設備の故障影響により安全保護系の安全機能が喪失しない設計とする。	○	安全保護回路と共通要因故障対策設備が部分的に設備を共用する場合には、共通要因故障対策設備の影響により安全保護機能を失わないように、安全保護回路は共通要因故障対策設備に対して隔離デバイス(アイソレータ等)による電气的分離及び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。	・デジタル安全保護系共通要因故障対策基本方針書 3.2章(40/56) ・多様化設備基本設計方針書(川内1号機、川内2号機) 5.5章 ・原子炉保護系ブロック図(川内1号機、川内2号機) ・多様化自動作動設備ブロック図(川内1号機、川内2号機) ・炉外核計測装置機能ブロック線図(川内1号機、川内2号機) ・安全保護系リレーラック展開接続図(川内1号機、川内2号機)	✓	✓	✓	✓	✓

#### 【確認結果の概要（例）】技術要件書の「3.5.8 安全保護回路への波及的影響防止」



#### 【確認結果の概要（例）】技術要件書の「3.5.8 安全保護回路への波及的影響防止」

✓ 隔離デバイス（アイソレーションカード）が回路図に記載されていることを確認した。（添付1-1、添-203）



#### 【確認結果の概要 (例)】技術要件書の「4.有効性評価」の確認内容

✓ 下記の確認項目についてチェックシートを用いて確認した。(添付1-2、P10)

- ① 技術要件書の要求事項が漏れなく抽出されていること。
- ② 記載内容 (概要) の欄に、具体的な設備仕様や有効性評価結果が記載され、要求事項への整合性が明確になっていること。  
また、設計仕様や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。
- ⑤ 多様化設備設計と有効性評価の関連する項目が紐づけられていること。

ATENA確認箇所

ATENA確認結果

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			ATENA確認結果					
	② 記載内容 (概要)	③⑤ 要件整合性		有効性評価図書	①	②	③	④	⑤
① 要求内容		判定	理由						
4.4.2 解析で想定する現実的な条件等									
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。	プラント初期条件及び設定根拠を、解析条件として示している。また、添付書類十解析と異なる条件を用いたものは、差異及び根拠を示している。	○	プラント初期条件及び設定根拠が示されている。	4.3 基本解析条件 (P.14) 4.4 運転時の異常な過渡変化 (各主要解析条件表) (P.23,P.24) 4.5 設計基準事故 (各主要解析条件表) (P.70,P.71) 添付1-1 (P.242,P.243) 添付1-2 (P.244,P.245)	✓	✓	✓	✓	✓



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

#### 【確認結果の概要 (例)】技術要件書の「4.4.2 解析で想定する現実的な条件等」

- ✓ 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を確認した。
- ✓ プラント初期条件は、添付書類十解析又はSA有効性評価と同じ条件、あるいは現実的な条件、もしくは事象進展を考慮した保守的な条件としており、条件差の根拠が記載されていることを確認した。  
(添付1-1、添付3「4.有効性評価」における有効性評価図書P23)

ATENA確認箇所

表 4.4.1-1 主給水流量喪失十ソフトウェア CCF の主要解析条件 (j)

(代表 3 ループプラント)

	添付書類十解析 (異常な過渡)	SA 有効性評価 (不確かさを考慮した ATIS)	CCF 対策有効性評価	条件差の根拠 (添付書類十解析との差)
解析コード	SAV011	SPARELL-2	同左	共通評価コードを使用。
評価項目	1 次系圧力 (加圧器水位) ①	1 次系圧力	1 次系圧力 燃料健全性 (燃料被覆管温度)	判断基準に応じた評価を実施。燃料健全性は燃料被覆管温度の最大値にて確認。
事故発時点	サイクル初期	同左	同左	
事故条件	すべての蒸気発生器への給水が停止	同左	同左	
初期条件	原子炉出力	100% (定格値十定常誤差)	同左	
	1 次冷却材平均温度	304.5℃ (定格温度十定常誤差)	同左	
	原子炉圧力	15.20MPa (gage) (定格圧力十定常誤差)	15.02MPa (gage) (定格圧力十定常誤差)	同左
支線遅延中性子割合	0.75 % (最大値)	同左	同左	
遅延中性子寿命	23 μsec (最大値)	同左	同左	

① 添付書類十解析としては原子炉圧力解析と加圧器水位解析があるが、CCF 対策有効性評価の対比として同じ評価項目となる原子炉圧力解析の条件を記載。



#### (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、以下の確認内容に基づき確認を行い、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、要件整合確認書 (手順書) として取りまとめ、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	①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。 ②所定の手順への移行の方法が明確になっていること。 ③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。 ④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	⑤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。



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

### 3. ATENAによる川内1号機の確認結果 (9/19)

#### 【確認結果の概要 (例)】ATENA要件整合確認書 (手順書) の確認内容

✓ P14の確認内容①～⑤に基づき手順書の内容を確認した。(添付2、P5)

#### ATENA確認結果

ATENA技術要件書	事業者の要件整合報告の内容			ATENA確認結果	
	要求内容	記載内容(概要)	要件整合性		
		判定	理由	規定文書	
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系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ための手順書を整備すること。	ソフトウェアCCF対策の手順書の整備については、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故にソフトウェアCCFが重畳した事象を想定(デジタル安全保護系は全ての機能が喪失する)し、運転員の必要な操作により事象を収束する手順書を整備した。なお、当該手順書は、通常の事故時手順書とは独立した手順書であり、具体的には、以下の内容を手順書に整備した。 ～以下略～	以下の手順が規定文書に定められていることを確認した。 ・運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した際に、デジタル安全保護回路の安全機能が喪失していることを、原子炉停止系統及び工学的安全系施設等が自動作動していないこと及び多様化自動作動設備の警報により認知できること。 ○ 「川内原子力発電所1号機及び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)」の「3.2機能要求」で確認した自動作動機能、手動機能、警報機能及び指示機能について、手順に反映されており、運転操作を行う条件(運転操作の開始や機器状態など)及び操作場所(盤略号など)が明確化されていること。	運転基準(警報処置編) ・多様化自動作動設備作動(V-3-(8)原子炉盤G) 運転基準(緊急処置編) ・CCF時事故直後の操作及び事象判別(VI-4-(17)-a) ・CCF時原子炉トリップ(VI-4-(17)-b) ・CCF時1次冷却材喪失(VI-4-(17)-c) ・CCF時2次冷却材喪失(VI-4-(17)-d) ・CCF時蒸気発生器細管漏洩(VI-4-(17)-e)	表1に示す確認内容及び確認の観点に基づき確認 ①～⑤の番号は表1の確認の観点の番号 ①運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、デジタル安全保護回路の自動作動が要求される状況において、デジタル安全保護回路が作動せずに多様化自動作動設備の自動作動や警報発信によってソフトウェアCCF事象の発生を認知した上で、ソフトウェアCCF事象と重畳して発生している起因事象を判別する手順が記載されていることを確認した。 具体的には、ソフトウェアCCF事象発生認知及び起因事象判別のための手段として要件整合報告書(詳細設計)の別表1から4の機能(自動作動機能、手動機能、警報機能、指示機能)が具体的に記載されていることを確認した。 【確認資料】 ・運転基準(警報処置編) ・運転基準(緊急処置編)



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

#### 【確認結果の概要（例）】技術要件書の「5.1 手順書の整備」

- ✓ 手順書「緊急処置編（CCF時事故直後の操作及び事象判別）」に、ソフトウェアCCF事象の判断条件が記載されていることを確認した。

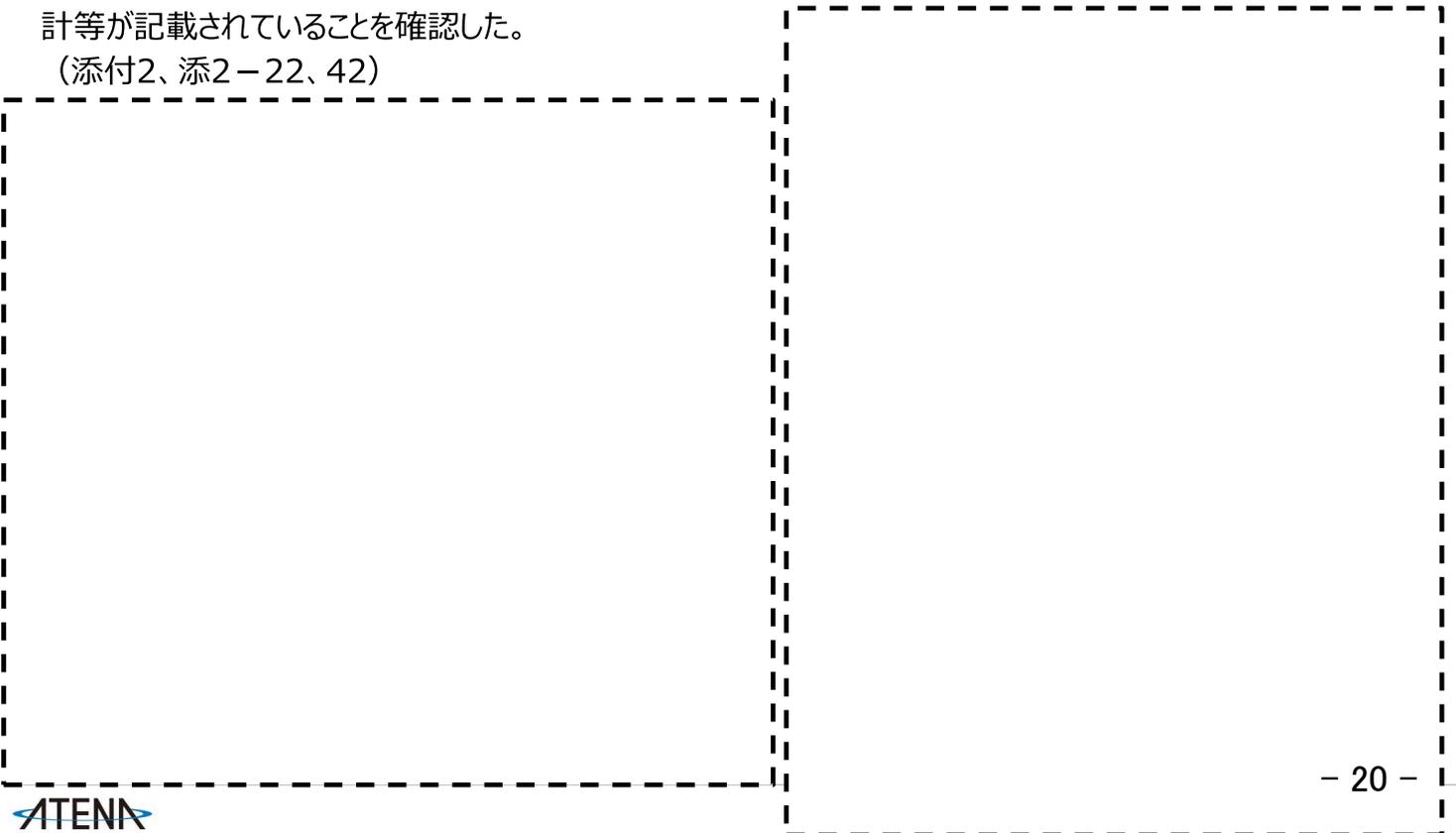
（添付2、添2-16）



#### 【確認結果の概要（例）】技術要件書の「5.1 手順書の整備」

- ✓ 手順書「緊急処置編（CCF時事故直後の操作及び事象判別）」に、認知する手段として多用化設備の指示計等が記載されていることを確認した。

（添付2、添2-22、42）



#### 【確認結果の概要（例）】技術要件書の「5.1 手順書の整備」

- ✓ 手順書「CCF時事故直後の操作及び事象判別」に、所定の手順への移行の方法（フロー図）が記載されていることを確認した。（添付2、添2-17、18）



#### (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確認を行い、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、工事・検査完了確認書として取りまとめ、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	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	事業者自主検査の記録により、以下を確認する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 全ての検査項目について、判定基準を満足していること。</li> </ul>	事業者自主検査の計画及び記録
運用開始後の管理体制	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

- 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。）

- 対策設備の使用開始に関して、事業者は、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対策設備の使用を開始すると定めていることを確認した。（P25）

#### 【確認結果の概要（例）】品質保証体制

- ✓ オーソライズ資料「デジタル共通要因故障（CCF）対策工事实施にあたっての設計管理及び検査実施方法について」に、設計管理及び検査実施方法を定めていることを確認した。（添付3、添2-7）

#### 【確認結果の概要（例）】事業者自主検査結果

- ✓ 設計結果を踏まえた検査の網羅性を確認した適合性確認一覧表に従い、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、検査対象範囲を選定し、自主検査実施要領書の検査整理表に整理されていることを確認した。（添付3、添2-130）



#### 【確認結果の概要（例）】事業者自主検査結果

- ✓ 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、チェックシートを用いて確認を行った。（添付3、添3-6）

#### ATENA確認結果

別紙2  
確認日: 2023年3月28日  
責任者: [Redacted]  
担当者: [Redacted]

現場同席確認チェックシート兼確認記録（1/2）  
【対象：川内原子力発電所 1号機】

No.	確認内容	確認事項	対応欄	記事欄※
①	使用前事業者検査と同等のプロセスで検査項目、検査対象が抽出されていること。	(1) 使用前事業者検査と同等のプロセスで検査要領書が審査・承認され、制定されていること。 (2) 「様式8」に基づく管理方法に相当する方法にて検査項目、検査対象が抽出されていること。	✓ ✓	・自主検査実施要領書表紙 添付資料-1 検査整理表
②	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。	(1) 検査担当箇所が、設計・工事箇所（本店及び保修課）とは独立した組織であること。	✓	・検査体制表(2023年3月28日実施分)
③	現場で同席したATENA確認チームから指摘があった場合は検査要領書の不適合管理に基づき対応する方針であること。	(1) ATENA確認チームから指摘があった場合、検査担当者は、検査実施責任者に不具合発生の連絡をするようになっていること。 (2) 検査実施責任者は、検査工程の進行を停止し、状況を確認するようになっていること。	✓ ✓	・自主検査実施要領書 添付資料-3 不適合管理 事業者は、ATENA確認チームの指摘があった場合についても、使用前事業者検査や定額事業者検査と同様に不適合管理に基づき対応することを確認した。

※：確認に用いた文書、記録等を記載

#### 【確認結果の概要（例）】運用開始後の管理体制

- ✓ 運用開始後の以下の項目について、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、オーソライズ資料（P25）で規定されていることを確認した。
- (1) 運用開始後の保全計画について、「**保守基準**」に基づき、以下の管理を行うことを確認した。（添付3、添2-752）
    - 次回の定期事業者検査の開始までに、「**保全プログラム運用要領**」にて点検計画（保全重要度、点検頻度、試験項目）を定める方針であること。
    - 上記の試験項目について、「**重大事故等安全停止回路機能検査**」と同等の特性試験、機能・性能試験を実施し、設備の健全性を確認すること。
  - (2) 今回整備した手順書を「**運転基準**」に定め、整備した手順書に基づく教育訓練の計画を「**教育訓練基準**」及び「**発電課教育訓練要領**」に定めていることを確認した。（添付3、添2-752）
  - (3) 多様化自動作動設備が故障等により機能喪失した場合について、「**技術基準**」等に基づき、管理を行うことを確認した。また、運用開始後の多様化自動作動設備の管理について定めた運用管理方針において、以下の方針を定めていることを確認した。（添付3、添2-752）
    - 故障時に速やかに復旧可能とするために必要な予備品を確保する。
    - 多様化自動作動設備の故障個所がS A 要求機能と切り分けができない場合は、S A 設備の保安規定に従い対応する。
  - (4) 運用開始後の設備の日常管理について、**保守課**は「**保全プログラム運用要領**」に基づき、**発電課**は「**運転基準**」に基づき、通常の巡視点検に合わせて実施することを確認した。（添付3、添2-752）

確認資料：オーソライズ資料「川内原子力発電所 デジタル共通要因故障対策設備の運用方針について」（添付3、添2-752）



（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"> <li>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）</li> <li>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）</li> <li>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）</li> <li>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）</li> </ul>	事業者の報告書に対する12件の気付き事項は、全て報告書の記載の適正化に関するもので、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。また、ATENAが設計図書や有効性評価書を確認し、確認結果を公開することにより、透明性を確保できた。

項目	実施内容	評価
要件整合確認 （手順書）	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者は、川内1号機の要件整合報告書（手順書）をATENAに提出した。（2023年4月3日）</li> <li>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）</li> </ul>	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、確認結果を公開することにより、透明性を確保できた。
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（アイソレーションカード等）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、確認結果を公開することにより、透明性を確保できた。

項目	実施内容	評価
工事・検査完了確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>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)</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ol>	<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、確認結果を公開することにより、透明性を確保できた。</p>

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> <ol style="list-style-type: none"> <li>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。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ATENAは確認結果を事業者に通知した。(2023年3月9日)</li> <li>・事業者は、対策設備の工事完了及び検査開始をATENAによる確認完了の通知受領後とした。</li> </ul> </li> <li>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。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ATENAは、確認結果を事業者に通知した。(2023年4月14日)</li> <li>・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)</li> </ul> </li> </ol>	<p>事業者は、ATENAから要件整合確認結果（手順書）及び工事・検査完了確認結果の通知を受領後に、対策設備の使用を開始する運用を構築できた。</p> <p>ATENAがこのプロセスの確認結果を公開することにより、透明性を確保できた。</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について、事業者意見も踏まえ、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」(マニュアル)に以下の内容を追加した。【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

今後も、後続プラントでの対応実績を踏まえ、必要の都度、確認要領の改定を行う。

## ②技術要件書への反映

後続のPWRプラント、ABWRプラント及びBWRプラントの要件整合確認(詳細設計)、要件整合確認(手順書)及び工事・検査完了確認の結果を踏まえ、今後継続的にATENA-WGにおいて気付き事項を抽出し、技術要件書への反映について検討を行う。

## 5. 川内1号機の評価と今後の進め方

(1) 川内1号機のプロセス全般に対して振り返りを行った結果、以下の評価結果を得た。

- 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。
- ②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。

以上から、川内1号機で行った全ての対応について、今後も継続することとした。

(2) ATENAが設計図書、検査記録、社内規定等を確認し、確認結果を公開することにより、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運用を開始した。これらの活動を今後も継続する。  
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を年月ベースで把握し、工程管理をATENAと事業者で確実にを行う運用を開始した。また、ATENAは、「事業者はATENAの確認がなければ工事開始や設備使用開始に進まないこと」を、ホールドポイントを設けて管理する運用を開始した。これらの活動を今後も継続する。

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（P33 図2）

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。](#)

#### 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）

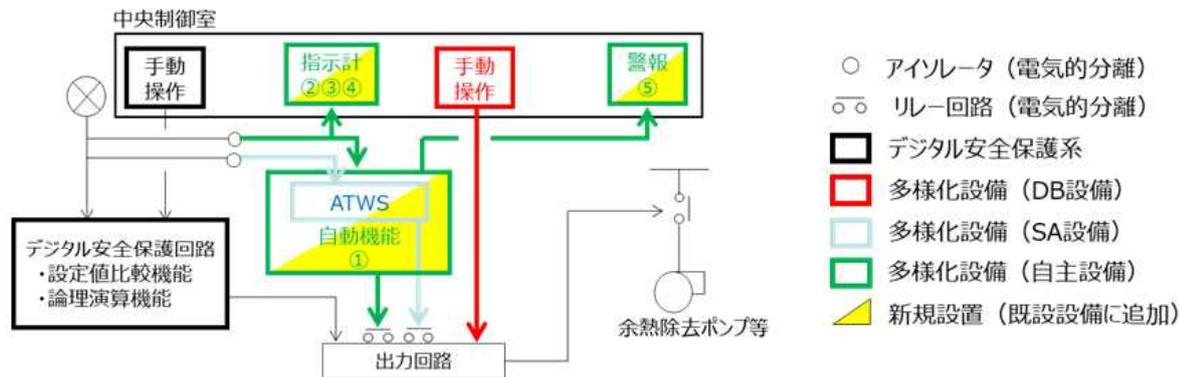
- ✓ 川内1,2号機として要件整合確認を行っており、川内1号機との相違点はない。
- ✓ 波及的影響に関する確認として、事業者に対して、要件整合報告書（詳細設計）の改訂を指示し、隔離デバイス（アイソレーションカード等）が回路図に記載されていることを確認した。

#### ◆ 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又は第三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。



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"> <li>原子炉トリップ</li> <li>主給水隔離</li> <li>主蒸気隔離</li> <li>補助給水起動/流量調節</li> <li>高圧/低圧注入系起動</li> <li>格納容器隔離</li> <li>主蒸気逃がし弁全開/全閉</li> <li>加圧器逃がし弁全開/全閉</li> </ul>	-	-
	SA 設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>補助給水起動</li> <li>主蒸気隔離</li> </ul>	-	-	-
	自主 設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉トリップ</li> <li>主給水隔離</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>1次冷却材圧力</li> <li>加圧器水位</li> <li>主蒸気ライン圧力</li> <li>蒸気発生器水位(狭域)</li> <li>格納容器圧力</li> <li>1次冷却材低温側温度(広域)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多様化設備作動</li> <li>加圧器圧力低(原子炉トリップ等)</li> <li>加圧器圧力高(原子炉トリップ等)</li> <li>蒸気発生器水位低(原子炉トリップ等)</li> <li>蒸気発生器水位異常高</li> </ul>
新規 設置	自主 設備	①高圧/低圧注入系起動	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>②中間領域中性子束</li> <li>③燃料取替用水タンク水位</li> <li>④格納容器再循環サンプル広域水位</li> </ul>	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（3/6）

### (2) 柏崎刈羽7号機

#### ①多様化設備の概要（P36 図3）

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。

#### 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たため、工事完了及び検査開始はATENAによる確認完了の通知受領後とした。

③ ATENAによる確認結果

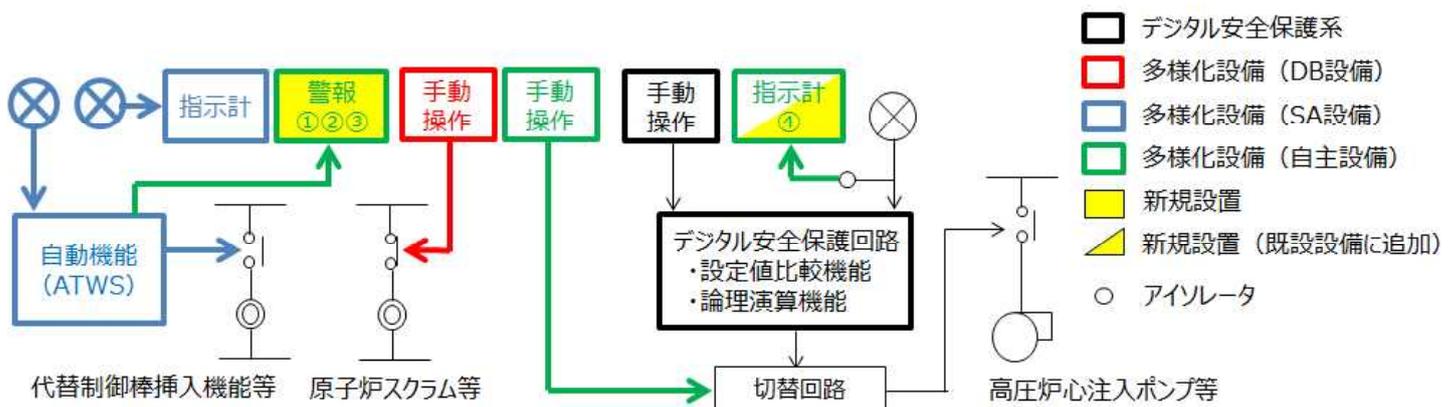
◆ 要件整合確認 (詳細設計)

- ✓ 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、要件整合確認書 (詳細設計) として取りまとめ、確認結果を 2023年6月に公開した。【添付 5-1】【添付 5-2】
- ✓ 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、ATENAが事業者へ通知した報告書の記載内容に関する気付き事項と事業者からの回答をATENAの要件整合確認書 (詳細設計) に添付して公開した。【添付 5-2】

◆ 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、要件整合確認書 (手順書) として取りまとめ、確認結果を2023年7月に公開した。【添付 6】
- ✓ 川内 1 号機との相違点として、CCF事象判断後、川内 1 号機は「事象ベース」の事故時操作手順書に移行するのに対し、柏崎刈羽 7 号機は「徴候ベース」の事故時操作手順書に移行することとなっている。(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ドライウエル圧力	①ARI作動 ②L-2 ③原子炉圧力高高

## (3) 後続プラントの対応について

- ◆ PWRプラント  
主な対策は川内1号機と同じであり、事業者及びATENAは、川内1号機と同様の対応を行う。
- ◆ ABWRプラント  
主な対策は柏崎刈羽7号機と同じであり、事業者及びATENAは、柏崎刈羽7号機と同様の対応を行う。
- ◆ BWR5プラント
  - ✓ BWR5プラントの安全保護回路は、放射線モニタ、中性子計装、温度計装にソフトウェアが使用され、その他はアナログ機器で構成されている。
  - ✓ 技術要件書「3.1設置要求」では、運転時の異常な過渡変化や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こととしている。
  - ✓ 事業者は、有効性評価により多様化設備の設置が不要であることを、今後、要件整合報告書（詳細設計）に取りまとめ、ATENAに提出する。ATENAは、受領した報告書の確認完了後に確認結果を公開するとともにNRAへ報告を行う。（2023年度：島根2号機、女川2号機）
  - ✓ 多様化設備の設置が不要であっても、手順書の整備、教育・訓練の実施が必要となる場合、事業者は、運用に係る事業者自主検査を実施する。また、要件整合報告書（手順書）と検査完了報告書をATENAに提出する。ATENAは、受領した報告書の確認完了後に確認結果を公開するとともにNRAへ報告を行う。

## 6. 後続プラントの対応状況（6/6）

## (4) 今後、2023年度に工事開始するプラントのスケジュール

2023年7月20日確認時点のスケジュールを下表に示す。

プラント	要件整合報告 (詳細設計)	工事開始	検査開始
大飯4号機	2023年1月提出済 2023年4月改訂版提出済	2023年9月	2023年10月
高浜3号機	2023年4月提出済	2023年9月	2023年11月
美浜3号機	2023年8月	2023年11月	2023年12月
玄海3号機	2023年9月	2023年11月	2023年12月
高浜4号機	2023年4月提出済	2023年12月	2024年3月
大飯3号機	2023年1月提出済 2023年4月改訂版提出済	2024年2月	2024年3月
玄海4号機	2024年1月	2024年3月	2024年5月

川内原子力発電所 1 号機及び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)

別冊資料参照

川内原子力発電所 1 号機及び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)

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**

**柏崎刈羽原子力発電所7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)**

**別冊資料参照**

**柏崎刈羽原子力発電所7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**

**柏崎刈羽原子力発電所7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**

# 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

## 今後のATENAによる対応

2023年10月26日  
原子力エネルギー協議会

### 目次

1

1. はじめに
  2. 柏崎刈羽7号機の要件整合確認（詳細設計）の追加確認結果
    - (1) TRAC系コードの適用性に関する確認
    - (2) ドライウェル圧力指示計の設計変更内容の確認
  3. ATENAによる今後の対応について
    - (1) 課題抽出と妥当性確認
    - (2) 第三者機関の活用（工事・検査完了確認業務委託）
    - (3) 工事開始に関する事業者の担保について
    - (4) PDCA
  4. PWRプラントの対応状況
  5. ABWRプラントの対応状況
  6. BWR 5プラントの対応状況
- (添付1) 柏崎刈羽7号機 要件整合報告書（詳細設計）  
(添付2) 柏崎刈羽7号機 要件整合確認書（詳細設計）

- (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、第8回（2023年7月25日）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）において、最早プラントの川内1号機で行った対応とその振り返り、及び川内2号機と柏崎刈羽7号機の対応状況について説明を行った。
- (2) 今回、第8回公開会合において論点となった、柏崎刈羽7号機の下記対応について説明を行う。
- ◆ 許認可実績のないTRAC系コードのソフトウェアCCF事象への適用性について(含むボイド反応度の取り扱い)
  - ◆ 追設したドライウエル圧力指示計とHPCF系統流量計のアイソレータ設置位置の設計の違いについて
- (3) また、今後の対応として、以下の説明を行う。
- ◆ 許認可実績のない解析コード等の扱い、技術基準規則・民間規格への適合性の確認など、ATENAによる今後の対応について
  - ◆ PWR、ABWR、BWR5各プラントの対応状況について

## 2. 柏崎刈羽7号機の要件整合確認（詳細設計）の追加確認結果（1/8）

### (1) TRAC系コードの適用性に関する確認

#### 【当初の確認内容】

○ATENAは、事業者から提出された要件整合報告書（詳細設計）に対して、有効性評価書に記載された解析条件、解析結果、判断基準等が技術要件書に整合することを確認した。

○その中で、TRAC系コードの妥当性については、有効性評価書で引用された参考文献※に、モデル詳細説明やその検証結果が記載されており、技術要件書で要求した「適用範囲について妥当性確認及び検証が行われてたものであること」に整合していることを確認した。

※：有効性評価書 参考文献（メーカ資料）

- ①東芝エネルギーシステムズ株式会社、「炉心三次元動特性解析に係る最適評価コード（TRACT）の概要」、TLR-101
- ②株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、「TRACG モデル解説書」、GLR-010
- ③株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、「TRACG 適格性確認報告書」、GLR-011

○確認結果を、要件整合確認書（詳細設計）として公開した。（2023年6月23日）

## 【追加の確認内容】

- 第8回公開会合において、TRAC系コードの適用性に関して下記が論点となった。
  - ・制御棒落下事象におけるボイド反応度の取り扱い
  - ・許認可実績の無いコードの適用性
- ATENAは、事業者がTRAC系コードの適用性に関する課題認識を踏まえ抽出した論点に関して、事業者に対し追加資料を作成し要件整合報告書（詳細設計）に添付して改訂版を提出するよう要求した。
- 事業者は、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確認又は判断したことを説明する追加資料「TRAC系コードの適格性評価」を添付し、要件整合報告書（詳細設計）の改訂版をATENAへ提出した。

（2023年9月27日）
- ATENAは、要件整合報告書（詳細設計）の改訂版に添付された追加資料の確認を行い、有効性評価にTRAC系コードを適用することは妥当であると判断し、結果を公開した。

（2023年10月6日）

## 【事業者の課題認識】

- 事業者は、ABWRのソフトウェアCCF事象の有効性評価に、国内で許認可実績のないTRAC系コードを適用した。事業者は、TRAC系コードの適用に当たり、下記の状況を考慮し、①～③の論点を抽出した。
    - ・米国においては、ABWRはTRAC系コードの認証実績がなく、また、制御棒誤引き事象についてはTRAC系コードの適用実績がない状況である。
    - ・有効性評価においてはCCFの重畳（スクラム制御棒が挿入されない場合又はARI制御棒の挿入が遅くなる）を考慮するため、従来の過渡事象や設計基準事故事象と異なる厳しい事象進展となる。
- ① 米国のTRAC系コードの認証実績に含まれないABWRへの適用性
  - ② 米国でTRAC系コードが適用されない制御棒系過渡への適用性
  - ③ ソフトウェアCCF重畳事象に固有な事象進展に関わる現象のモデル化及びその妥当性

## 【ATENAによる追加確認】

ATENAは、事業者が抽出した論点に対して、ATENA-WGの専門家を招集し、追加資料に以下の内容が記載されていることを確認したことから、有効性評価にTRAC系コードを適用することは妥当であると判断した。

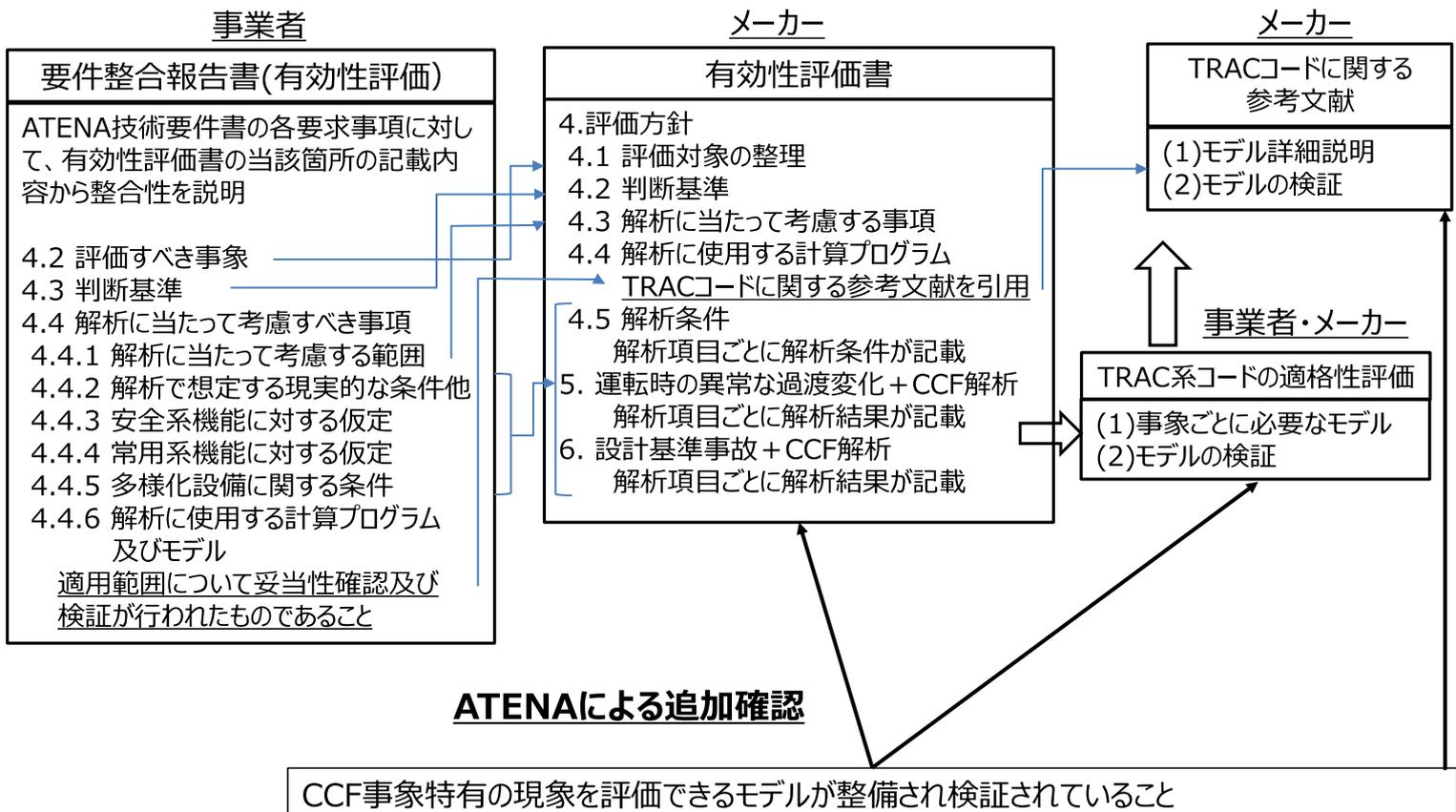
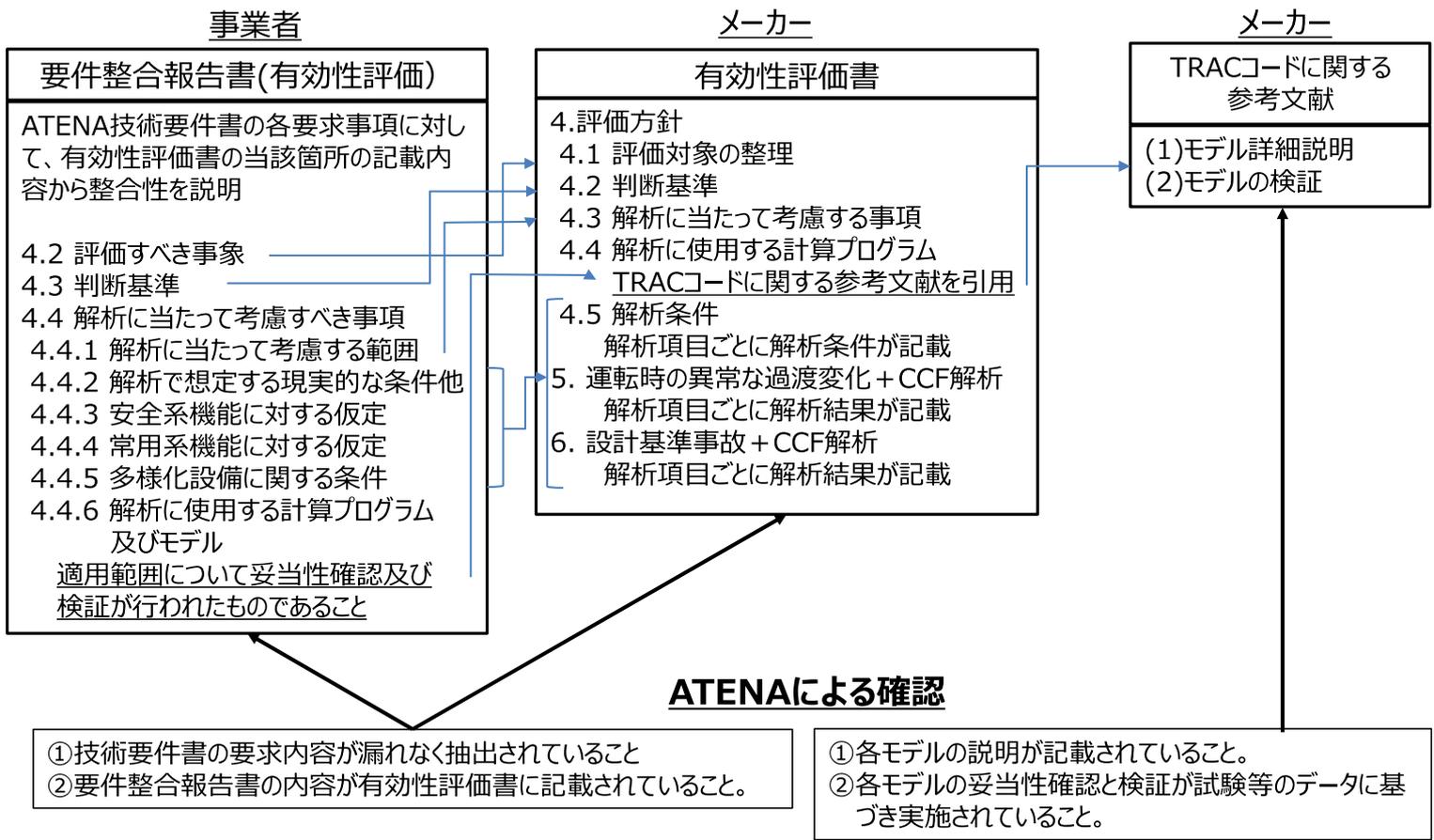
- ① 米国のTRAC系コードの認証実績に含まれないABWRへの適用性
  - ・ ABWRへの適用性についてはABWR固有の設備（インターナルポンプ等）がTRAC系コードにて適切にモデル化され、実機試験データにて妥当性が確認されている。
- ② 米国でTRAC系コードが適用されない制御棒系過渡への適用性
  - ・ 制御棒系過渡への適用性については、評価に必要とされるモデルが実機試験データ等により妥当性確認されている。
  - ・ 起動時の制御棒誤引き抜きや制御棒落下におけるボイド反応度フィードバック効果について、合理的な設定がなされていることが確認されている。（参考1）
- ③ ソフトウェアCCF重畳事象に固有な事象進展に関わる現象のモデル化及びその妥当性
  - ・ ソフトウェアCCF重畳事象に固有な事象進展に関わる現象が同定され、それらの計算モデルに対して、適切な検証及び妥当性確認がなされている。例えば、制御棒の誤引き抜きを除く過渡事象又は原子炉冷却材流量の喪失事象とソフトウェアCCFが重畳させた事象では、燃料棒被覆管表面温度が上昇し、その後リウエットするが、それらの現象を模擬するために適用されているモデルが根拠を持って選定され、その裏付けが示されている。

## （参考1）ボイド反応度フィードバック効果の影響について

○ボイド反応度フィードバックに係る不確かさの大きな低温RIA時のボイド挙動については、RIA時のボイド挙動を取り扱った電力共同研究RIA模擬ボイド試験及びJAEAのRIA模擬ボイド試験の2種類の試験データベースで出力急昇時におけるボイド発生条件、ボイド率の時間変化などの重要な特性が押さえられている。

○しかし、これらの熱水力試験だけではスパーサの影響などの不確かな現象が一部に残るために、低温RIA時のボイド発生をほとんどを担うサブクール沸騰領域のボイド発生を見込まない設定をRIA模擬ボイドモデルに適用している。具体的には、サブクール沸騰領域での除熱をそのままにした上で界面熱伝達係数を大幅に増加させることで飽和ボイドだけを残す設定としている。このような設定とすることでボイド挙動について確実な特性だけを反映している。

○なお、サブクール沸騰領域のボイド発生を見込まないことでボイド反応度フィードバックの絶対値が減少し、燃料温度が更に上昇する。このとき、ドップラ反応度フィードバックが高まるが、燃料エンタルピが燃料温度に比例して更に上昇することから、飽和ボイドだけを残す取扱いは非保守的な結果につながるものではない。



(2) ドライベル圧力指示計の設計変更内容の確認

- 2023年7月25日の公開会合にて、ドライベル圧力計とHPCF系統流量計のアイソレータ設置位置の設計の違いに関して質問があり、事業者は、安全保護系と計測制御系が機能的に分離されていれば中操側（多様化設備側）でも現場側（安全保護系側）でも問題がないことを回答した。
- 事業者は、公開会合後、アイソレータが安全保護系に属していないことの適切性について再検討し、技術評価されているJEAC4620-2020の記載を踏まえ、アイソレータを安全保護系に属するように設計変更を行うこととし、要件整合報告書（詳細設計）を改訂してATENAに提出した。（2023年9月27日）
- ATENAは、要件整合報告書（詳細設計）の改訂版の確認を行い、当該設計変更の内容がATENA技術要件書に整合しており、かつ設備設計変更の理由であるJEAC4620-2020に適合していることを確認した。（2023年10月6日）
- ATENAによる要件整合確認（詳細設計）の完了を受けて、事業者は、柏崎刈羽7号機のドライベル圧力指示計の改造工事に着手した。（2023年10月10日）
- ATENAは、事業者自主検査の現場同席確認において、ドライベル圧力計のアイソレータが安全保護系に設置されていることを確認した。（2023年10月20日）

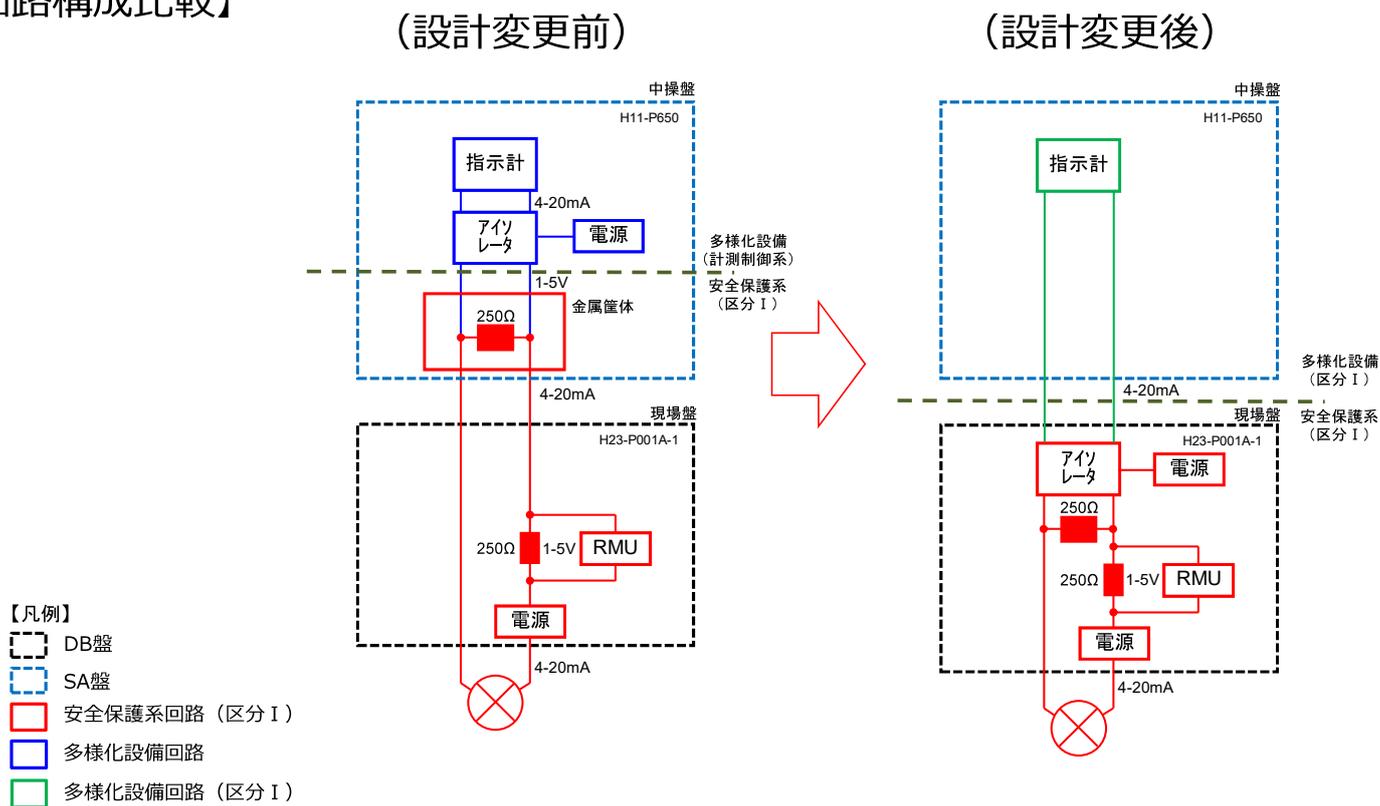
【ATENA技術要件書への整合性】

ATENA技術要件書 要求内容		事業者確認内容	ATENA確認
3.5.8安全保護回路への波及的影響防止	多様化設備である共通要因故障対策設備は、共通要因故障対策設備の故障影響により安全保護系の安全機能が喪失しない設計とする。	アイソレータによる電氣的分離により、安全保護系の安全機能が喪失しない設計となっていることを確認した。	ATENA技術要件書に整合していることを確認した。

【技術基準規則・JEAC4620-2020への適合性】

	記載内容	事業者確認内容	ATENA確認
技術基準規則	計測制御系の一部を安全保護装置と共用する場合には、その安全保護機能を失わないよう、計測制御系から機能的に分離されたものであること。	アイソレータを現場盤へ移設し安全保護系に設置することで、技術基準規則及び解釈（JEAC本文及び解説）に適合していることを確認した。	技術基準規則及び解釈（JEAC本文及び解説）に適合していることを確認した。
JEAC本文	計測制御系で故障が生じてもデジタル安全保護系に影響のないよう、デジタル安全保護系と計測制御系を電氣的に分離する設計とすること。		
JEAC解説	安全保護系と計測制御系との信号取り合いは、光/電気変換などのアイソレーションデバイスを用いる。 この場合アイソレーションデバイスは安全保護系に属する。		

【回路構成比較】



柏崎刈羽7号機の対応状況

	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月改訂版提出 2023年9月改訂版提出※1	2023年5月改訂指示 2023年6月確認・公開 2023年10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※2 2023年10月ドライウエル圧力指示計の改造工事開始・完了 2023年10月提出予定	2023年11月確認・公開予定

※1：TRACコードの適格性評価の追加及びドライウエル圧力指示計の設計変更に伴う改訂

※2：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たため、工事完了及び検査開始はATENAによる確認完了の通知受領後とした。

#### (1) 課題抽出と妥当性確認

第8回公開会合を踏まえ、下記対応を行うこととした。

○事業者及びメーカーは、許認可実績のない手法、工法や設備を使用する等、新たな課題を幅広く抽出し、それぞれ各プラントに対し、その技術的論点を明確にした上で要件整合報告書（詳細設計）提出の前までに、ATENAに文書で連絡する。

【課題の例】

- ・許認可実績のない解析手法・コードを適用する場合
- ・技術基準規則・民間規格への適合性に課題がある場合
- ・技術基準規則・民間規格の解説に記載された例と相違する場合
- ・エンドースが予定されている民間規格に相違する場合
- ・許認可実績のない設備設計や判断基準を適用する場合

○抽出された課題（ATENAが抽出したものも含む）に対し、ATENAは必要に応じてATENA-WGの専門家に意見照会を行い、対応方針を取り纏め事業者に連絡する。

○事業者は、ATENAが取り纏めた『課題に対する対応方針』を受領後、対応方針に沿って必要に応じて妥当性を示す資料を添付し、要件整合報告書（詳細設計）をATENAに提出する。

○ATENAは、事業者の妥当性を示す添付資料に対して、必要に応じてATENA-WGの専門家を招集し、妥当性の確認を行う。

○ATENAは、適宜、NRAとコミュニケーションを図る。

#### (2) 第3者機関の活用（工事・検査完了確認業務委託）

○現在、ATENA在籍の要員が行っている工事・検査完了確認で、今までの経験も踏まえ定型化されている部分については、第3者機関（発電技検）を活用し、原子力発電所における工事・検査完了確認の透明性向上を図る。

○発電技検にATENAがOJTなどで力量を確認・付与した委託員2名が担当者として現場同席確認等を行う。なお、委託員はATENAの責任者のもとで確認等を行う。

○委託は、大飯4号機の工事・検査完了確認から開始した。（10月13日）

#### (3) 工事開始に関する事業者の担保について

事業者は、今後、ATENAの要件整合確認(詳細設計)の完了通知を受けてから工事を開始することを、オーソライズ文書等に定める方針であり、ATENAはその確認を行う。

(4) PDCA

○ ATENA確認要領の改定

(1)～(3)に示した対応について、ATENA確認要領書に反映するとともに、同要領書を公開した。

○ 技術要件書の改定

将来、多様化設備にソフトウェア技術(例FPGA※)を適用する場合を考慮し、安全保護回路(マイクロプロセッサ)と多様性が確保できる要件を明確化し、技術要件書へ反映する予定である。

※：内部の論理回路の構造を再構築できる半導体チップの一種で、現場で書き換え可能な論理回路 ( Field Programmable Gate Array )

○対応スケジュール

追加対応項目	2023年度	2024年度	未定
(1)課題抽出	<p>10月20日から開始</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽川内1,2号機</li> <li>▽柏崎刈羽7号機</li> <li>▽大飯3,4号機</li> <li>▽高浜3,4号機</li> <li>▽美浜3号機</li> <li>▽玄海3,4号機</li> <li>▽高浜1,2号機</li> <li>▽伊方3号機</li> <li>▽柏崎刈羽6号機</li> <li>▽島根2号機</li> <li>▽女川2号機</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>泊3号機</li> <li>敦賀2号機</li> <li>志賀2号機</li> <li>島根3号機</li> <li>大間</li> <li>東海第二</li> <li>東通1号機</li> <li>浜岡3,4号機</li> </ul>
(2)第三者機関の活用 (工事・検査完了 確認業務委託)	<p>10月13日から開始</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽大飯4号機</li> <li>▽高浜3号機</li> <li>▽美浜3号機</li> <li>▽玄海3号機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▽玄海4号機</li> <li>▽伊方3号機</li> <li>▽高浜1号機</li> <li>▽高浜2号機</li> <li>▽高浜4号機</li> <li>▽大飯3号機</li> </ul>	

## 4. PWRプラントの対応状況（1/2）

18

○PWRプラントは、主な対策は川内1号機と同じであり、事業者及びATENAは、川内1号機と同様の対応を行っている。 【2023年10月25日時点】

プラント	要件整合報告 (詳細設計)	要件整合確認 (詳細設計)	工事開始	検査開始
川内1号機	2023年1月提出済 2023年3月改訂版提出済	2023年3月確認済	2023年2月※	2023年3月 2023年4月工事・検査完了
川内2号機	2023年1月提出済 2023年3月改訂版提出済	2023年3月確認済	2023年5月	2023年6月 2023年7月工事・検査完了
大飯4号機	2023年1月提出済 2023年4月改訂版提出済 2023年8月改訂版提出済	2023年8月確認済	2023年9月	2023年9月 2023年10月工事・検査完了
高浜3号機	2023年4月提出済 2023年8月改訂版提出済	2023年9月確認済	2023年9月	2023年11月

※：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。

## 4. PWRプラントの対応状況（2/2）

19

【2023年10月25日時点】

プラント	要件整合報告 (詳細設計)	要件整合確認 (詳細設計)	工事開始	検査開始
美浜3号機	2023年8月提出済	2023年10月確認済	2023年11月	2023年12月
玄海3号機	2023年10月提出予定	2023年10月確認予定	2023年11月	2023年12月
高浜4号機	2023年4月提出済 2023年8月改訂版提出済	2023年9月確認済	2023年12月	2024年3月
大飯3号機	2023年1月提出済 2023年4月改訂版提出済 2023年8月改訂版提出済	2023年8月確認済	2024年2月	2024年3月
玄海4号機	2023年10月提出予定	2023年10月確認予定	2024年3月	2024年5月
伊方3号機	2024年4月提出予定	2024年度	2024年度	2024年度
高浜1号機	2024年2月提出予定	2024年度	2024年度	2024年度
高浜2号機	2024年2月提出予定	2024年度	2024年度	2024年度
泊3号機	設置変更許可後に実施計画を策定し報告	未定	未定	未定
敦賀2号機	設置変更許可後に実施計画を策定し報告	未定	未定	未定

○ABWRプラントにおける主な対策は、以下に示す手動操作（MSIV閉回路）に関する手順書を除き、柏崎刈羽7号機と同じであり、事業者及びATENAは、柏崎刈羽7号機と同様の対応を行う。

（主な対策）

設備対策、手順の整備と教育及び訓練

設計から検査実施までの品質保証体制、事業者自主検査、運用開始後の管理体制

○柏崎刈羽7号機では、手動操作（MSIV閉回路）の出力回路の一部にFPGAが使用されているため、保守的に当該FPGAをソフトウェアCCF対象とし、MSIV閉操作として、当該FPGA回路を使用しているMSIV手動隔離スイッチ操作ではなく、MSIVのMCCB（電源遮断器）操作を採用し、手順書に記載している。なお、柏崎刈羽7号機では、他の多様化設備の回路にFPGAは使用されていない。

志賀2号機と島根3号機では、手動操作（MSIV閉回路）の出力回路の一部にFPGAを使用しているため、柏崎刈羽7号機と同様の手順書での対応となる。

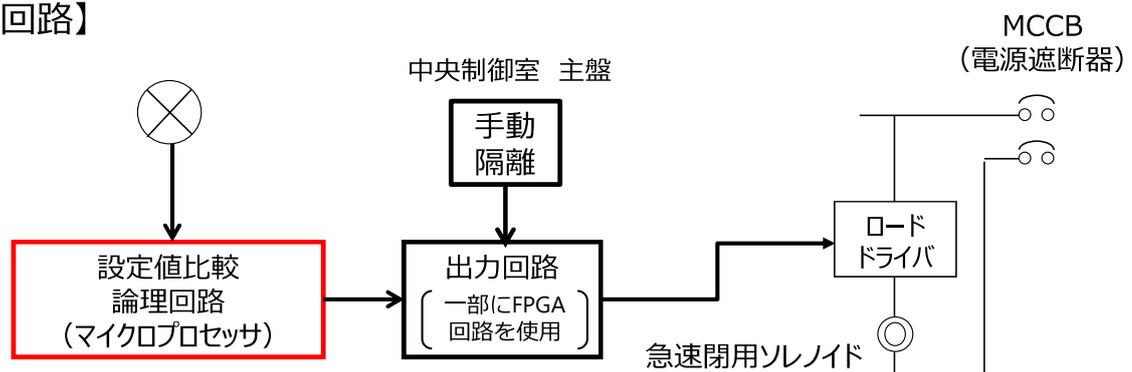
柏崎刈羽6号機では、手動操作（MSIV閉回路）及び他の多様化設備の回路にFPGAを使用していない。

### （補足3）FPGAの取扱いについて

○柏崎刈羽7号機は、MSIV閉回路の出力回路の一部にFPGAが使用されているため、以下の対応を行っている。

- FPGAはマイクロプロセッサに対して多様性を有しており、CCFの想定を除外できるものであると考えられるが、柏崎刈羽7号機では保守的に当該FPGAをソフトウェアCCF対象とした。
- 柏崎刈羽7号機では、MSIV閉操作として、出力回路の一部にFPGA回路を使用しているMSIV手動隔離スイッチ操作ではなく、MSIVのMCCB（電源遮断器）操作を採用し、手順書に記載している。

#### 【MSIV閉回路】



【2023年10月25日時点】

プラント	要件整合報告 (詳細設計)	要件整合確認 (詳細設計)	工事開始	検査開始
柏崎刈羽7号機	2023年1月提出済 2023年6月改訂版提出済 2023年9月改訂版提出済※2	2023年6月確認済 2023年10月確認済※2	2022年7月※1 2023年10月※3	2023年7月 2023年10月※3
柏崎刈羽6号機	2024年3月提出予定	未定	未定	未定
志賀2号機	設置変更許可後に実施計画 を策定し報告	未定	未定	未定
島根3号機	設置変更許可後に実施計画 を策定し報告	未定	未定	未定
大間	設置変更許可後に実施計画 を策定し報告	未定	未定	未定

※1：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：TRACコードの適格性評価の追加及びドライウエル圧力指示計の設計変更に伴う改訂

※3：ドライウエル圧力指示計の改造工事、自主検査

## 6. BWR5プラントの対応状況（1/4）

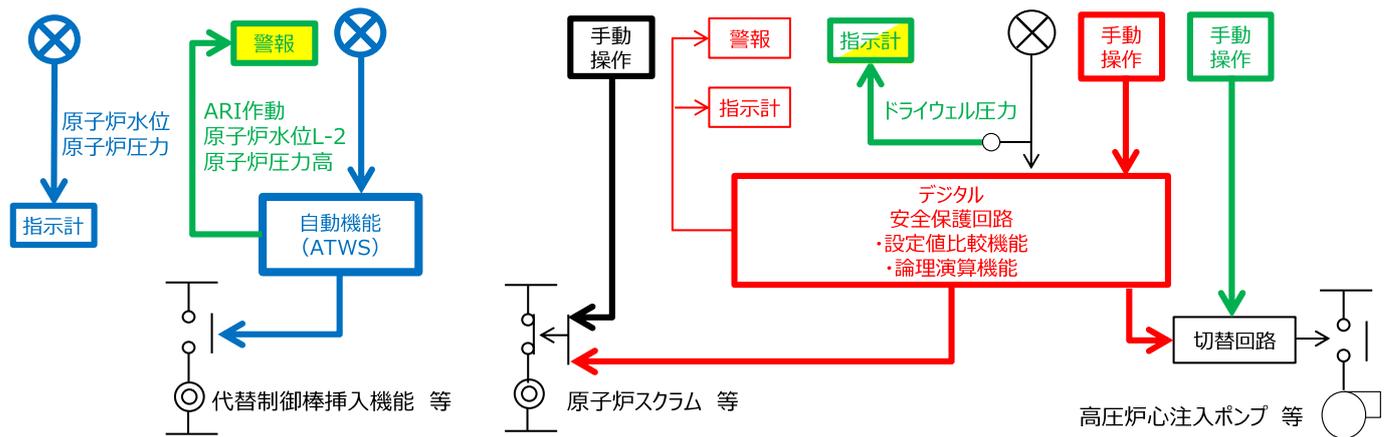
- BWR5プラントでは、安全保護回路の一部にデジタル化された範囲（放射線モニタ、中性子計装、温度計装）があるため、この範囲にソフトウェアCCFの発生を想定する。他の範囲はアナログ機器で構成されているため、ソフトウェアCCFの発生は想定しない。
- ATENA技術要件書では、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した場合において、安全保護回路のデジタル化された範囲が機能しない場合を想定しても、他のアナログ機器で構成された安全保護回路の安全機能が作動することにより、設計基準事故の判断基準を概ね満足できることが有効性評価により確認できる場合には、多様化設備は設けなくてもよいとしている。
- 事業者は、今後、ソフトウェアCCFの影響を受ける事象（参考2）に対して、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、要件整合報告書（詳細設計）に取りまとめ、ATENAに提出する。ATENAは、受領した報告書の確認完了後に確認結果を公開するとともにNRAへ報告を行う。
- なお、事業者は、有効性評価書のABWRの解析結果から、BWR5において多様化設備が不要であることを示すとしている。（参考3）
- また、多様化設備の設置が不要であっても、手順書の整備、教育・訓練の実施が必要となる場合、事業者は、運用に係る事業者自主検査を実施する。（参考4）

○ABWRプラントとの比較 (ABWRの例)

【デジタル化の範囲とソフトウェアCCFの影響を受ける事象】

運転時の異常な過渡変化	設計基準事故
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 原子炉冷却材流量の部分喪失 外部電源喪失 給水加熱喪失 原子炉冷却材流量制御系の誤動作 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	原子炉冷却材喪失 原子炉冷却材流量の喪失 制御棒落下 放射線気体廃棄物処理施設の破損 (被ばく) 制御棒落下 (被ばく) 主蒸気管破断 (被ばく) 燃料集合体の落下 (被ばく)

- デジタル安全保護系
- 多様化設備 (DB設備)
- 多様化設備 (SA設備)
- 多様化設備 (自主設備)
- 新規設置
- 新規設置 (既設設備に追加)
- アイソレータ

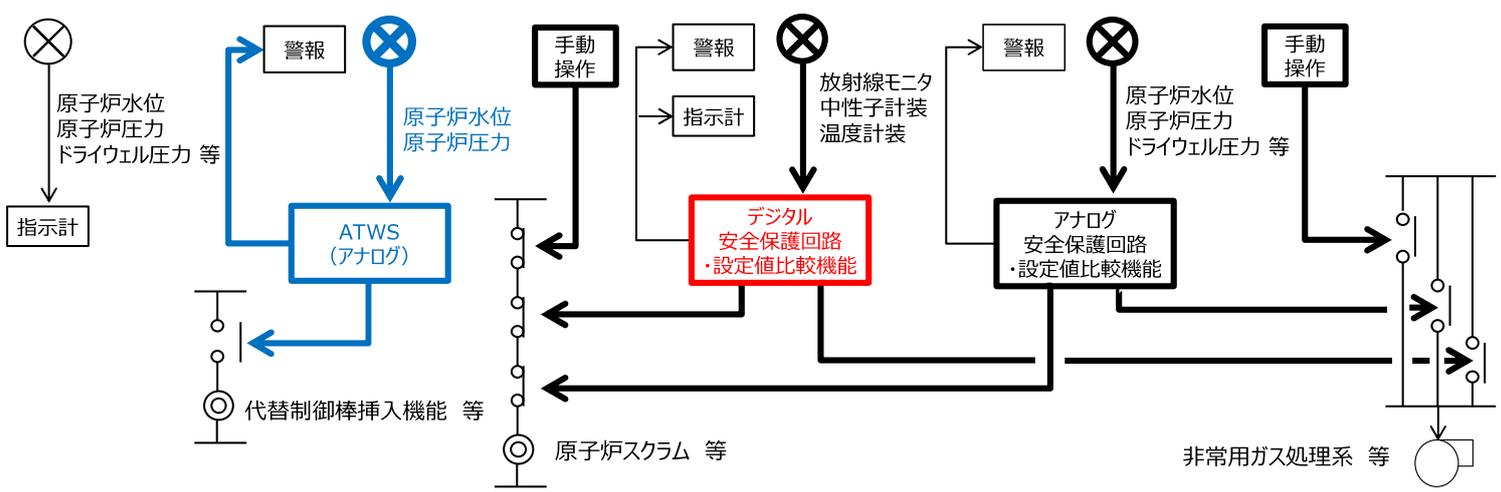


○ABWRプラントとの比較 (BWR5の例)

【デジタル化の範囲とソフトウェアCCFの影響を受ける事象】

運転時の異常な過渡変化	設計基準事故
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 給水加熱喪失 原子炉冷却材流量制御系の誤動作	制御棒落下 制御棒落下 (被ばく) 燃料集合体の落下 (被ばく)

- デジタル安全保護系
- アナログ安全保護系
- ATWS (SA設備)



【2023年10月25日時点】

プラント	要件整合報告 (詳細設計)	要件整合確認 (詳細設計)	工事開始	検査開始
女川2号機	2024年2月提出予定	2024年2月確認予定	—	2024年2月
島根2号機	2024年4月提出予定	2024年5月確認予定	—	未定
東海第二	新規制基準適合性に 係る工事完了までに 実施	未定	—	未定
東通1号機	設置変更許可後に実 施計画を策定し報告	未定	—	未定
浜岡3号機	設置変更許可後に実 施計画を策定し報告	未定	—	未定
浜岡4号機	設置変更許可後に実 施計画を策定し報告	未定	—	未定

新規制基準適合性審査が未申請のプラント（女川3号、柏崎刈羽1～5号、浜岡5号、志賀1号）は、設置変更許可申請後に実施計画を策定し報告することとしている。



（参考2）BWR5の有効性評価の対象事象（ABWRプラントとの比較）（1/2）

○BWR5はABWRと比較して、安全保護回路のデジタル化範囲が一部に限定され、ソフトウェアCCFの影響を受ける設計基準事象の範囲は、ABWRより限定的となる。  
○下表にBWR5の有効性評価の対象事象（全7事象）を示す。

設計基準事象	解析で考慮する緩和系の作動信号とソフトウェアCCFの影響					
	ABWR			BWR5		
	原子炉停止系	工学的 安全施設	作動信号へ のCCF影響	原子炉停止系	工学的 安全施設	作動信号へ のCCF影響
原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	原子炉周期短	—	有	原子炉周期短	—	有
出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	RBM信号による引き抜き阻止	—	有	RBM信号による引き抜き阻止	—	有
原子炉冷却材流量の部分喪失	—	—	無	—	—	無
原子炉冷却材の停止ループの誤起動(BWR5)	/			—	—	無
外部電源喪失	蒸気加減弁急速閉	—	有	主蒸気止め弁閉	—	無
給水加熱喪失	中性子束高（熱流束相当）	—	有	中性子束高（熱流束相当）	—	有
原子炉冷却材流量制御系の誤動作	中性子束高	—	有	中性子束高	—	有
負荷の喪失	蒸気加減弁急速閉	—	有	蒸気加減弁急速閉	—	— 49 無
主蒸気隔離弁の誤閉止	主蒸気隔離弁閉	—	有	主蒸気隔離弁閉	—	無

設計基準事象	解析で考慮する緩和系の作動信号とデジタル化範囲					
	ABWR			BWR5		
	原子炉停止系	工学的安全施設	作動信号へのCCF影響	原子炉停止系	工学的安全施設	作動信号へのCCF影響
給水制御系の故障	主蒸気止め弁閉	—	有	主蒸気止め弁閉	—	無
原子炉圧力制御系の故障	主蒸気隔離弁閉	—	有	主蒸気隔離弁閉	—	無
給水流量の全喪失	原子炉水位レベル3	原子炉水位レベル2	有	原子炉水位レベル3	原子炉水位レベル2	無
原子炉冷却材喪失	炉心流量急減	原子炉水位レベル1.5もしくは1	有	原子炉水位レベル3	原子炉水位レベル2もしくは1	無
原子炉冷却材流量の喪失	炉心流量急減	—	有	主蒸気止め弁閉	—	無
原子炉冷却材ポンプの軸固着(BWR5)				主蒸気止め弁閉	—	無
制御棒落下	中性子束高	—	有	中性子束高	—	有
放射線気体廃棄物処理施設の破損(被ばく)	—	気体廃棄物処理設備エリア放射能高※	無	—	気体廃棄物処理設備エリア放射能高※	無
制御棒落下(被ばく)	中性子束高	主蒸気管放射能高	有	中性子束高	主蒸気管放射能高	有
主蒸気管破断(被ばく)	主蒸気隔離弁閉	主蒸気管流量大	有	主蒸気隔離弁閉	主蒸気管流量大	無
燃料集合体の落下(被ばく)	—	原子炉区域放射能高	有	—	原子炉区域放射能高	有



※放射能高の警報の発生信号であり、工学的安全施設の自動起動信号ではない。

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因 BWR5プラントの有効性評価結果 (暫定)

2023年10月26日  
東北電力株式会社  
中国電力株式会社



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

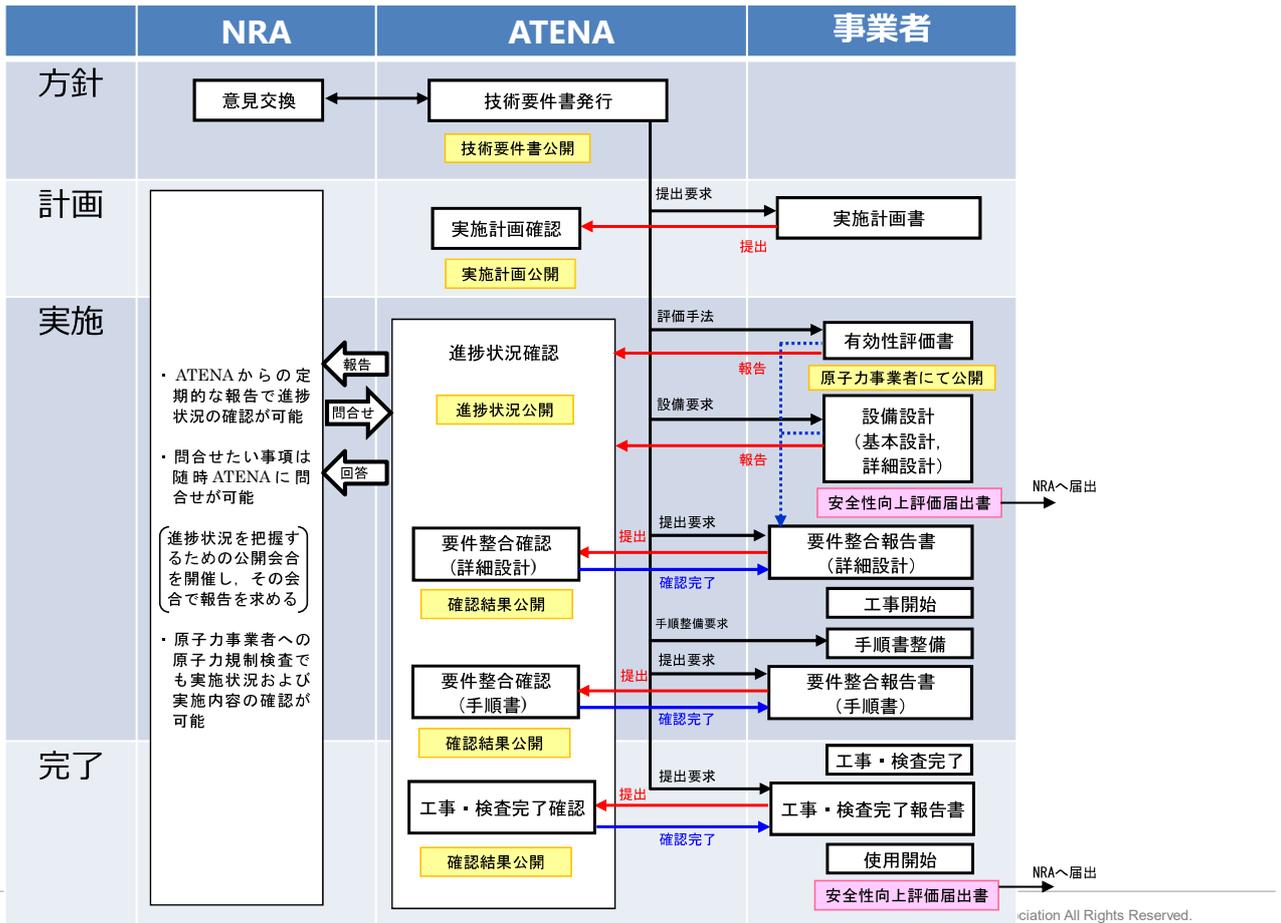
○有効性評価結果

BWR5プラントではソフトウェアCCFの影響を受ける以下の事象 (①～⑦) について、有効性評価図書の代表ABWRプラント解析結果から、多様化設備に期待しない場合においても、設計基準事故で使用される判断基準を満足することを確認した。

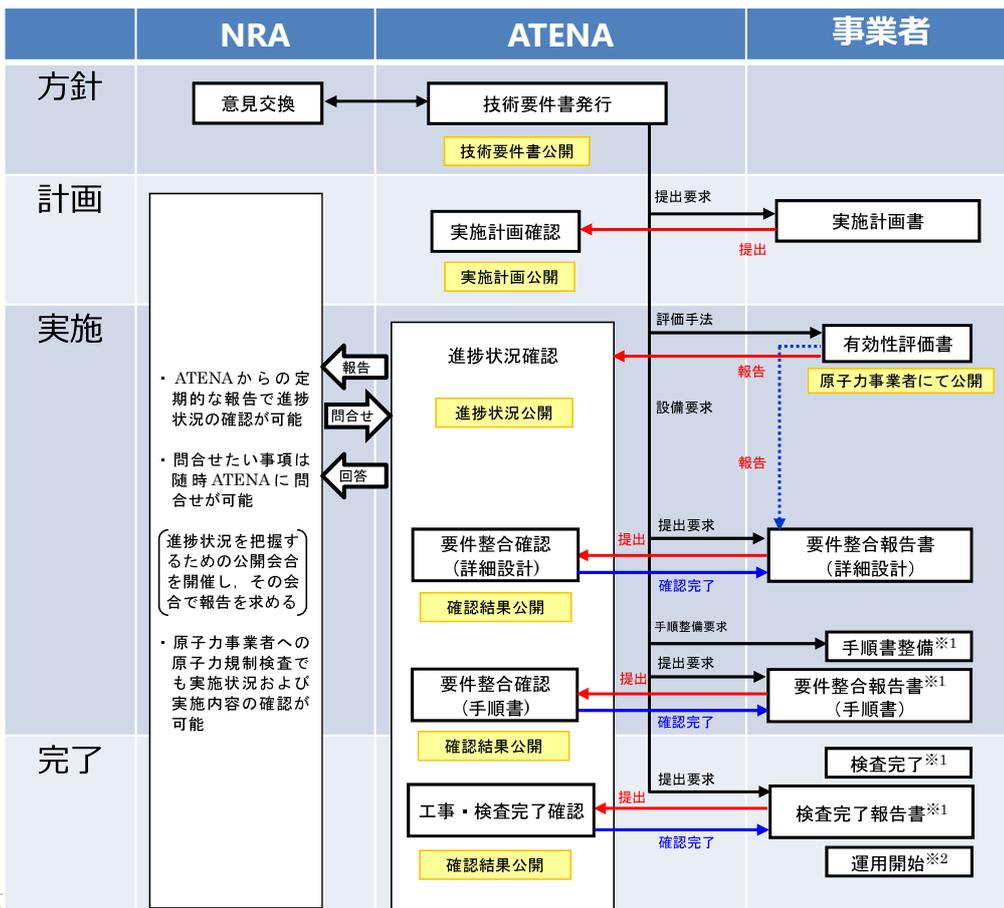
評価事象		理由
運転時の異常な過渡変化	①原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	制御棒引抜速度よりも制御棒落下速度の方が速いため、⑤制御棒落下の解析結果に包絡される。
	②出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	局所出力が上昇する事象であり、炉型に依存しないため、代表ABWRプラントの解析結果 (有効性評価書5.1.2) を参照する。代表ABWRプラントでは同時引抜本数が多いため、原子炉出力はBWR5プラントと比較して高くなるが、代表ABWRプラントの解析結果でも燃料被覆管温度は1200℃以下で整定する。 一方、BWR5プラントでは同時引抜本数が1本であり、誤引抜制御棒周辺の燃料集合体出力の上昇は同程度となるため、代表ABWRプラントと同様に判断基準を満足する。 なお、通常の運転管理として定格出力近傍での制御棒引抜操作は1ノッチずつに限定されることから、連続誤引抜は発生しない。
	③給水加熱喪失	炉心入口サブクーリング増加により中性子束が上昇するが、MSIV閉条件に至らず、ARI及びRPTが作動せずに整定する事象である。本事象のスクラム遅れの影響は、スクラム失敗時の圧力上昇によるボイド反応度フィードバックが最も厳しい主蒸気隔離弁の誤閉止に包絡される。有効性評価書「5.3.2主蒸気隔離弁の誤閉止」に示すように代表ABWRプラントは十分余裕をもって判断基準を満足する。同様の事象進展となるBWR5プラントにおいても同様に判断基準を満足する。

○有効性評価結果 (つづき)

評価事象		理由
運転時の異常な過渡変化	④原子炉冷却材流量制御系の誤動作	誤動作による炉心流量増加により中性子束が上昇するが、MSIV閉条件に至らず、ARI及びRPTが作動せずに整定する事象である。本事象のスクラム遅れの影響は、スクラム失敗時の圧力上昇によるボイド反応度フィードバックが最も厳しい主蒸気隔離弁の誤閉止に包絡される。③と同様にBWR5プラントにおいても代表ABWRプラントと同様に判断基準を満足する。
設計基準事故	⑤制御棒落下	有効性評価書「6.2反応度の異常な投入又は原子炉出力の急激な変化」に示すように、代表ABWRプラント解析においてBWR5プラントを包絡する条件としてBWR5プラントの制御棒落下速度を設定している。代表ABWRプラントでは、反応度フィードバックによる固有の安全性により燃料エンタルピの増加が緩和され、判断基準を満足する結果となっており、BWR5プラントにおいても同様に判断基準を満足する。
	⑥制御棒落下 (被ばく評価)	有効性評価書の添付2「代表プラント以外への適用性」に示すように、有効性評価書「6.3環境への放射性物質の異常な放出」の評価に代表されるため、BWR5プラントにおいても代表ABWRプラントと同様に判断基準を満足する。
	⑦燃料集合体の落下 (被ばく評価)	



© Atomic Energy Association All Rights Reserved.



BWR5プラントは有効性評価結果から設備対応が不要な場合、設備設計（基本設計、詳細設計）及び工事開始のプロセスは対象外となる。

※1：手順書の整備、教育・訓練の実施が必要となる場合、手順書整備、要件整合報告（手順書）、運用に係る検査、検査完了報告のプロセスが必要となる。

※2：手順書の運用開始



© Atomic Energy Association All Rights Reserved.

柏崎刈羽原子力発電所7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)

別冊資料参照

柏崎刈羽原子力発電所7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)  
(改訂1)

別冊資料参照

# ○デジタル安全保護系とは

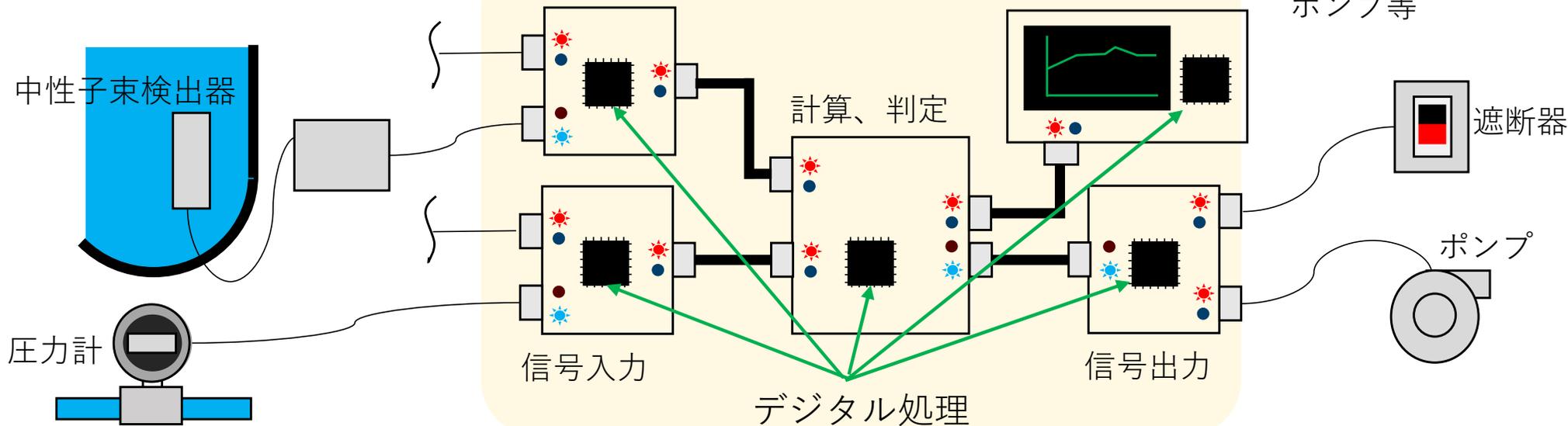
**安全保護系**：運転時の異常を検知して、原子炉を止めたり冷やしたりする設備を作動させる信号を受け渡す装置のつながり

信号をプロセッサでデジタル処理するもの（デジタル安全保護系）と、抵抗やリレーでアナログ処理するものがあります。

- デジタル処理の技術は高い信頼性が確保されていますが、プロセッサのバグをはじめとして万が一の不具合があった場合、いっぺんに機能不全になることも否定できません。

## デジタル安全保護系のイメージ

検出器：中性子束検出器、圧力計等



※デジタル処理の計算・判定で自動起動

# ○デジタル安全保護系の共通要因故障対策とは

そのため、運転時に異常が発生した際に、デジタル安全保護系がいったんに故障したという極端な状況でも炉心損傷を防止できるよう、アナログ処理装置等によるバックアップを求めています。

## アナログ処理装置等によるバックアップイメージ

