

大飯発電所3、4号機の設置変更 に係る審査における主な論点

1. 加圧器逃がし弁の開操作の確実性
2. イグナイタの信頼性向上
3. 溶融炉心落下後における原子炉格納容器の閉
じ込め機能への影響

原子力規制委員会

1. 加圧器逃がし弁の開操作の確実性

規制委員会は、原子炉容器破損前までに 1 次冷却材圧力を 2.0MPa 以下に低減させるためには、加圧器逃がし弁の開操作を確実に行うことが重要である旨を指摘した。申請者は、加圧器逃がし弁の開操作失敗時の機能回復のために、全交流動力電源喪失に備えて窒素ボンベ（代替制御用空気供給用）、常設直流電源系喪失に備えて可搬型バッテリー（加圧器逃がし弁用）を新たに整備することを示した。さらに、加圧器逃がし弁の開操作をより確実なものとするため、炉心出口温度が 350℃になった場合には格納容器内高レンジエリアモニタ（低レンジ）及び格納容器内高レンジエリアモニタ（高レンジ）を常時監視する運転員を配置することを示した。

規制委員会は、申請者が加圧器逃がし弁の開操作のために必要な駆動源及び電源のバックアップを準備するとともに、炉心損傷のタイミングを確実に把握するため、炉心出口温度及び格納容器内放射線量率の変化傾向を踏まえた監視強化等を行う方針としていることから、加圧器逃がし弁による開操作が遅れることなく実施できると判断した。

加圧器逃がし弁に要求される手動開閉機能

<11月29日審査会合でのコメント>

○加圧器逃がし弁開操作による1次冷却系強制減圧を確実に実施するための対応について説明すること。

加圧器逃がし弁に要求される手動開閉機能について、設計基準事故及び重大事故等時の機能要求の観点から整理した。

	加圧器逃がし弁に要求される手動開閉機能	大飯3,4号機における設計								
設計基準事故	蒸気発生器伝熱管破損時の1次系減圧（手動開閉）	加圧器逃がし弁1台の容量（ t/h）で蒸気発生器伝熱管破損時の1次系減圧（手動開閉）が適切に実施できることを安全評価指針に基づき確認している。								
重大事故等	重大事故等のうち、加圧器逃がし弁に期待する以下の事象発生時に、炉心損傷や格納容器破損を防止できること。 <table><tr><th>事象</th><th>必要な機能</th></tr><tr><td>2次冷却系からの除熱機能喪失</td><td>フィードアンドブリード</td></tr><tr><td>格納容器バイパス</td><td rowspan="3">1次冷却系強制減圧</td></tr><tr><td>格納容器過温破損</td></tr><tr><td>高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱 (以下、「HPME／DCH」という。)</td></tr></table>	事象	必要な機能	2次冷却系からの除熱機能喪失	フィードアンドブリード	格納容器バイパス	1次冷却系強制減圧	格納容器過温破損	高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱 (以下、「HPME／DCH」という。)	・左記の事象について、加圧器逃がし弁（ t/h、2台）の機能に期待した評価を実施し、炉心損傷や格納容器破損を防止できることを確認している。 ・このうち、HPME／DCH時の1次冷却系強制減圧については、原子炉容器破損時点の1次冷却材圧力を評価した結果は、申請書ベースケースで約1.8MPa[gage]となっており、3ループプラントと比較して、設置許可基準規則に規定される判断基準2.0MPaに近い値になっている。この点について、操作開始時間や設備条件、解析コードにおける重要現象の不確かさの影響を確認している。 (次ページ以降に詳細を示す。)
事象	必要な機能									
2次冷却系からの除熱機能喪失	フィードアンドブリード									
格納容器バイパス	1次冷却系強制減圧									
格納容器過温破損										
高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱 (以下、「HPME／DCH」という。)										

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

炉心損傷判断を確実に実施するための対応

加圧器逃がし弁による1次冷却系強制減圧操作を開始する基準である炉心損傷判断を確実に実施するため、以下のとおり、炉心損傷兆候の監視強化を行う。

【炉心損傷兆候の監視強化】

改善前	改善後
①監視強化開始基準：なし SBO+2次冷却系除熱機能喪失時に、炉心損傷判断の可能性を意識し、パラメータの監視を行うが、手順書に明確な監視強化の開始基準がなかった。 ②監視パラメータ ・炉心出口温度 ・C/V内高レンジエリアモニタ（高レンジ）	①監視強化開始基準：【新たに設定（SBO+2次冷却系除熱機能喪失時）】 ・炉心出口温度350℃以上 - または ・C/V内高レンジエリアモニタ（低レンジ）の指示上昇 ②監視強化中の監視パラメータ ・炉心出口温度 ・C/V内高レンジエリアモニタ（高レンジ） ・C/V内高レンジエリアモニタ（低レンジ）【追加設定】



上記の監視強化開始基準及び監視強化中の監視パラメータを、事故時の運転手順書に追記する。

炉心損傷兆候の監視強化による効果について

改善の内容

①監視強化開始基準の明確化

具体的な監視強化開始基準として、

a. 炉心出口温度 (350℃以上)

または、

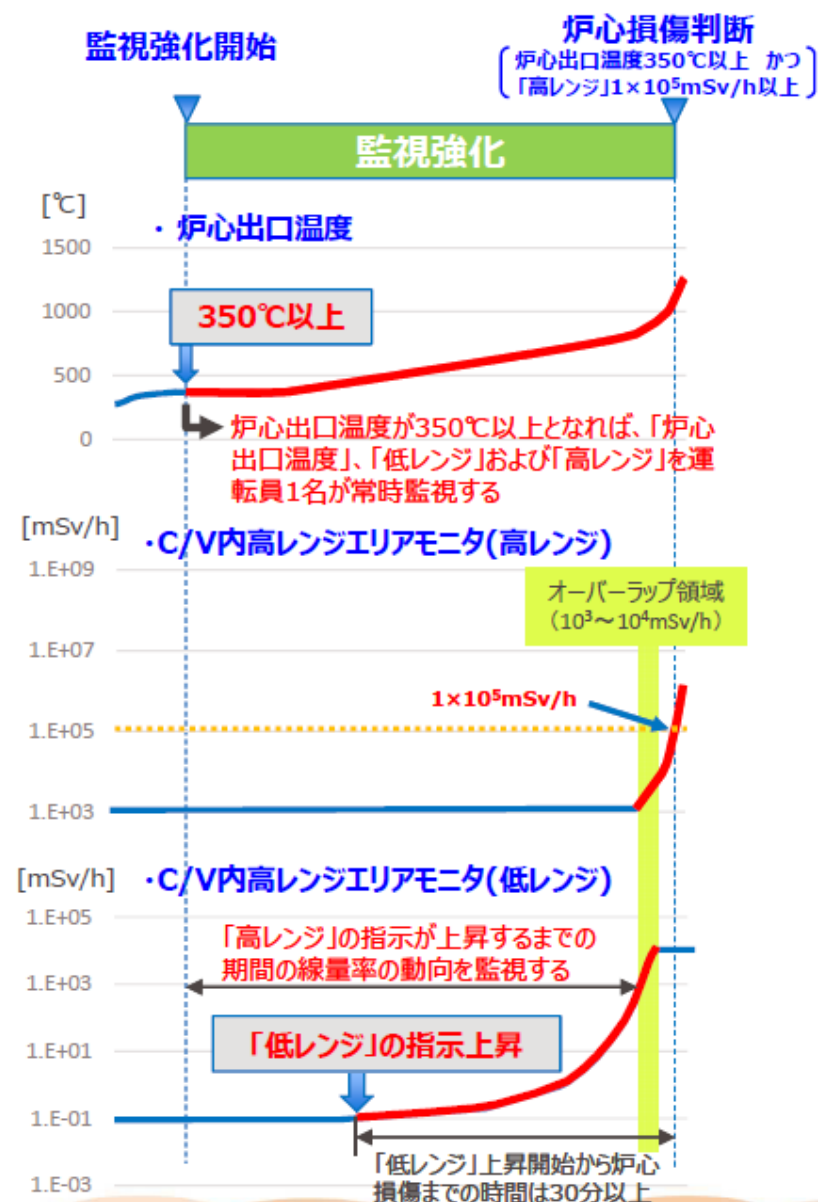
b. C/V内高レンジエリアモニタ (低レンジ) 指示上昇を定める。

②監視強化中の監視パラメータの充実

- ・炉心出口温度
- ・C/V内高レンジエリアモニタ (高レンジ)
- ・C/V内高レンジエリアモニタ (低レンジ) 【追加】

改善の効果

炉心損傷の兆候段階から、炉心損傷への進展状況が把握でき、炉心損傷判断の確実性が向上する。



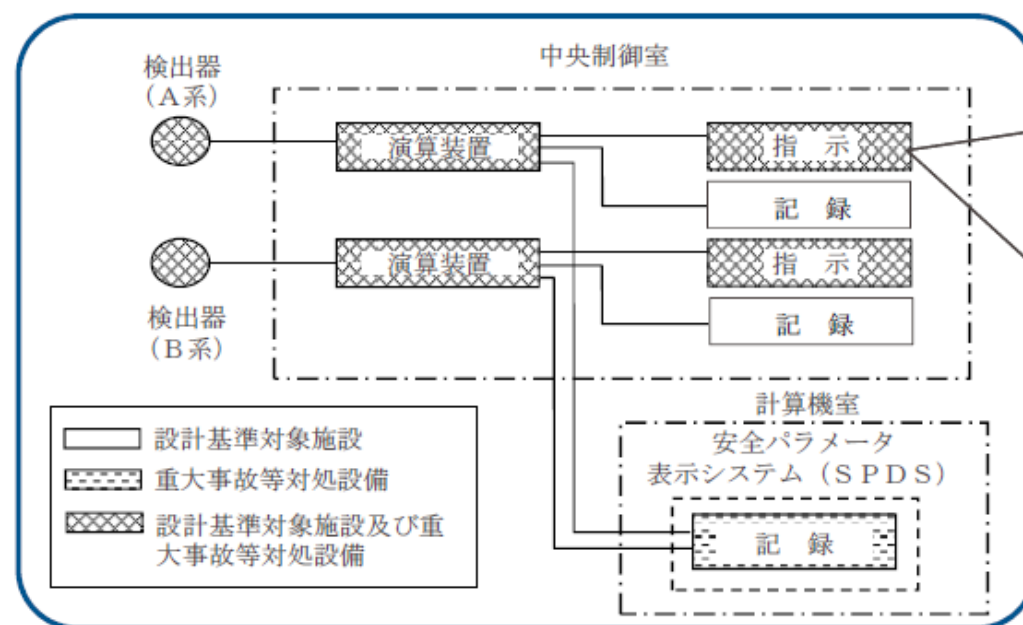
【炉心損傷事象時のパラメータ挙動イメージ】

C/V内高レンジエリアモニタ（低レンジ）の信頼性について

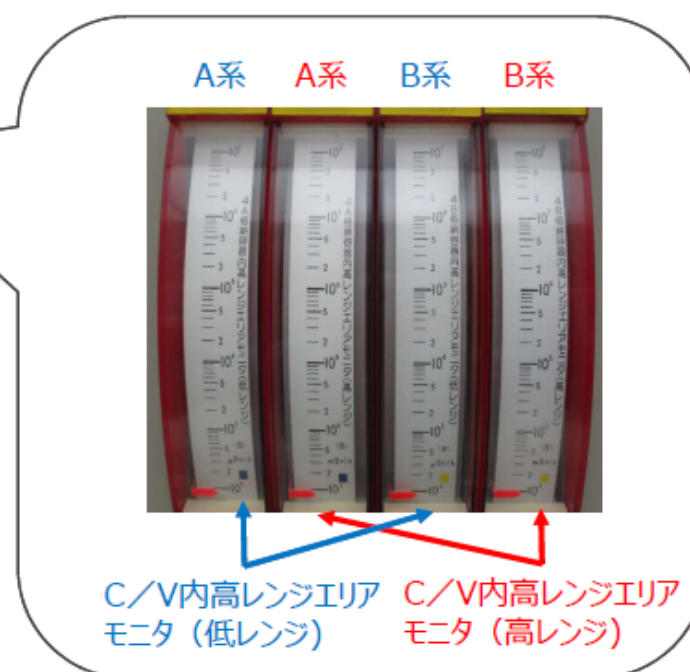
参考

C/V内高レンジエリアモニタ(低レンジ)は、C/V内高レンジエリアモニタ(高レンジ)と同様に設計基準対象施設及び重大事故等対処設備であり、耐震性(Sクラス)、耐環境性(PAM仕様)を有しており、安全系電源から給電できる設計としている。

	計測範囲	耐環境性	多重性	耐震性	電源	主な用途
C/V内高レンジエリアモニタ（低レンジ）	$10^2 \sim 10^7$ $\mu\text{Sv/h}$	PAM仕様	2ch	Sクラス	安全系電源	炉心損傷兆候の把握
C/V内高レンジエリアモニタ（高レンジ）	$10^3 \sim 10^8$ mSv/h	同 上	同 上	同 上	同 上	炉心損傷の判断



C/V内高レンジエリアモニタ（低レンジ）概略構成図
（C/V内高レンジエリアモニタ（高レンジ）も同様）



2. イグナイタの信頼性向上

申請者は、MCCI に伴って発生する水素量の不確かさを考慮した場合、PAR のみではドライ条件に換算した原子炉格納容器内水素濃度を 13vol%以下に水素量の低減ができないことから、PAR に加えてイグナイタを追加するとしている。

これに対して、規制委員会は、イグナイタによる水素処理について信頼性向上を求めた。申請者は、イグナイタが 2 系統の電源系統から給電できる構成とし、2 系統の電源設備はそれぞれ異なる区画に設置することで互いに位置的分散を図り、独立した設計とすることを示した。また、電気ペネトレーションは互いに位置的分散を図り、独立した設計とすることを示した。さらに、2 系統からのケーブル接続を原子炉格納容器外とすることにより、一層の信頼性の向上を図るとともに、万一の故障時のメンテナンス性に配慮する設計とすることを示した。

規制委員会は、イグナイタの電源設備の信頼性を一層向上させた設計としたことで、イグナイタによる水素処理がより確実に実施されると判断した。

イグナイタ電源設備の信頼性向上対策について（1 / 4）

<11月29日審査会合でのコメント>

○イグナイタの信頼性向上対策について、多重性、位置的分散及び独立性を考慮して再度説明すること

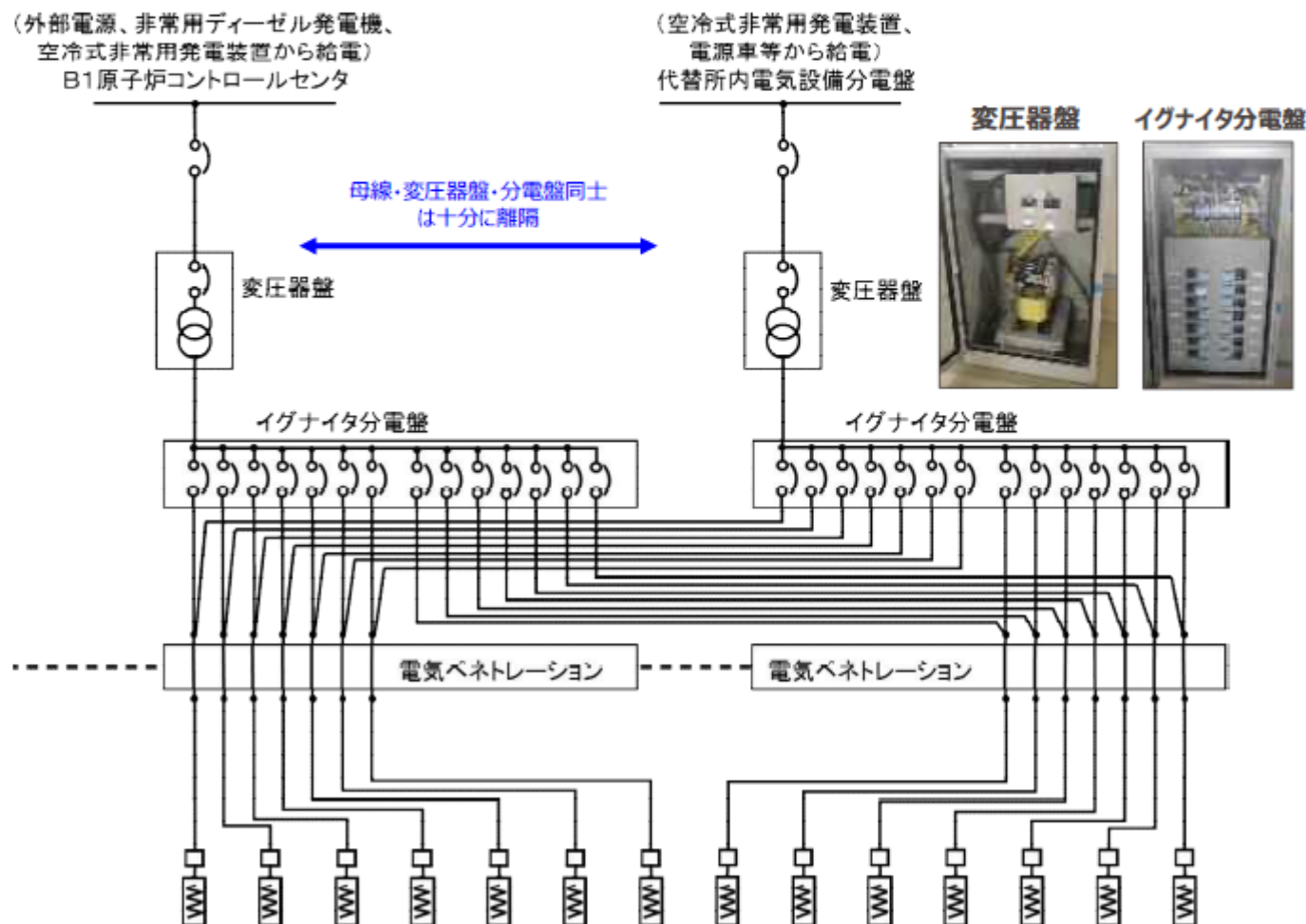
電気ペネトレーションの故障も含め、全イグナイタの機能が喪失しないよう、位置的分散を図る系統構成とする。

<設計方針>

- 電源からイグナイタ本体まで、単一故障を想定しても、共通要因又は従属要因によって同時に機能が損なわれないように、多重性、独立性、位置的分散を考慮した設計とする。

<具体的設計>

- 電源は原子炉コントロールセンタからの給電系統とは別に、代替所内電気設備からも給電できる構成。
- 多重性を有する電源、変圧器、分電盤に加え、電路（電気ペネトレーション含む）の位置的分散を図ることにより、イグナイタ全数が機能喪失しない構成。
- 2系統からのケーブル接続を、原子炉格納容器外とすることにより、万一の故障時のメンテナンス性を確保。

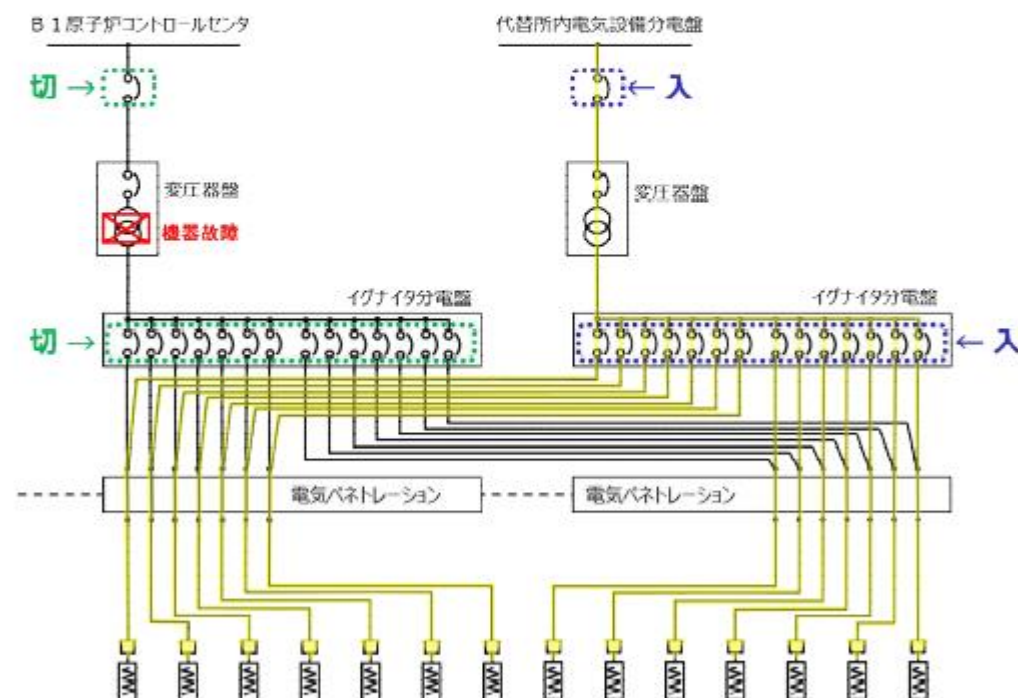


イグナイタ電源設備の信頼性向上対策について（2 / 4）

○単体故障を想定した場合の信頼性

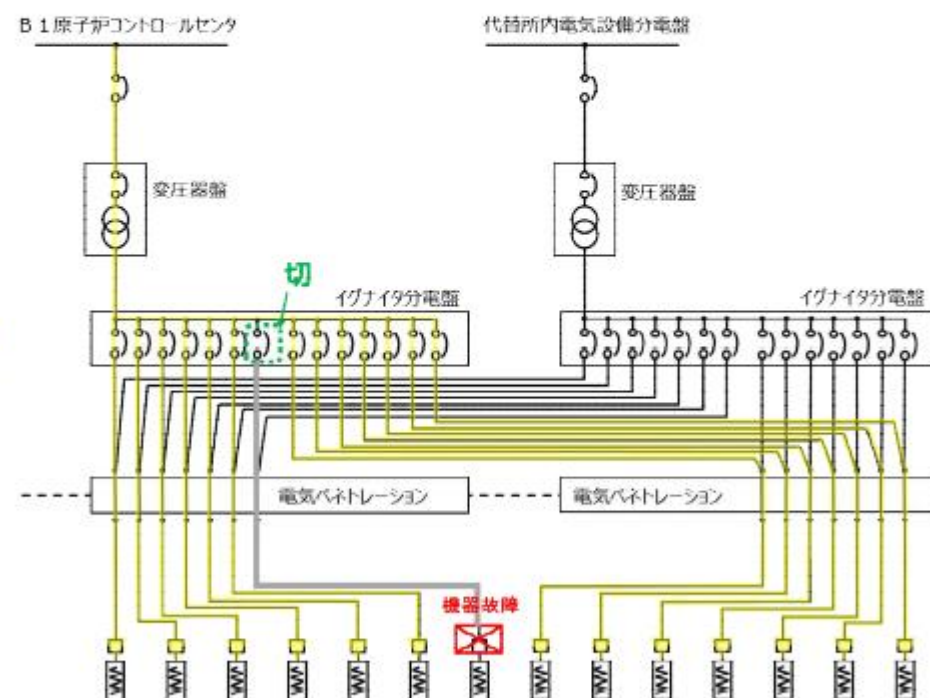
【イグナイタ分電盤から上流側で発生した場合】

ブレーカーを切り替えることにより、代替所内電気設備からの給電が可能



【イグナイタ分電盤から下流側で発生した場合】

分電盤において当該イグナイタのブレーカーを「切」とすることで、系統からの隔離が可能



電源からイグナイタ本体まで、どの部位の単一故障を想定した場合であっても、イグナイタが機能喪失することはない。

イグナイト電源設備の信頼性向上対策について（3 / 4）

○電路一体故障を想定した場合の信頼性

<故障想定>

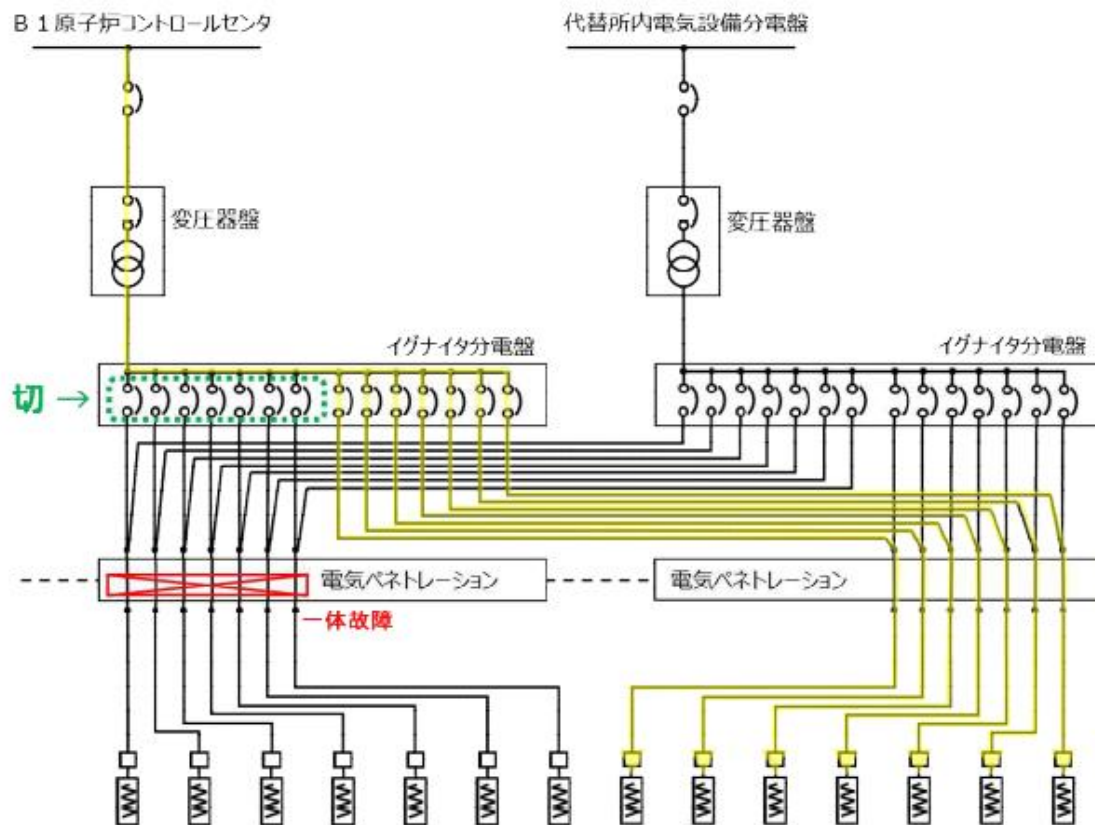
- 電路に想定される故障モードは、ケーブル単体の断線、地絡・短絡であり、一体の故障は考えにくいものの、信頼性向上対策を検討する目的から、一体故障を想定。

(具体例)

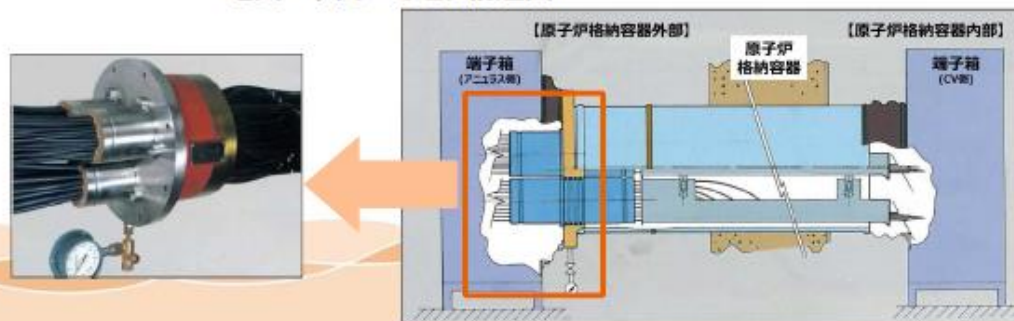
イグニタ分電盤から電気ペネトレーションの区間での事故環境下における絶縁性能低下による地絡・短絡、なんらかの外力による破損に伴う断線を想定



- 片側の電路での断線、地絡・短絡を想定した場合でも、他方の電路は継続して使用できるため、イグニタ全数が機能喪失することはない。
- 2系統からのケーブル接続箇所は、原子炉格納容器外であることから、万一の故障時にも補修できる。

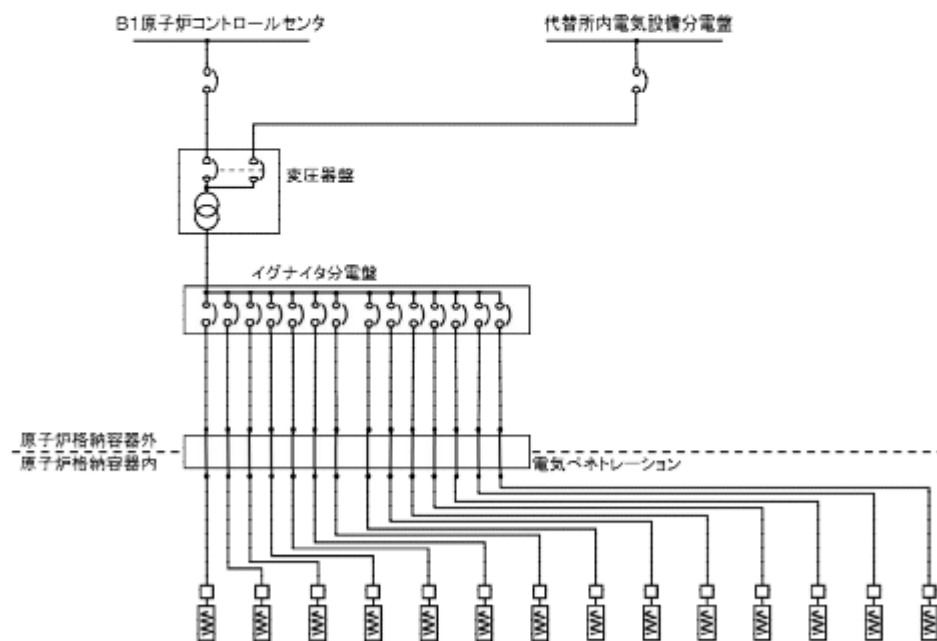


電気ペネトレーション構造図



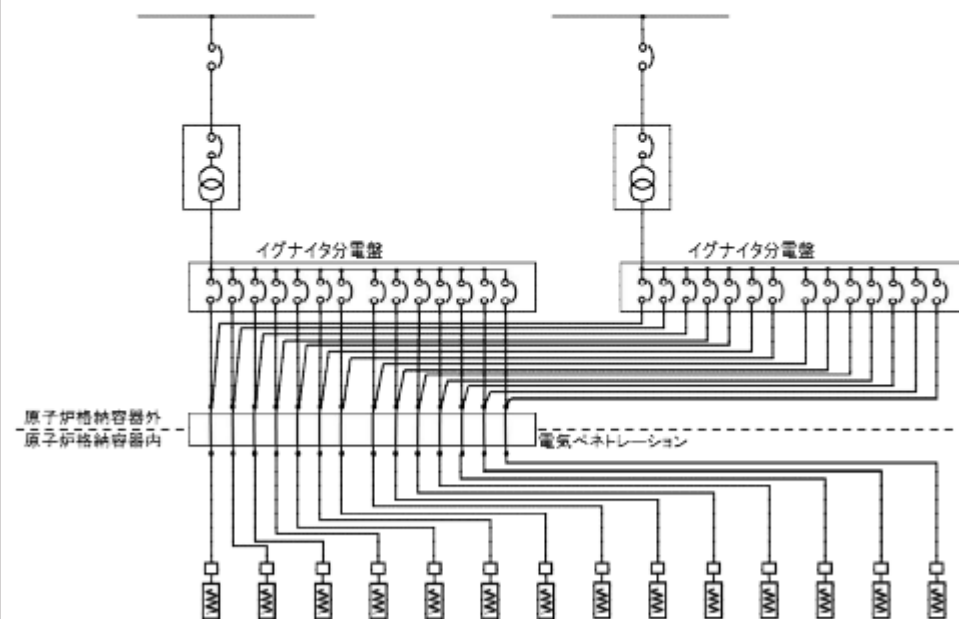
イグナイタ電源設備の信頼性向上対策について（参考）

電源の独立性（平成28年5月申請）



電源設備多重化（平成28年11月申請）

H28.11.29
審査会合時



3. 溶融炉心落下後における原子炉格納容器の閉じ込め機能への影響

PCCV は、構造強度を確保する鉄筋コンクリート部と気密性を確保する鋼製ライナプレートから構成されている。PCCV の原子炉下部キャビティ室では、底面ライナプレートはコンクリートで覆われているが、側面ライナプレートは露出している。

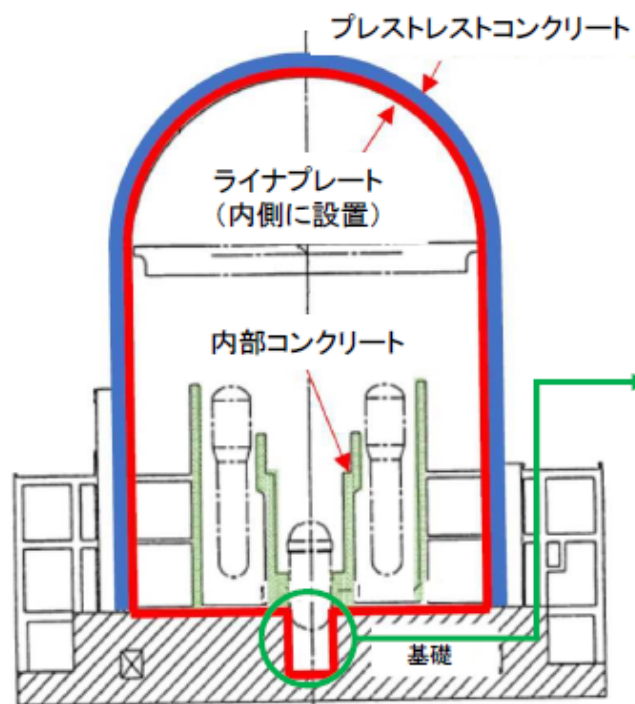
このため、規制委員会は、溶融炉心が原子炉下部キャビティ室内に落下した際に側面ライナプレートに接触する可能性があることから、原子炉格納容器の閉じ込め機能への影響について詳細な説明を求めた。申請者は、原子炉下部キャビティ室に溶融炉心が落下し、側面ライナプレートに接触して破損した場合でも、基礎コンクリート及び基礎コンクリートと鋼材との付着力を考慮すれば連続した隙間が生じることは考え難く、また、外部環境まで到達するような長大な割れが生じることは考え難いこと、仮にリークパスを想定した場合でも、原子炉格納容器からの漏えいは、格納容器破損モード「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」における Cs-137 放出量評価で設定した原子炉格納容器漏えい率（0.16%/日）に対して十分小さいことを示した。

規制委員会は、原子炉下部キャビティ室内に落下した溶融炉心が側面ライナプレートに接触したとしても、原子炉格納容器外に通じる貫通リークパスが生じる可能性は小さく、仮に貫通リークパスを想定したとしても、外部への漏えいは有効性評価で設定している漏えい率に対して十分小さいことから、原子炉格納容器の閉じ込め機能は確保されると判断した。

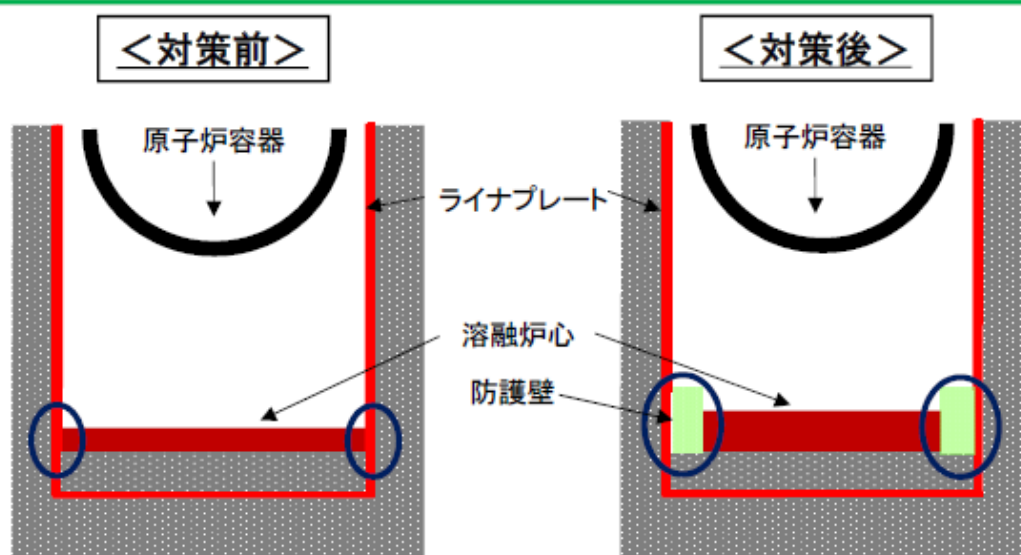
なお、申請者は、さらなる安全性向上対策として、自主的に原子炉下部キャビティ室内に防護壁を設置し、原子炉下部キャビティ側面ライナプレートと溶融炉心の接触を防止するとしている。

① 原子炉下部キャビティ室への溶融炉心落下後における格納容器の閉じ込め機能について

- PCCVの原子炉下部キャビティ側面ライナプレートは、溶融炉心が水中に落下し拡がることにより破損するおそれがあるものの、ライナが破損した場合においても、コンクリートとライナプレートの密着性、外部環境までの到達距離を考慮すると、放射性ガスが外部環境へ放出されることは考え難い。
- さらなる安全性向上の観点から自主的に原子炉下部キャビティ室内に「防護壁」を設置し、側面ライナプレートを覆うことで溶融炉心がライナプレートに接触しない構造とする。
(平成27年7月14日、8月20日の審査会合にてご説明。)



プレストレストコンクリート製格納容器(PCCV)
(大飯3, 4号炉)



対策前は、溶融炉心が側面ライナプレートに接触する可能性があった。

対策後は、**防護壁の設置**により、**側面ライナプレートに溶融炉心が接触しない構造**となる。