

伊方発電所3号機
炉内核計装装置の不具合による原子炉停止について

令和7年2月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所3号機 炉内核計装装置の不具合による原子炉停止について

2. 事象発生の日時

令和6年10月2日 1時50分

3. 事象発生の設備

3号機 炉内核計装装置

4. 事象発生時の運転状況

3号機 第17回定期事業者検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所3号機は、定期事業者検査中において原子炉内の燃料の出力分布を測定する検査^{※1}（以下、「出力分布測定」という。）を実施していたところ、炉内核計装装置^{※2}が不調であったため、保守員が確認し、10月2日1時50分、当該装置の詳細点検が必要と判断した。

出力分布測定のため、伊方発電所3号機は原子炉出力約8%を維持していたが、炉内計装盤^{※3}の検出回路の一部に不具合があり、その対応に時間を要する見込みであることから、原子炉を一旦停止することを判断し、10月7日18時59分原子炉を停止した。

調査の結果、今回の定期事業者検査で取り替えた炉内計装盤の検出回路^{※4}に使用している高電圧発生基板^{※5}とその接地回路^{※6}の構成が適切でなかったことを確認したため、検出回路の信号を正常に測定するために、当該接地回路の改修を実施し、炉内核計装装置による原子炉内の燃料の出力分布の測定方法を変更した。

その後、10月16日に原子炉を起動し、10月18日9時15分、炉内核計装装置により原子炉内の燃料の出力分布が正常に測定できることを確認した。

なお、本事象によるプラントへの影響および環境への放射能の影響はなかった。
(添付資料-1)

※1 出力分布を測定する検査

炉内のウラン燃料の燃焼（核分裂）状況を詳細に把握するために実施する検査で、可動型の検出器（以下、「検出器」という。）を原子炉内（50箇所）に挿入し、原子炉内の中性子の数を測定することにより、燃料の出力分布を評価する検査。

事象発生時は、原子炉出力約8%において炉内計装盤の取替工事における機能試験を実施していた。

※2 炉内核計装装置

検出器を原子炉内まで挿入するために設けた案内管（50箇所）に小型の可動型の検出器を挿入し、中性子の数を測定する装置。なお、炉心の中性子を測定する設備として、通常使用する炉外核計装装置があり、原子炉起動時および停止時において、中性子の数を測定するための線源領域検出器が2系統設置されている。

※3 炉内計装盤

炉内核計装装置を構成する機器の1つで、検出器を操作および検出器が検出した中性子の数に応じた出力信号を表示する盤。

中央制御室に設置している。

※4 検出回路

検出器からの電流を検出するための回路。

※5 高電圧発生基板

高電圧を発生させ、検出器へ給電する基板。

高電圧を給電した回路に検出器の電流信号が流れる。

※6 接地回路（アース）

一般的には電気設備機器やケーブル等の電路と大地を電氣的に接続する回路であり、接地の目的としては、機器の保護の他、通信・電子機器の安定動作（機能接地）、雷保護システム用、静電気防止用など用途が様々である。

今回の接地回路は、炉内計装盤側の通信・電子機器の安定動作（機能接地）の接地回路のこと。

6. 事象の時系列

10月 1日

17時30分 原子炉出力約8%における出力分布測定開始

18時15分 出力分布測定を実施していた検査員が、測定不調を確認

18時50分 係員が、現地確認を開始

10月 2日

1時50分 係員が、炉内核計装装置の詳細点検が必要であることを判断
検査責任者が出力分布測定の中断を判断

10月 2日～7日

メーカーでの原因および対策の検討等

- 10月 7日
14時05分 炉内計装盤の検出回路の一部に不具合を確認。その対応に時間を要する見込みであることから、所長が原子炉の一旦停止を判断
18時59分 原子炉を停止
- 10月 8日 接地回路の切り離し実施
- 10月 8日～11日
出力分布測定の実施方法を、これまでの4系統（検出器4本）同時測定から、1系統（検出器1本）毎の測定に変更することについての運用検討
- 10月16日
12時00分 原子炉を起動
- 10月18日
9時15分 炉内核計装装置により出力分布測定が正常に実施できることを保修担当課長が確認

7. 調査結果

炉内核計装装置の不具合について、以下の調査を実施した。

(1) 事象発生時の状況調査

a. 炉内計装盤の状況

炉内計装盤は、伊方発電所3号機の建設当時から使用しており、メーカーが保守対応可能な期間の目安としている25年（以下、「保守対応期間」という。）を超えたことから、設備の機能維持のために炉内計装盤取替工事（以下、「取替工事」という。）を実施した。

なお、保守対応期間を超えた場合においても、当社およびメーカーにて設備を維持できる対応がとれているため、保守対応期間を超えての使用については問題なかった。

b. 事象発生時の状況

原子炉出力約8%における出力分布測定を実施していたところ、炉内核計装装置の検出器4本の出力信号が炉内計装盤に表示されない事象を確認した。

その後、予備の検出器4本を使用して、出力分布測定を実施したが、同様に、出力信号が炉内計装盤に表示されない事象を確認した。

検出器8本（予備検出器4本含む。）の挿入・引抜については問題なく動作し、出力信号だけが表示されない状態であった。

なお、この出力分布測定に合わせて、取替工事の現地検査として、炉内計装盤に出力信号が正しく表示されることを確認する検査を実施していた。

(添付資料-2)

c. 設備の健全性確認

(a) 検出器

炉内核計装装置の検出器8本の絶縁抵抗測定^{※7}および静電容量測定^{※8}を実施し、異常がないことを確認した。

※7 絶縁抵抗測定

検出器を含めたケーブルから、電流が外部に漏れないことを確認するため、回路の絶縁抵抗値を測定する。

※8 静電容量測定

検出器を含めたケーブルが断線していないことを確認するため、回路内の電荷を測定する。

(b) 炉内計装盤

炉内計装盤の信号処理基板^{※9}8枚(予備検出器用の4枚含む。)に検出器の模擬信号を入力し、出力信号に異常がないことを確認した。

また、炉内計装盤の高電圧発生基板8枚(予備検出器用の4枚含む。)から検出器に電圧を印加し、電圧値に異常がないことを確認した。

※9 信号処理基板

検出器の電流信号を、検出回路を介して計測する基板。

(c) 駆動装置^{※10}

検出器を案内管に挿入するための駆動装置は、正常に動作し検出器8本の挿入・引抜動作ができていることを確認した。

※10 駆動装置

検出器を案内管に挿入するための装置。

d. 取替工事設計図書の現地確認

今回の取替工事で、メーカーが作成した工事設計図書と現場との配線状況を確認し、異常がないことを確認した。

e. 保修復歴確認

炉内核計装装置のうち取替工事範囲外の設備について保修復歴を確認した。

今回の定期事業者検査において検出器2本を取り替えているが、今回は全ての検出器の信号が確認できない事象であり、今回の事象に影響を与えるものではないことを確認した。

f. メーカー聞き取り調査

メーカーへ聞き取りを実施した結果、メーカーで採用していた高電圧発生基板の電子部品が製造中止となったため、新規に設計した高電圧発生基板を、今回の取替工事で採用していることを確認した。

また、高電圧発生基板について、メーカーが保有している高電圧発生基板開発時の設計図書を確認し、従来品との装置仕様に係る相違点について、高電圧発生基板の電源回路の仕様が絶縁方式^{※11}から非絶縁方式^{※12}に変更されていることを確認した。

※11 絶縁方式

高電圧発生基板への電源入力回路と検出器側への出力回路の間に直接的な電気接続がなく、入力回路と出力回路が絶縁された方式。

※12 非絶縁方式

高電圧発生基板への電源入力回路と検出器側への出力回路の間に直接的な電気接続があり、入力回路と出力回路が絶縁されていない方式。

g. 当社の調達要求

当社は、今回の取替工事の調達において、メーカーに対して、炉内核計装装置として必要な機能要求を実施しているものの、今回の高電圧発生基板の電源回路の仕様に係る詳細な要求は実施していなかった。

h. 設計時における高電圧発生基板の仕様変更

高電圧発生基板については、本事象発生後、メーカーへの聞き取りによって仕様変更されていることを確認したが、取替工事の設計段階において、当該基板の仕様が変更されていたこと、およびこれまでに納入実績がない新規に開発した基板であることについて当社に連絡はなかった。

また、取替工事で作成した工事設計図書には、高電圧発生基板の仕様について記載はあるが、電源回路が非絶縁方式であるとの記載はないことを確認した。

(2) 保守状況の調査

炉内核計装装置は、定期事業者検査毎に機能確認を実施しているが、炉内計装盤は今回、取替工事を行っており、事象発生時は原子炉出力約8%における機能試験を実施していた。

駆動装置については、取替工事の対象外であるが、取替工事と組み合わせて機能確認を行っている。

検出器については、3定検毎に取り替えており、今回の定期事業者検査において検出器2本（いずれも予備検出器）を取り替えている。

(3) 類似設備の調査

炉内核計装装置用の高電圧発生基板については、メーカーにて新規開発した基板であり、これまでに納入実績はなく、類似設備はない。

(4) 過去の類似事象の調査

伊方発電所において、過去の炉内核計装装置に係る不具合事象を確認したところ、以下の3件を確認したが、いずれも炉内計装盤に関する不具合ではないことを確認した。

- ・伊方発電所1号機 炉内核計装装置の検出器挿入不良について
(平成13年3月発生)
- ・伊方発電所1号機 炉内核計装装置の検出器挿入不良について
(平成13年5月発生)
- ・伊方発電所2号機 炉内核計装装置シングル案内管の不具合について
(平成13年9月発生)

8. 対応方法の検討

(1) メーカーによる詳細調査

今回の取替工事にて、高電圧発生基板の電源回路の仕様が絶縁方式から非絶縁方式に変更されたことによる影響について、メーカーが詳細調査を実施し、以下の影響があることを確認した。

- ① 高電圧発生基板の内部回路と接地回路がつながる構成となり、検出器の出力信号が接地回路を介して検出回路を迂回する回路が形成され、検出器の出力信号が検出回路に流れなくなったことで、検出器の出力信号が炉内計装盤に表示されない。
- ② 検出回路を迂回する回路を解線しても、8枚ある高電圧発生基板間の接地回路はつながっており、共通回路が構成されることで検出器の信号が分流され、検出器の信号が平均化された値が表示される。このため4系統(検出器4本)同時測定が成立しない。

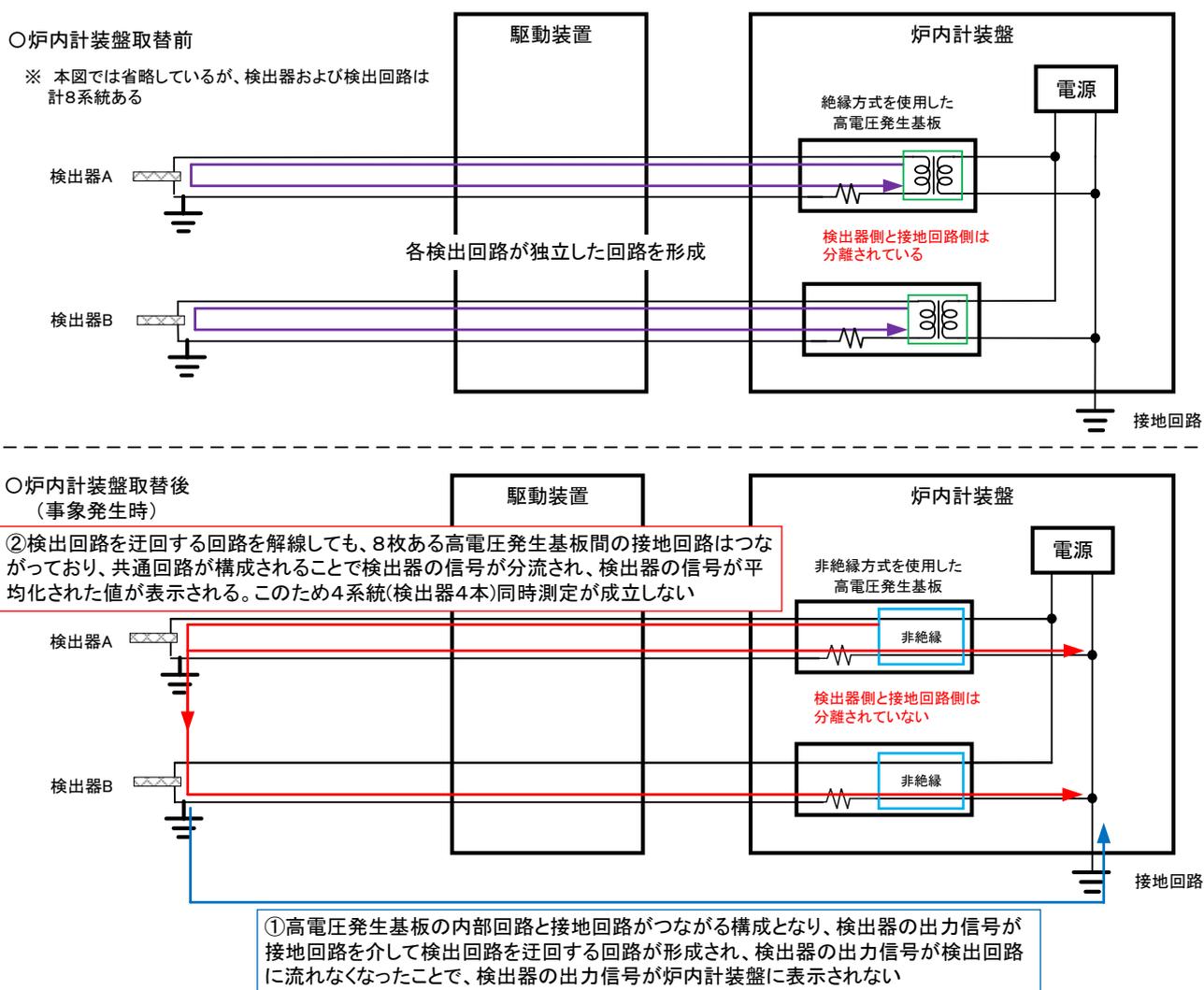


図1：伊方発電所3号機 炉内核計装装置 イメージ図

(2) メーカーによる対策検討

メーカーが対策検討を行い、以下の対策を実施することで、検出器の信号が炉内計装盤に表示され、適切な出力分布測定が実施できるとの報告があった。

- ・ 検出回路を迂回する回路が形成されることへの対策として、炉内計装盤内の接地線^{※13}を取り外す。
なお、接地線を取り外すことに関しては、炉内計装盤側の通信・電子機器の安定動作（機能接地）へ与える影響がないか、機能面、機器保護、ノイズ^{※14}対策の観点から評価し、問題はない。
- ・ 4系統（検出器4本）同時測定が成立しないことへの対策として、測定を行う系統を他の系統から切り離れた状態とし、4系統（検出器4本）同時測定から1系統（検出器1本）毎の測定に変更する。
なお、本対策実施にあたり、運用面で問題ないことについては、四電側で確認する必要がある。

※13 接地線

電気設備機器やケーブル等の電路と大地を電氣的に接続するための電線。

※14 ノイズ

電子機器や配線を流れる電流に含まれる不要な信号や変動。

(3) 対策の検証

メーカーによる検討結果から、対策として測定を行う系統を他の系統から切り離れた状態とする回路の成立性について、現地で、実際に検出器を挿入し確認した結果、検出器の出力信号が検出回路に流れ、炉内計装盤に正常に表示されることを確認した。

また、出力分布測定で、これまでの4系統（検出器4本）同時測定から、測定を行う系統を他の系統から切り離れた状態とし、1系統（検出器1本）毎の測定に変更することについて、当社で運用に係る検討を実施した結果、プラント運転中の出力分布測定を含めて、安全上・運用上の問題がないことを確認した。

9. メーカー監査

メーカー聞き取り結果を踏まえ、メーカーに対する監査を実施し、高電圧発生基板の設計時および取替工事での対応において次の問題を確認した。

(1) 高電圧発生基板設計時（平成24年）

高電圧発生基板については、基板上の電子部品の製造中止が確認されたため、平成24年より新規開発設計を開始していた。

新規開発設計においては、炉内核計装装置の炉内計装盤を設計する部門と検出器を設計する部門が異なっており、炉内計装盤を設計する部門のみで設計を進めていた。

炉内計装盤を設計する部門は、信号回路の図面を確認した際、検出器側に接地の記載がないことから、検出器側は接地されていないと思い込み設計を進めたことにより、高電圧発生基板の電源回路の仕様を他設備でも実績のある非絶縁方式へ変更しても問題ないと評価していた。

また、設計時の評価について、炉内計装盤を設計する部門内で審査した際にも、電源回路の仕様変更に疑義が生じることなく製品化することとなった。

なお、信号回路の図面において検出器側の接地が図示されていない理由は、電気回路として接地線が配線されていないからであり、検出器を設計する部門では、検出器は案内管と接した状態で測定しており、案内管を支持する構造物（サポート）を介して物理的に接地されていることは既知の事実として認識していた。

<当社の関与>

当社は、伊方発電所3号機建設時に設置している炉内計装盤を継続して使用しており、メーカーの保守対応期間内（平成30年まで）で設備の維持管理を行っていた。

製造中止となった電子部品を使用している高電圧発生基板は、伊方発電所では使用できない基板であったため、メーカーから製造中止品に係る連絡はなく、当社における製造中止品対策についても必要なものではなかった。

(2) 取替計画策定～取替工事時（平成30年～令和6年）

(1)の設計変更において、すでに製品化された非絶縁方式の高電圧発生基板を採用した設計となっていたが、取替工事の計画策定に当たり、これらの設計変更について当社への情報連携ができていなかった。

工場試験の段階においても、メーカーで工事を実施する部門の品質管理チームが工場試験の要領書を作成し、検出器側が接地されていない回路構成を模擬した試験が実施されていた。また、この試験方法は従前の絶縁方式と同じであり、非絶縁方式に変更されたことによる工場試験の実施方法について十分な検討ができていなかった。

以上から、工場試験では検出器の模擬信号が正しく表示され、炉内計装盤の試験として問題ない結果となっていた。

<当社の関与>

当社が供用していた炉内計装盤に対しては、平成30年に保守対応期間を踏まえた設備更新の提案をメーカーから受け、取替工事を計画し、発注前の計画段階において、工事概要、更新後設備の概要および変更点などについてメーカーと協議を行い工事の発注を実施しているが、これらの際において、高電圧発生基板の電源回路の仕様変更についてメーカーからの説明がなかった。

また、取替工事の発注仕様書にも「新設計・新工法の採用、設計変更、製作方法および工事方法の変更等がある場合においても当社と十分な情報交換を行う」旨の記載を行っているが、明確に図書を要求するような仕様書になっておらず、計画時と同様にメーカーからの説明がなかった。

当社が承認した装置仕様に関する図面においては、高電圧発生基板の内部回路までを示した図面はなく、非絶縁方式であることの仕様についての記載もなかった。また、検出器側が接地されている図面になっていなかったため、当社は接地の回路構成について正確な認識ができていなかった。

設計管理においては、異なる組織間の設計境界に新設計を採用している部品については、信号の受け渡し先の設備を設計する部門も開発段階に参画し、審査/承認されている製品を採用すること、および工場試験や発電所において設備・機器を供用する前に実施する検査は、実機の使用環境を反映した試験条件、具体的には信号の受け渡し先の設備の条件を反映し、既設備の要求仕様・回路構成を満足する試験条件により実施することの明文化が図れていなかった。

メーカーの工場から出荷する前の工場試験においては、当社は立会を実施しているが、検出器側からの模擬装置による入力試験については、記録確認のみを行い、その結果「良」と判断した。

当社は高電圧発生基板を含む炉内計装盤として製造中止品管理を実施しており、取替工事の計画策定に必要な情報は把握できていたが、高電圧発生基板の電源回路が絶縁方式から非絶縁方式へ変更されていた事を把握できなかったことについては、製造中止品管理に係る一連の対応のうち、設計管理について改善できる点があった。

(添付資料－3、4)

(3) メーカーの再発防止対策

これらを受け、メーカーは以下の対策を実施しており、再発防止を図っていることを確認した。

- ・ 当社が要求している「新設計・新工法の採用、設計変更、製作方法および工事方法の変更等がある場合においても当社と十分な情報交換を行う」ことについて、メーカーでの初品・変更品に該当する場合は、提出図書でその内容を明示するとともに、内部および外部に対し情報伝達することを社内規定に反映した。

- ・ 設備間で信号の受け渡しを行う基板に関して新設計を行う際は、信号の受け渡し先の設備を設計する部門も含めた有識者が参画し、設計・審査を行うことを社内規定に反映した。
- ・ 製品開発で実績のない信号の受け渡し方式に変更する場合には、実機相当の検証を基本とし、やむを得ず模擬条件で検証する場合には、他機種の品質管理チームに関わる有識者も参画の上、多角的に実機・現場への残存リスクの抽出・対策案の整理を行い、リスク管理にまとめることを社内規定に反映した。
- ・ 炉内計装盤での装置仕様に関する図面については、検出器側にて接地していることが分かる記載に改訂した。

(添付資料－ 3)

10. 推定原因

メーカーで採用していた高電圧発生基板の電子部品が製造中止となったことから、高電圧発生基板を新規に設計するにあたり、基板の電源回路を従前の絶縁方式から非絶縁方式へ変更したことで、高電圧発生基板と接地回路がつながる構成となり、検出器の出力信号が検出回路を迂回し、接地回路に流れたことで、検出器の出力信号が炉内計装盤に表示されなかったと推定した。

また、メーカーにおいては、今回の取替工事において、関係する部門間の連携が十分でなかったこと等により、適切な設計管理が実施できなかったことに加え、今回の設計変更について、当社へ情報連携できていなかった。

当社においては、調達要求として「新設計・新工法の採用、設計変更、製作方法および工事方法の変更等がある場合においても当社と十分な情報交換を行う」との記載を行っているが、明確に図書を要求するような仕様書になっていなかった。

また、設計管理の面から、異なる組織間の設計境界に新設計を採用している部品については、信号の受け渡し先の設備を設計する部門も開発段階に参画し、審査/承認されている製品を採用すること、および工場試験や発電所において設備・機器を供用する前に実施する検査は、実機の使用環境を反映した試験条件、具体的には信号の受け渡し先の設備の条件を反映し、既設備の要求仕様・回路構成を満足する試験条件により実施することの明文化が図れていなかった。

(添付資料－ 4)

1 1. 対策

- (1) 出力分布測定について、炉内計装盤内の接地線を取り外すとともに、各検出回路が繋がった状態では、各検出器の信号を正常に測定できないため、測定を行う系統を他の系統から切り離れた状態とし、4系統(検出器4本)同時測定から1系統(検出器1本)毎の測定に運用変更した。

(添付資料－5)

- (2) 高電圧発生基板の電源回路の仕様を絶縁方式から非絶縁方式へ変更した際の、メーカーの設計管理、品質管理が適切であったかどうか監査を実施し、設計時および取替工事における工場試験時のプロセスに関する問題を確認した。また、確認された問題については、「9. メーカー監査」に記載のとおり、当社にてメーカーの問題について、再発防止が図られていることを確認した。

(添付資料－6)

- (3) 当社の標準発注仕様書では設計管理として以下の要求を記載しているが、更なる要求事項を追記した。(下線部が追記した内容)

- ・ 受注者の工事と既設備との取合点、異なる設備・機器間または異なる組織間の設計境界において、設計上の不整合を生じないように十分調整すること。また、異なる組織間の設計境界に新設計を採用している部品については、取合先の設計部門も開発段階に参画し、審査/承認されている製品であること。
- ・ 設計が妥当であることを確認するため、設計審査、代替計算、実証試験等により、検証し、妥当性を確認する。
新設計、新工法については、設計全般に与える影響の評価も含めて適切な方法により確認すること。また、工場試験や発電所において設備・機器を供用する前に実施する検査は、実機の使用環境を反映した試験条件、具体的には取合先の設備の条件を反映し、既設備の要求仕様・回路構成を満足する試験条件により実施すること。

(添付資料－6)

- (4) 当社の標準発注仕様書に記載している提出書類一覧表に、設計仕様に関する図書として、新規設計または実績のある製品からの仕様変更について整理した図書を追記した。

当社は、当該図書の情報も考慮し、工場試験や発電所において設備・機器を供用する前に実施する試験において、実機の使用環境が反映された試験により、必要な機能を満足していることを確認する。

(添付資料－6)

(5) 当社の炉内核計装装置は4系統の駆動装置を有しており、駆動装置の有効的活用の観点から、当社はメーカーに対して、従前の4系統(検出器4本)同時測定が可能な高電圧発生基板の新規開発を要求した。

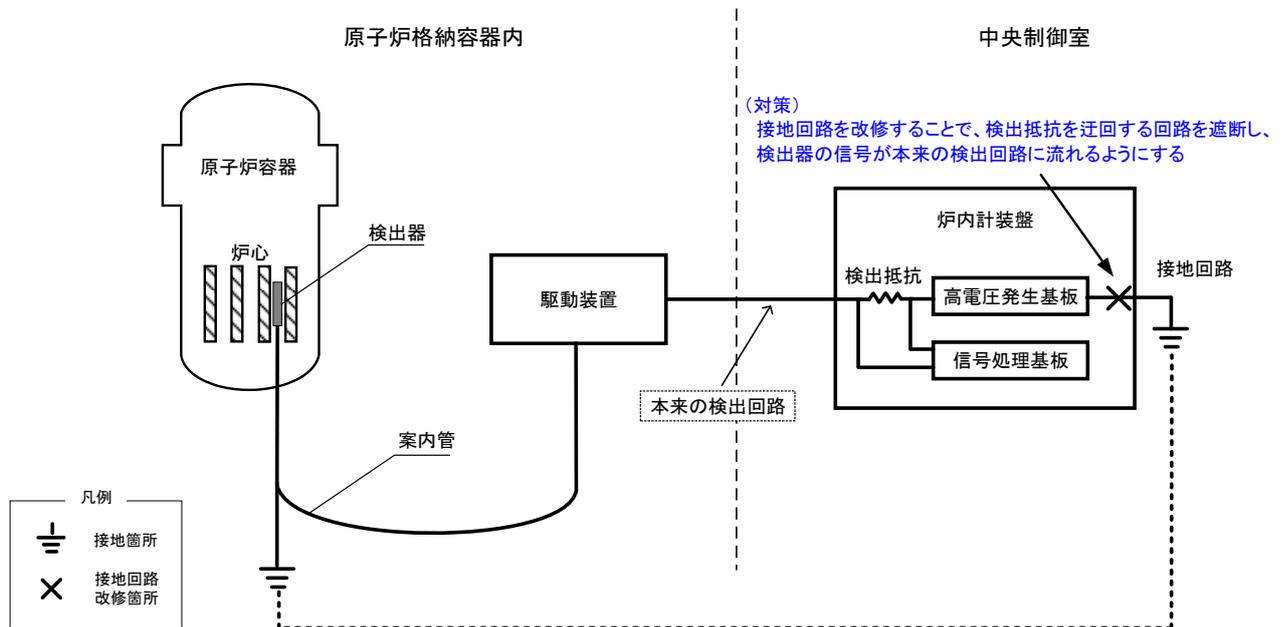
なお、メーカーはこれを受け、実装に向けた新規開発の検討を進めることとした。

以 上

添 付 資 料

- 添付資料－ 1 伊方発電所 3 号機 炉内核計装装置概略図
- 添付資料－ 2 伊方発電所 3 号機 炉内核計装装置の不具合発生
および復旧状況
- 添付資料－ 3 伊方発電所 3 号機 炉内核計装装置 装置仕様に関する図面
- 添付資料－ 4 伊方発電所 3 号機 炉内核計装装置 回路構成図
- 添付資料－ 5 伊方発電所 3 号機 炉内核計装装置 対策図
- 添付資料－ 6 伊方発電所 3 号機 炉内核計装装置の不具合 対策フロー図

伊方発電所 3号機 炉内核計装装置概略図



(事象発生時の状況)
 高電圧発生基板とその接地回路の構成が適切でなかったため、炉内計装盤の検出抵抗を迂回する形で接地回路が形成されていた
 そのため、検出器の信号が流れやすい接地回路に流れ、本来の検出回路で正常に測定できない状態となっていた

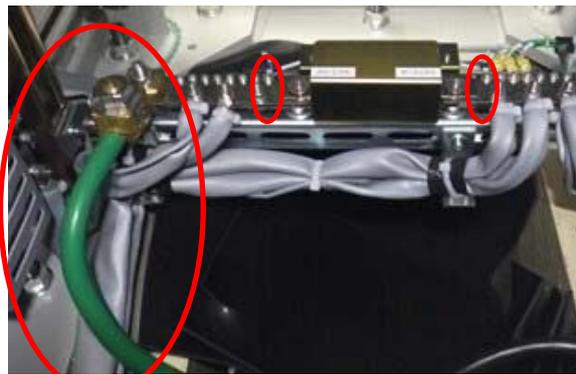
伊方発電所 3号機 炉内核計装装置の不具合発生および復旧状況



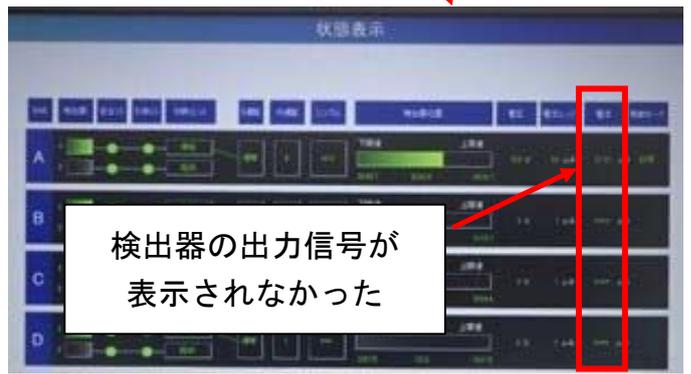
炉内核計装盤



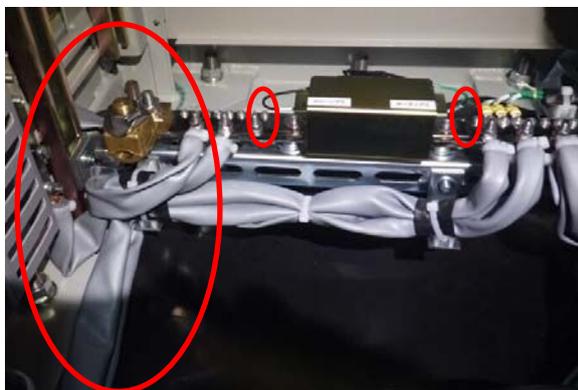
炉内核計装盤内部



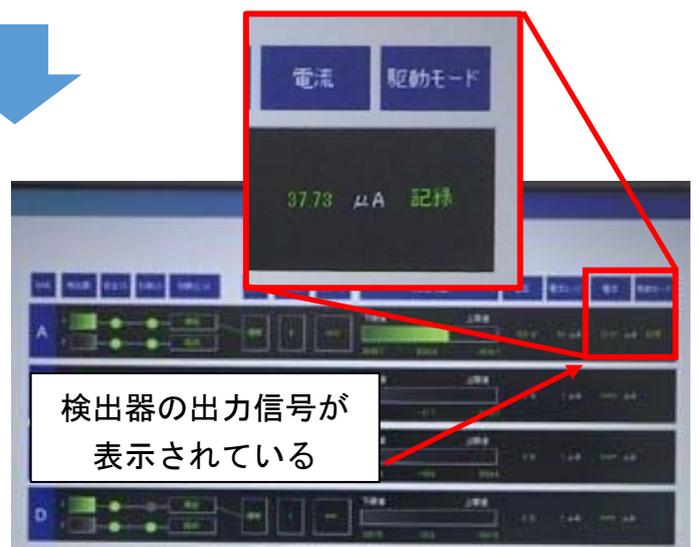
改修前の接地回路



改修前の炉内核計装装置の表示画面



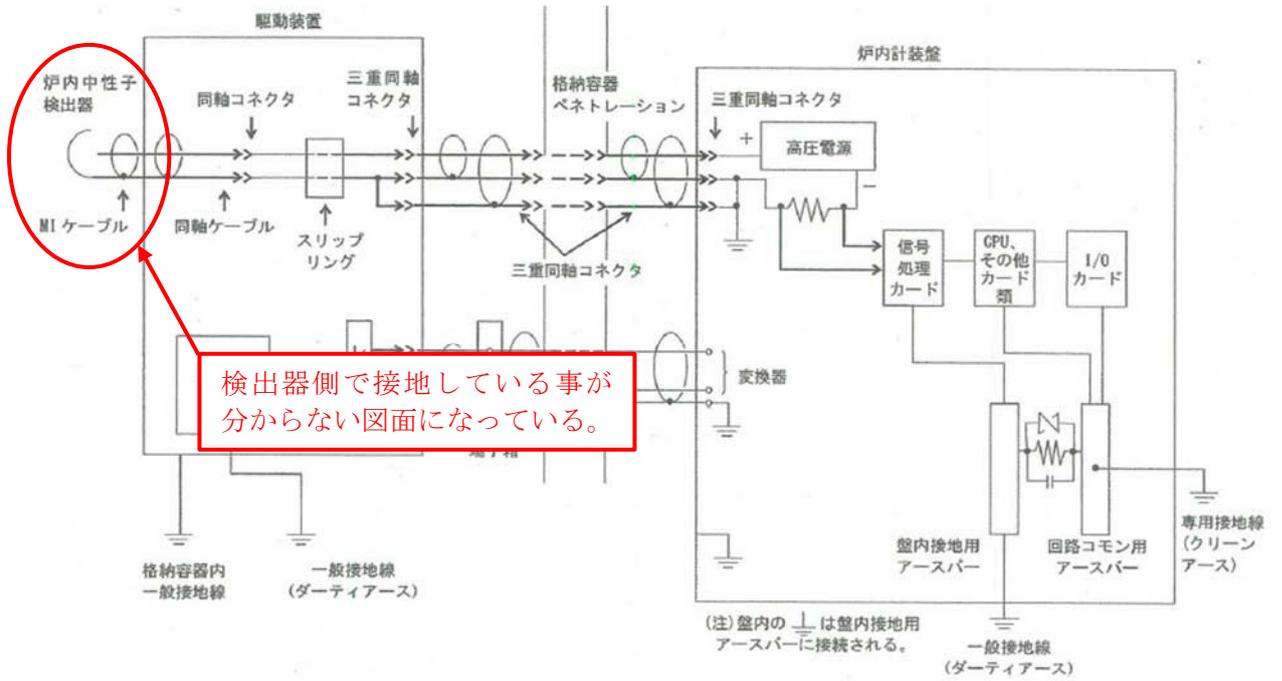
改修後の接地回路



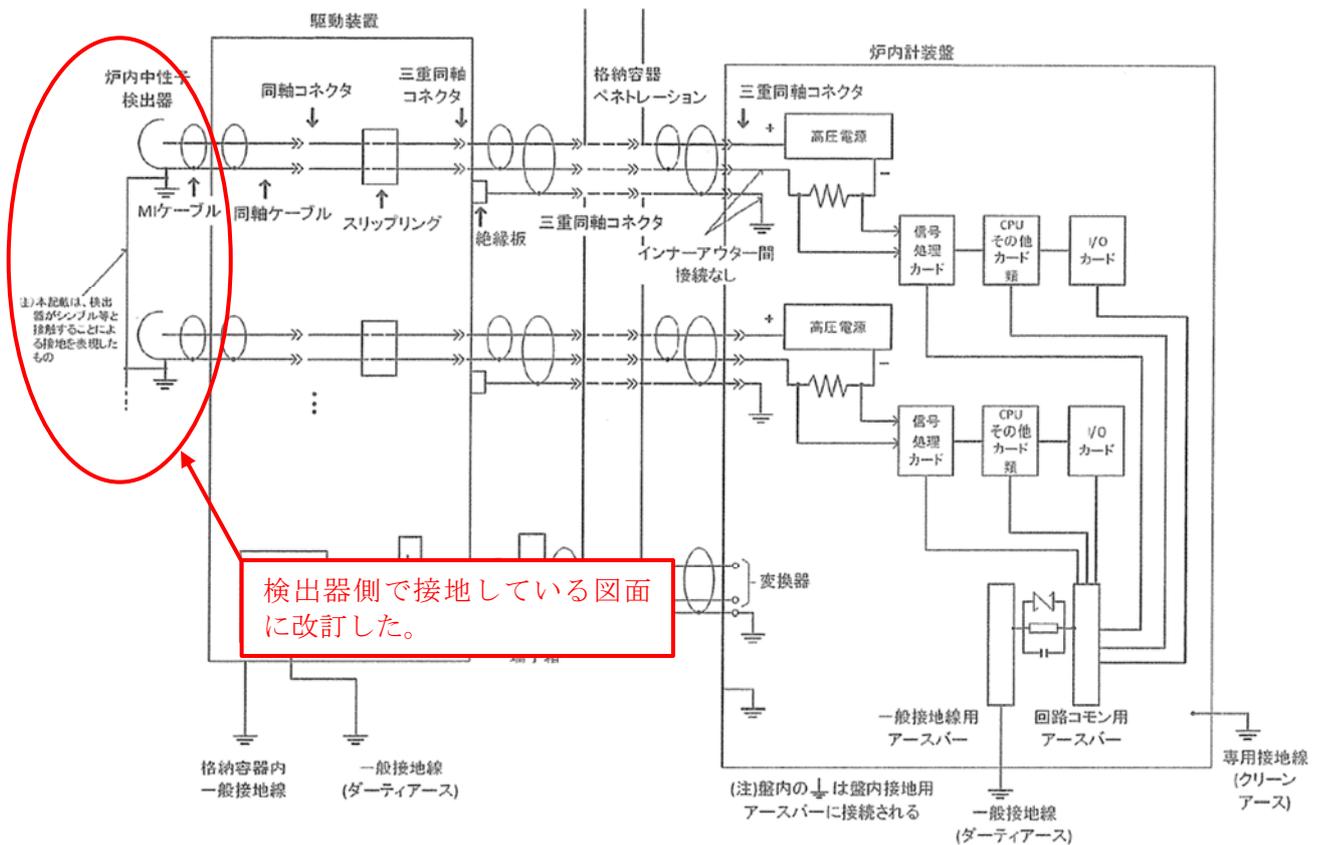
改修後の炉内核計装装置の表示画面

伊方発電所 3号機 炉内核計装装置 装置仕様に関する図面

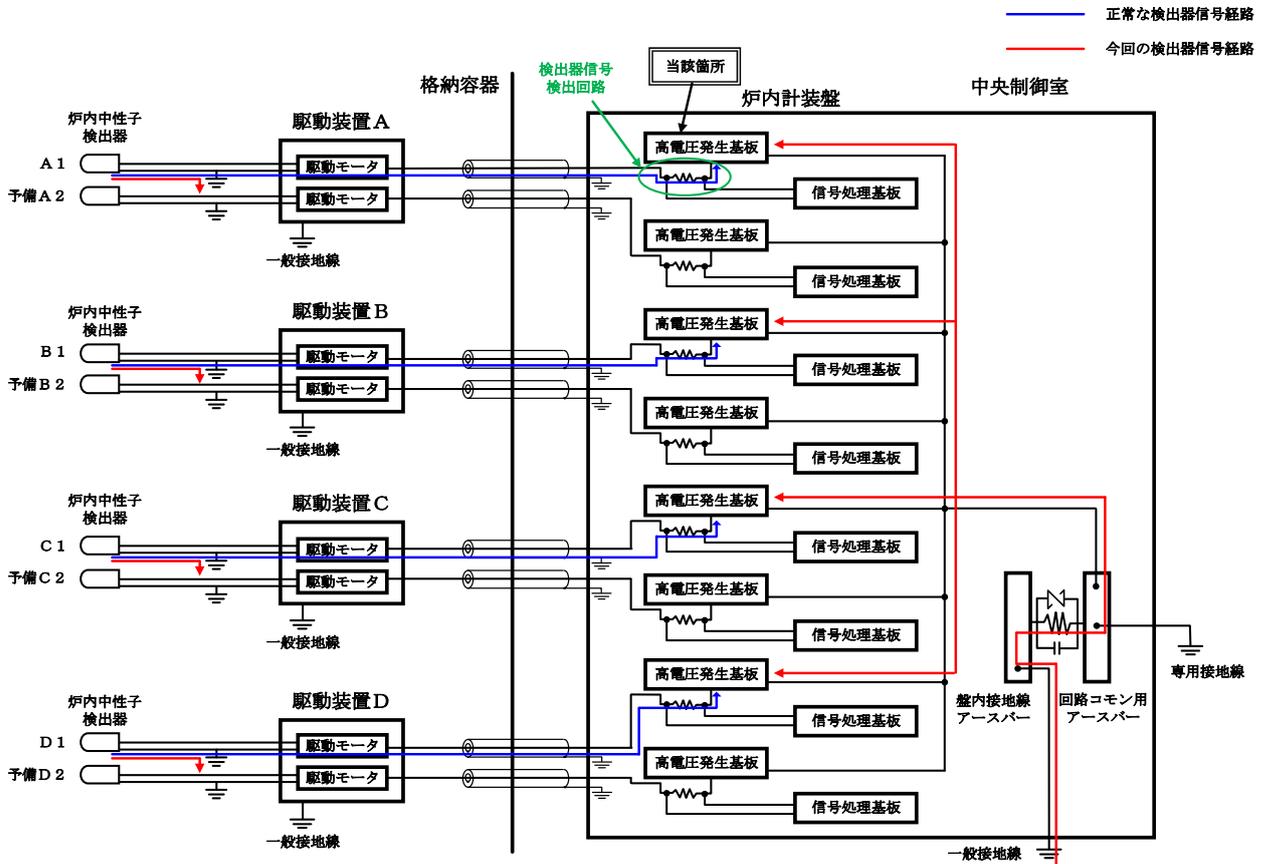
<改訂前>



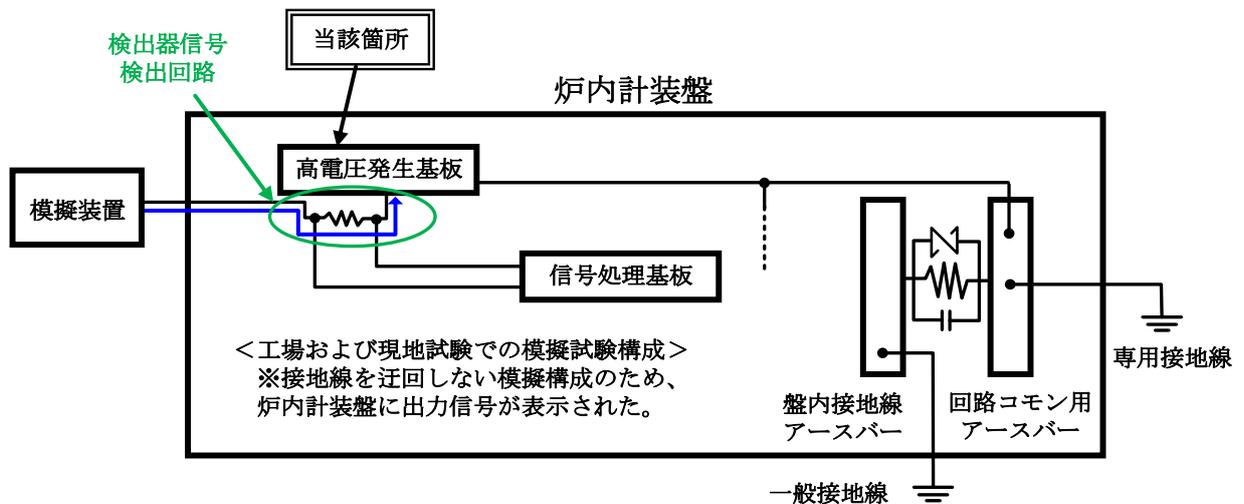
<改訂後>



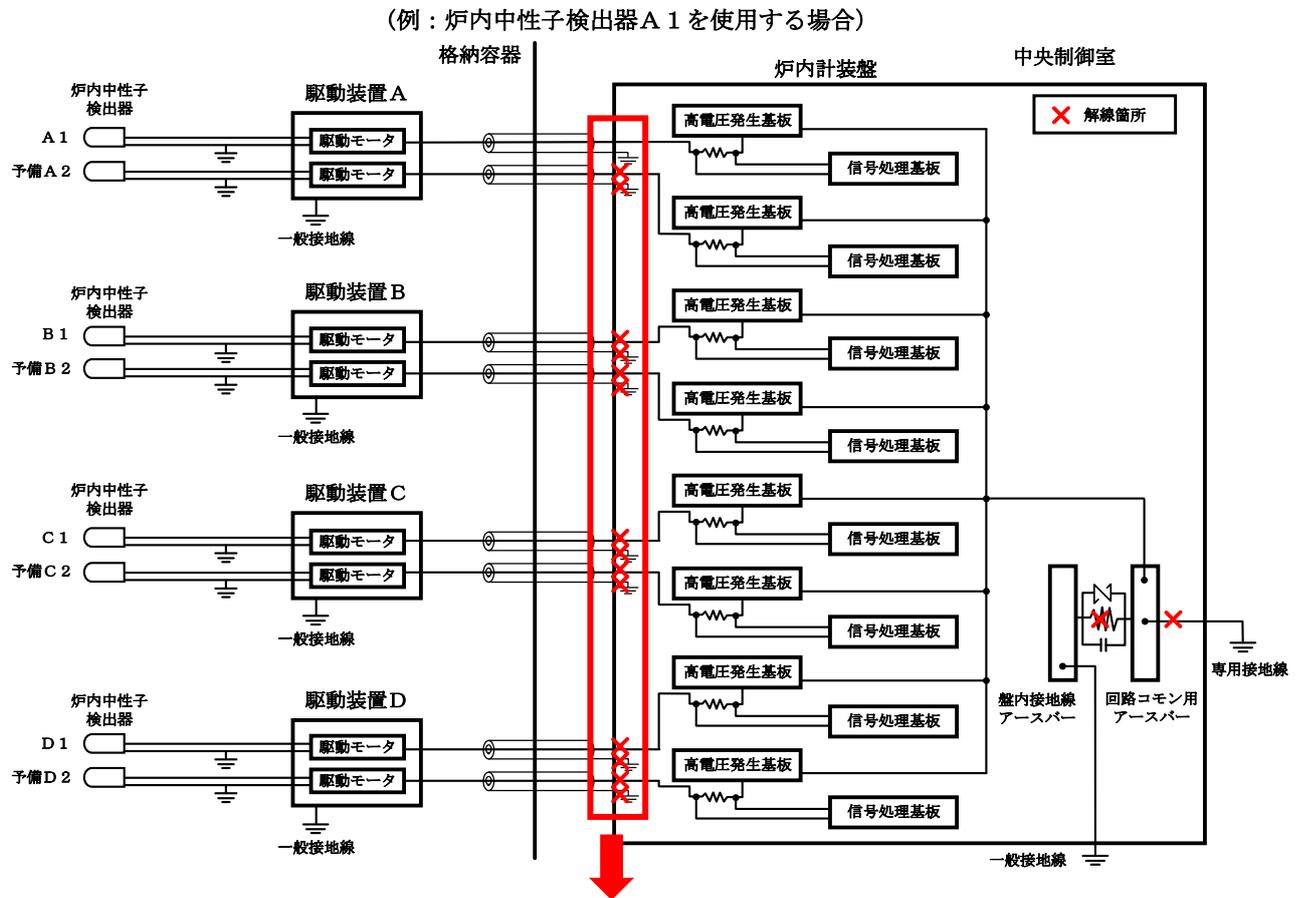
伊方発電所 3号機 炉内核計装装置 回路構成図



<工場試験/現地試験における試験構成>



伊方発電所 3号機 炉内核計装装置 対策図



伊方発電所 3号機 炉内核計装装置の不具合 対策フロー図

