

5.4 反応度の誤投入

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>5.4 反応度の誤投入</p> <p>5.4.1 事故シーケンスグループの特徴、燃料損傷防止対策</p> <p>(1) 事故シーケンスグループ内の事故シーケンス</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、燃料損傷防止対策の有効性を確認する事故シーケンスは、「1.2 評価対象の整理及び評価項目の設定」に示すとおり、「反応度の誤投入」である。</p> <p>(2) 事故シーケンスグループの特徴及び燃料損傷防止対策の基本的考え方</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」では、運転停止中に制御棒の誤引き抜き等によって、燃料に反応度が投入されることを想定する。このため、緩和措置がとられない場合には原子炉は臨界に達し、急激な反応度投入に伴う出力上昇により燃料損傷に至る。</p> <p>本事故シーケンスグループは、反応度の誤投入により、原子炉が臨界に達することによって、燃料損傷に至る事故シーケンスグループである。このため、運転停止中の原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価には、安全保護機能及び原子炉停止機能に対する設備に期待することが考えられる。</p> <p>したがって、本事故シーケンスグループでは、異常な反応度の投入に対して制御棒引き抜きの制限及びスクラムによる負の反応度の投入により、未臨界を確保し、燃料損傷の防止を図る。</p> <p>(3) 燃料損傷防止対策</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」に対しては、燃料が著しい損傷に至ることなく、かつ、十分な冷却を可能とするため、制御棒引抜阻止機能により制御棒の引き抜きを阻止し、出力の異常上昇を未然に防止するとともに、原子炉停止機能により原子炉をスクラムし、未臨界とする。対応手順の概要を図 5.4.1 に示すとともに、重大事故等対策の概要を以下に示す。また、重大事故等対策における設備と操作手順の関係を表 5.4.1 に示す。</p> <p>本事故シーケンスにおいては、重大事故等対策はすべて自動で作動するため、対応に必要な要員は不要である。</p> <p>なお、スクラム動作後の原子炉の状態確認において、中央制御室の運転員 1 名で実施可能である。</p> <p>a. 誤操作による反応度誤投入</p> <p>運転停止中に制御棒の誤引き抜き等によって、燃料に反応度が投入されることにより、臨界に達する。</p> <p>原子炉の臨界を確認するために必要な計装設備は、起動領域モニタである。</p> <p>b. 反応度誤投入後のスクラム</p> <p>制御棒の誤操作による反応度の投入により、原子炉周期短（原子炉周期 20 秒）信号が発生し、</p>	<p>5.4 反応度の誤投入</p> <p>5.4.1 事故シーケンスグループの特徴、燃料損傷防止対策</p> <p>(1) 事故シーケンスグループ内の事故シーケンス</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、燃料損傷防止対策の有効性を確認する事故シーケンスは、「1.2 評価対象の整理及び評価項目の設定」に示すとおり、「反応度の誤投入」である。</p> <p>(2) 事故シーケンスグループの特徴及び燃料損傷防止対策の基本的考え方</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」では、運転停止中に制御棒の誤引き抜き等によって、燃料に反応度が投入されることを想定する。このため、緩和措置がとられない場合には原子炉は臨界に達し、急激な反応度投入に伴う出力上昇により燃料損傷に至る。</p> <p>本事故シーケンスグループは、反応度の誤投入により、原子炉が臨界に達することによって、燃料損傷に至る事故シーケンスグループである。このため、運転停止中の原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価には、原子炉停止機能に対する設備に期待することが考えられる。</p> <p>したがって、本事故シーケンスグループでは、異常な反応度の投入に対して制御棒の引き抜きの制限及びスクラムによる負の反応度の投入により、未臨界を確保し、燃料損傷の防止を図る。</p> <p>(3) 燃料損傷防止対策</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」に対しては、燃料が著しい損傷に至ることなく、かつ、十分な冷却を可能とするため、制御棒引抜阻止機能により制御棒引き抜きを阻止し、出力の異常上昇を未然に防止するとともに、原子炉停止機能により原子炉をスクラムし、未臨界とする。対応手順の概要を第 5.4-1 図に示すとともに、重大事故等対策の概要を以下に示す。また、重大事故等対策における設備と操作手順の関係を第 5.4-1 表に示す。</p> <p>本事故シーケンスにおいては、重大事故等対策は全て自動で作動するため、中央制御室の運転員による確認のみであり、対応操作の要員は不要である。</p> <p>なお、スクラム動作後の原子炉の状態確認については、中央制御室の運転員 1 名で実施可能である。</p> <p>a. CR-2*の「連続引き抜き」（誤操作による反応度誤投入）</p> <p>運転停止中に制御棒の誤引き抜き等によって、燃料に反応度が投入されることにより、臨界に達する。</p> <p>原子炉の臨界を確認するために必要な計装設備は、起動領域計装である。</p> <p>※：CR-2：最大反応度値制御棒（CR-1）の対角隣接の制御棒</p> <p>b. 反応度誤投入後の原子炉スクラムの確認</p> <p>制御棒の誤引き抜きによる反応度の投入により、原子炉出力ペリオド短（10 秒）信号が発生</p>	<p>・東海第二では、原子炉出力ペリオド短（20 秒）に期待しない厳しい条件としている</p>

5.4 反応度の誤投入

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違等（実質的な相違なし）  
 黄色ハッチ：ヒアリングコメント対応

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>制御棒の引き抜きは阻止される。さらに、原子炉周期短（原子炉周期 10 秒）信号が発生し、原子炉はスクラムする。制御棒が全挿入し、原子炉は未臨界状態となる。</p> <p>原子炉のスクラムを確認するために必要な計装設備は、起動領域<b>モニタ</b>である。</p> <p>5.4.2 燃料損傷防止対策の有効性評価</p> <p>(1) 有効性評価の方法</p> <p>本事故シーケンスグループを評価する上で選定した重要事故シーケンスは、「1.2 評価対象の整理及び評価項目の設定」に示すとおり、「停止中に実施される試験等により、最大反応度価値を有する制御棒 1 本が全引き抜きされている状態から、他の 1 本の制御棒が操作量の制限を超える誤った操作によって引き抜かれ、臨界近接を認知できずに臨界に至る事故」である。</p> <p>運転停止中の原子炉においては、不用意な臨界の発生を防止するため、停止余裕（最大反応度価値を有する<b>同一水圧制御ユニットに属する 1 組又は</b>1 本の制御棒が引き抜かれても炉心を未臨界に維持できること）を確保できるように燃料を配置するとともに、通常は原子炉モードスイッチを燃料交換位置として、<b>同一水圧制御ユニットに属する 1 組又は</b>1 本を超える制御棒の引き抜きを防止するインターロックを維持した状態で必要な制御棒の操作が実施される。</p> <p>しかしながら、運転停止中の原子炉においても、検査等の実施に伴い原子炉モードスイッチを起動位置として複数の制御棒の引き抜きを実施する場合がある。このような場合、制御棒の引き抜きは原則として<b>ノッチ又はステップ</b>操作とし、中性子束の監視を行いながら実施している。</p> <p>本重要事故シーケンスでは、誤操作によって<b>過剰な制御棒の引き抜きが行なわれる</b>ことにより臨界に至る反応度が投入されるため、炉心における核分裂出力、出力分布変化、反応度フィードバック効果、制御棒反応度効果、燃料棒内温度変化、燃料棒表面熱伝達、沸騰遷移が重要現象となる。</p> <p>よって、この現象を適切に評価することが可能である反応度投入事象解析コード APEX により炉心平均中性子束の過渡応答を求める。</p> <p>また、解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価の範囲として、本重要事故シーケンスにおける評価項目となるパラメータに与える影響を評価する。</p> <p>さらに、解析コード及び解析条件の不確かさのうち、評価項目となるパラメータに与える影響があるものについては、「5.4.3(3) 感度解析」において、それらの不確かさの重畳を考慮した影響評価を実施する。</p> <p>(2) 有効性評価の条件</p> <p>本重要事故シーケンスに対する初期条件も含めた主要な解析条件を表 5.4.2 に示す。また、主要な解析条件について、本重要事故シーケンス特有の解析条件を以下に示す。</p> <p>a. 初期条件</p> <p>(a) 炉心状態</p> <p>燃料交換後における余剰反応度の大きな炉心での事象発生を想定して、評価する炉心状態は、</p>	<p>することで原子炉はスクラムし、制御棒が全挿入となり、原子炉は未臨界状態となる。</p> <p>原子炉のスクラムを確認するために必要な計装設備は、起動領域<b>計装</b>である。</p> <p>5.4.2 燃料損傷防止対策の有効性評価</p> <p>(1) 有効性評価の方法</p> <p>本事故シーケンスグループを評価する上で選定した重要事故シーケンスは、「1.2 評価対象の整理及び評価項目の設定」に示すとおり、「停止中に実施される試験等により、最大反応度価値を有する制御棒 1 本が全引き抜きされている状態から、他の 1 本の制御棒が操作量の制限を超える誤った操作によって引き抜かれ、臨界近接を認知できずに臨界に至る事象」である。</p> <p>運転停止中の原子炉においては、不用意な臨界の発生を防止するため、停止余裕（最大反応度価値を有する 1 本の制御棒が引き抜かれても炉心を未臨界に維持できること）を確保できるように燃料を配置するとともに、通常は原子炉モード・スイッチを「燃料交換」位置として、1 本を超える制御棒の引き抜きを防止するインターロックを維持した状態で必要な制御棒の操作が実施される。</p> <p>しかしながら、運転停止中の原子炉においても、検査等の実施に伴い、原子炉モード・スイッチを「起動」位置として複数の制御棒の引き抜きを実施する場合がある。このような場合、制御棒の引き抜きは原則として <b>1 ノッチずつ</b>操作を行い、<b>起動領域計装</b>により中性子束の監視を行いながら実施している。</p> <p>本重要事故シーケンスでは、誤操作によって<b>制御棒が過剰に引き抜かれる</b>ことにより臨界に至る反応度が投入されるため、炉心における核分裂出力、出力分布変化、反応度フィードバック効果、制御棒反応度効果、燃料棒内温度変化、燃料棒表面熱伝達<b>及び</b>沸騰遷移が重要現象となる。</p> <p>よって、この現象を適切に評価することが可能である反応度投入事象解析コード APEX により炉心平均中性子束の過渡応答を求める。</p> <p>また、解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価の範囲として、本重要事故シーケンスにおける評価項目となるパラメータに与える影響を評価する。</p> <p>さらに、解析コード及び解析条件の不確かさのうち、評価項目となるパラメータに与える影響があるものについては、「5.4.3(3) 感度解析」において、それらの不確かさの重畳を考慮した影響評価を実施する。</p> <p>(2) 有効性評価の条件</p> <p>本重要事故シーケンスに対する初期条件も含めた主要な解析条件を第 5.4-2 表に示す。また、主要な解析条件について、本重要事故シーケンス特有の解析条件を以下に示す。</p> <p>a. 初期条件</p> <p>(a) 炉心状態</p> <p>燃料交換後における余剰反応度の大きな炉心での事象発生を想定して、評価する炉心状態</p>	<p>・設備設計の違い</p>



5.4 反応度の誤投入

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違等（実質的な相違なし）  
 黄色ハッチ：ヒアリングコメント対応

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>平衡炉心のサイクル初期とする。</p> <p>(b) 実効増倍率 事象発生前の炉心の実効増倍率は1.0とする。</p> <p>(c) 原子炉出力、原子炉圧力、燃料被覆管表面温度及び冷却材温度 事象発生前の原子炉出力は定格値の<math>10^{-8}</math>、原子炉圧力は0.0MPa[gage]、燃料被覆管表面温度及び冷却材の温度は20℃とする。また、燃料エンタルピの初期値は8kJ/kgUO<sub>2</sub>とする。</p> <p>b. 事故条件</p> <p>(a) 起因事象 運転停止中の原子炉において、制御棒1本が全引き抜きされている状態から、他の1本の制御棒が操作量の制限を超える誤った操作によって連続的に引き抜かれる事象を想定する。</p> <p>(b) 誤引き抜きされる制御棒 誤引き抜きされる制御棒は、事象を厳しく評価するため、最大反応度値を有する制御棒の斜め隣接の制御棒とする。誤引き抜きされる制御棒1本の反応度値は約1.04%Δkである。引抜制御棒反応度曲線を図5.4.2に示す。 なお、通常、制御棒1本が全引き抜きされている状態の未臨界度は深く、また、仮に他の1本の制御棒が操作量の制限を超えた場合でも、臨界近接で引き抜かれる制御棒の反応度値が核的制限値を超えないよう管理※している。これらを踏まえ、本評価においては、誤引き抜きされる制御棒の反応度値が、管理値を超える事象を想定した。 ※臨界近接時における制御棒の最大反応度値は1.0%Δk以下となるよう管理 制御棒値ミニマイザによる停止余裕試験モードでの面隣接制御棒選択時の引き抜き不許可のインターロック、停止時冷温臨界試験での引き抜き制御棒値の管理等を実施</p> <p>(c) 外部電源 制御棒の引き抜き操作には、外部電源が必要となる。外部電源が失われた状態では反応度誤投入事象が想定できないことも踏まえ、外部電源は使用できるものとする。</p> <p>c. 重大事故等対策に関連する機器条件</p> <p>(a) 制御棒の引抜き速度 制御棒は、引抜き速度の上限値33mm/sにて連続で引き抜かれ※、起動領域モニタの原子炉周期短信号（原子炉周期20秒）で引き抜きを阻止されるものとする。引抜制御棒反応度曲線を図5.4.2に示す。</p>	<p>は、平衡炉心のサイクル初期とする。</p> <p>(b) 実効増倍率 事象発生前の炉心の実効増倍率は1.0とする。</p> <p>(c) 原子炉初期出力、原子炉初期圧力、燃料被覆管表面温度及び原子炉冷却材温度 事象発生前の原子炉初期出力は定格値の<math>10^{-8}</math>、原子炉初期圧力は0.0MPa[gage]、燃料被覆管表面温度及び原子炉冷却材温度は20℃とする。また、燃料エンタルピの初期値は8kJ/kgUO<sub>2</sub>とする。</p> <p>b. 事故条件</p> <p>(a) 起因事象 運転停止中の原子炉において、制御棒1本が全引き抜きされている状態から、他の1本の制御棒が操作量の制限を超える誤った操作によって連続的に引き抜かれる事象を想定する。</p> <p>(b) 誤引き抜きされる制御棒 誤引き抜きされる制御棒は、事象を厳しく評価するため、最大反応度値を有する制御棒の対角隣接の制御棒とする。誤引き抜きされる制御棒1本の反応度値は約1.71%Δkである。引き抜き制御棒反応度曲線を第5.4-2図に示す。 なお、通常、制御棒1本が全引き抜きされている状態の未臨界度は深く、また、仮に他の1本の制御棒が操作量の制限を超えた場合でも、臨界近接で引き抜かれる制御棒の反応度値が核的制限値を超えないよう管理※している。これらを踏まえ、本評価においては、誤引き抜きされる制御棒の反応度値が、管理値を超える事象を想定した。 ※：停止時冷温臨界検査の臨界近接時における制御棒の反応度値は1.0%Δk以下となるよう管理</p> <p>(c) 外部電源 制御棒の引き抜き操作には外部電源が必要である。外部電源がない状態では反応度誤投入事象が想定できないことも踏まえ、外部電源は使用できるものとする。</p> <p>c. 重大事故等対策に関連する機器条件</p> <p>(a) 制御棒の引き抜き速度 制御棒は、引き抜き速度の上限値9.1cm/sにて連続で引き抜かれ※、起動領域計装の原子炉出力ペリオド短（10秒）信号で引き抜きが阻止されるものとする。引抜制御棒反応度曲線を第5.4-2図に示す。 ※：予め停止余裕が確認されている場合、一本目の制御棒の全挿入状態からの全引き抜き操作、及び反応度値の小さい制御棒位置（30Pos.）以降の制御棒引抜き操作については、連続引き抜きが実施可能な手順としている。そのため、ここでは人的過誤等によって連</p>	<p>・設備設計の違い</p> <p>・設備設計の違い</p> <p>・記載箇所の違いであり、柏崎は「(b)スクラム信号」の下に記載</p>

5.4 反応度の誤投入

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違等（実質的な相違なし）  
 黄色ハッチ：ヒアリングコメント対応

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>(b) 原子炉スクラム信号                      原子炉スクラムは、<b>起動領域モニタ</b>の原子炉<b>周期短信号</b>（原子炉周期 10 秒）によるものとする。スクラム反応度曲線を図 5.4.3 に示す。</p> <p>※ 複数の制御棒を引き抜く試験において、対象制御棒が想定以上に引き抜かれた際も未臨界を維持できる、又は臨界を超えて大きな反応度が投入されないと判断させる場合にのみ、制御棒の連続引き抜きの実施が可能な手順としている。そのため、ここでは人的過誤等によって連続引き抜きされることを想定する。</p> <p>d. 重大事故等対策に関連する操作条件                      運転員操作に関する条件はない。</p> <p>(3) 有効性評価の結果                      本重要事故シーケンスの対応手順の概要を図 5.4.1 に、炉心平均中性子束の推移を図 5.4.4 に示す。</p> <p>a. 事象進展                      制御棒の引き抜き開始から約 30 秒後に起動領域モニタの原子炉周期短信号(原子炉周期 20 秒)が発生し、制御棒の引き抜きが阻止される。この時、投入される反応度は約 0.55 ドル（投入反応度最大値:0.34%Δk）である。反応度投入事象には至らず、燃料エンタルピ増加に伴う燃料の破損は生じない。</p> <p>また、制御棒の引き抜き開始から約 58 秒後に起動領域モニタの原子炉周期短信号（原子炉周期 10 秒）が発生して、原子炉がスクラムし、原子炉出力は定格値の約 <math>1.0 \times 10^{-4}</math> まで上昇するとどまる。                      (添付資料 5.4.1)</p> <p>b. 評価項目等                      制御棒の引き抜きによる反応度の投入に伴い一時的に臨界に至るものの、原子炉スクラムにより未臨界は確保される。なお、原子炉水位に有意な変動はないため、<b>有効燃料棒</b>頂部は冠水を維持しており、放射線の遮蔽は維持される。</p> <p>本評価では、「1.2.4.2 有効性を確認するための評価項目の設定」に示す(1)から(3)の評価項目について、対策の有効性を確認した。                      (添付資料 5.4.2)</p> <p>5.4.3 解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価</p>	<p>連続引き抜きされることを想定する。</p> <p>(b) 原子炉スクラム信号                      原子炉スクラムは、<b>起動領域計装</b>の原子炉<b>出力ペリオド短</b>（10 秒）信号によるものとする。スクラム反応度曲線を第 5.4-3 図に示す。</p> <p>d. 重大事故等対策に関連する操作条件                      運転員操作に関する条件はない。</p> <p>(3) 有効性評価の結果                      本重要事故シーケンスの対応手順の概要を第 5.4-1 図に、炉心平均中性子束の推移を第 5.4-4 図に示す。</p> <p>a. 事象進展                      制御棒の引き抜き開始から約 10 秒後に起動領域計装の原子炉出力ペリオド短 (10 秒) 信号が発生し、制御棒の引き抜きが阻止されるとともに、原子炉はスクラムする。この時、投入される反応度は約 1.13 ドル（投入反応度最大値：0.68%Δk）であるが、原子炉出力は定格出力の約 15%まで上昇するとどまる。また、燃料エンタルピは最大で約 85kJ/kgUO<sub>2</sub>であり、「発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象評価指針」に示された燃料の許容設計限界の<b>最低値</b>である 272kJ/kgUO<sub>2</sub>（65cal/gUO<sub>2</sub>）を超えることはない。燃料エンタルピ増分の最大値は約 77kJ/kgUO<sub>2</sub>であり、「<b>発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象における燃焼の進んだ燃料の取扱いについて</b>」に示された<b>燃料</b>ペレット燃焼度 65,000MWd/t 以上の燃料に対するペレット-被覆管機械的相互作用を原因とする破損を生じるしきい値の<b>目安</b>である、ピーク出力部燃料エンタルピの増分で 167kJ/kgUO<sub>2</sub>（40cal/gUO<sub>2</sub>）を用いた場合においても、これを超えることはなく燃料の健全性は維持される。</p> <p>b. 評価項目等                      制御棒の引き抜きによる反応度の投入に伴い一時的に臨界に至るものの、原子炉スクラムにより未臨界は確保される。なお、原子炉水位に有意な変動はないため、<b>燃料有効長</b>頂部は冠水を維持しており、放射線の遮蔽は維持される。</p> <p>本評価では、「1.2.4.2 有効性を確認するための評価項目の設定」に示す(1)から(3)の評価項目について、対策の有効性を確認した。                      (添付資料 5.4.1)</p> <p>5.4.3 解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価</p>	<p>・東海第二は、投入される反応度が 1 ドルを超えるため、燃料エンタルピがしきい値に達しないことを記載</p>



5.4 反応度の誤投入

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違等（実質的な相違なし）  
 黄色ハッチ：ヒアリングコメント対応

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>評価条件の不確かさの影響評価の範囲として、運転員等操作に与える影響、評価項目となるパラメータに与える影響及び操作時間余裕を評価するものとする。</p> <p>本重要事故シーケンスは、自動作動する<b>安全保護系</b>及び原子炉停止系により、自動的に制御棒の引き抜きを阻止、原子炉をスクラムすることで、プラントを安定状態に導くことが特徴である。このため、運転員等操作はなく、操作時間が与える影響等は<b>不要である</b>。</p> <p>(1) 解析コードにおける重要現象の不確かさの影響評価</p> <p>本重要事故シーケンスにおいて不確かさの影響評価を行う重要現象とは、「1.7 解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価方針」に示すとおりであり、それらの不確かさの影響評価は以下のとおりである。</p> <p>a. 運転員等操作時間に与える影響</p> <p>本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、運転員操作時間に与える影響はない。</p> <p>b. 評価項目となるパラメータに与える影響</p> <p>ドップラ反応度フィードバックの不確かさは、実験にて7~9%と評価されていることから、これを踏まえ解析を行う必要がある。また、臨界試験との比較により、実効遅発中性子の不確かさは約4%と評価されていることから、これを踏まえて解析を行う必要がある。この不確かさを考慮した感度解析を「(3) 感度解析」にて実施する。</p> <p>制御棒反応度の不確かさは約9%と評価されていることから、これを踏まえ解析を行う必要がある。また、臨界試験との比較により、実効遅発中性子の不確かさは約4%と評価されていることから、これを踏まえて解析を行う必要がある。この不確かさを考慮した感度解析を「(3) 感度解析」にて実施する。</p> <p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.3)</p> <p>(2) 解析条件の不確かさの影響評価</p> <p>a. 初期条件、事故条件及び重大事故等対策に関連する機器条件</p> <p>初期条件、事故条件及び重大事故等対策に関連する機器条件は、<b>表 5.4.2</b>に示すとおりである。その中で事象進展に有意な影響を与えると考えられる炉心状態、実効増倍率、燃料被覆管表面温度及び冷却材温度、制御棒引抜阻止、スクラム信号に関する影響の結果を以下に示す。</p> <p>(a) 運転員等操作時間に与える影響</p> <p>本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、運転員操作時間に与える影響はない。</p> <p>(b) 評価項目となるパラメータに与える影響</p> <p>炉心状態においては装荷炉心毎に制御棒反応度値やスクラム反応度等の特性が変化するため、投入反応度が大きくなる<b>恐れはある</b>。そのため、評価項目に対する余裕は小さくなることが</p>	<p>評価条件の不確かさの影響評価の範囲として、運転員等操作に与える影響、評価項目となるパラメータに与える影響及び操作<b>時間余裕</b>を評価するものとする。</p> <p>本重要事故シーケンスでは、自動作動する<b>原子炉緊急停止系</b>及び制御棒引抜阻止回路により、自動的に制御棒の引き抜きを阻止<b>するとともに</b>、原子炉をスクラムさせることで、プラントを安定状態に導くことが特徴である。このため、運転員等操作はなく、操作時間が与える影響等はない。</p> <p>(1) 解析コードにおける重要現象の不確かさの影響評価</p> <p>本重要事故シーケンスにおける不確かさの影響評価を行う重要現象は、「1.7 解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価方針」に示すとおりであり、それらの不確かさの影響評価は以下のとおりである。</p> <p>a. 運転員等操作時間に与える影響</p> <p>本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、運転員等操作時間に与える影響はない。</p> <p>b. 評価項目となるパラメータに与える影響</p> <p>ドップラ反応度フィードバックの不確かさは、実験にて7~9%と評価されていることから、これを踏まえて解析を行う必要がある。また、臨界試験との比較により、実効遅発中性子の不確かさは約4%と評価されていることから、これを踏まえて解析を行う必要がある。この不確かさを考慮した感度解析を「(3) 感度解析」にて実施する。</p> <p>制御棒反応度の不確かさは約9%と評価されていることから、これを踏まえて解析を行う必要がある。また、臨界試験との比較により、実効遅発中性子の不確かさは約4%と評価されていることから、これを踏まえて解析を行う必要がある。この不確かさを考慮した感度解析を「(3) 感度解析」にて実施する。</p> <p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.2)</p> <p>(2) 解析条件の不確かさの影響評価</p> <p>a. 初期条件、事故条件及び重大事故等対策に関連する機器条件</p> <p>初期条件、事故条件及び重大事故等対策に関連する機器条件は、<b>第 5.4-2 表</b>に示すとおりである。その中で事象進展に有意な影響を与えると考えられる炉心状態、実効増倍率、燃料被覆管表面温度及び原子炉冷却材温度、<b>誤引き抜きされる制御棒</b>、<b>制御棒引き抜き速度</b>、制御棒引き抜き阻止及びスクラム信号に関する影響の評価結果を以下に示す。</p> <p>(a) 運転員等操作時間に与える影響</p> <p>本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、運転員操作時間に与える影響はない。</p> <p>(b) 評価項目となるパラメータに与える影響</p> <p>炉心状態においては装荷炉心毎に制御棒反応度値やスクラム反応度等の特性が変化するため、投入反応度が大きくなる<b>おそれがある</b>。そのため、評価項目に対する余裕は小さく</p>	

5.4 反応度の誤投入

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違等（実質的な相違なし）  
 黄色ハッチ：ヒアリングコメント対応

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>考えられるが、「(5) 評価条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価」にて、投入される反応度について確認しており、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>実効増倍率について0.99の場合は、臨界到達までにかかる時間が追加で必要となり、また投入される反応度も0.07ドルと小さくなるため、評価項目となるパラメータに対する余裕は大きくなる。</p> <p>初期出力は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。初期出力の不確かさにより評価項目に対する余裕が変化するが、「(5) 評価条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価」において、初期出力の不確かさの影響を確認しており、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>初期燃料温度は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。初期燃料温度の不確かさにより評価項目に対する余裕が変化するが、「(5) 評価条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価」において、初期燃料温度の不確かさの影響を確認しており、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>制御棒引抜阻止及びスクラム信号についてNMSトリップ選択スイッチが初装荷の場合は計数率高信号による制御棒引抜阻止機能、計数率高高信号によるスクラム機能に期待できる。こちらに期待した場合のスクラムまでの時間は約46秒後となり、評価項目となるパラメータに対する余裕は大きくなる。</p> <p>b. 操作条件</p> <p>本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、運転員操作に関する条件はない。</p> <p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.3)</p> <p>(3) 感度解析</p> <p>解析コードの不確かさによりドブプラ反応度フィードバック効果と制御棒反応度効果は評価項目となるパラメータに影響を与えることから本重要事故シーケンスにおいて感度解析を実施する。</p> <p>ドブプラ反応度フィードバック効果を±10%とした場合においても投入される反応度は0.55ドルとベースケースと比べて殆ど差異なく、また制御棒反応度を±10%とした場合においても投入される反応度は0.53ドル、0.56ドルであり、これらの不確かさを考慮しても燃料の健全性に影響がない。</p> <p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.3)</p>	<p>ることが考えられるが、「(5) 評価条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価」にて、投入される反応度について確認しており、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>実効増倍率について0.99の場合は、臨界到達までにかかる時間が追加で必要となり、また投入される反応度も0.96ドルと小さくなるため、評価項目となるパラメータに対する余裕が大きくなる。</p> <p>原子炉初期出力は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。原子炉初期出力の不確かさにより評価項目に対する余裕が変化するが、「(5) 評価条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価」において、原子炉初期出力の不確かさの影響を確認しており、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>初期燃料温度は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。初期燃料温度の不確かさにより評価項目に対する余裕が変化するが、「(5) 評価条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価」において、初期燃料温度の不確かさの影響を確認しており、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>b. 操作条件</p> <p>本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、運転員等操作に関する条件はない。</p> <p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.2)</p> <p>(3) 感度解析</p> <p>解析コードの不確かさによりドブプラ反応度フィードバック効果、制御棒反応度効果及び実効遅発中性子割合は評価項目となるパラメータに影響を与えることから、本重要事故シーケンスにおいて感度解析を実施する。</p> <p>ドブプラ反応度を+10%とした場合の燃料エンタルピ最大値は約80kJ/kgUO<sub>2</sub>（増分の最大値：約72kJ/kgUO<sub>2</sub>）、-10%とした場合の燃料エンタルピ最大値は約92kJ/kgUO<sub>2</sub>（増分の最大値：約83kJ/kgUO<sub>2</sub>）、また制御棒反応度を+10%とした場合に投入される反応度は1.15ドル（燃料エンタルピ最大値：約102kJ/kgUO<sub>2</sub>、増分の最大値：約94kJ/kgUO<sub>2</sub>）、-10%とした場合に投入される反応度は1.12ドル、実効遅発中性子割合を+10%とした場合に投入される反応度は1.11ドル、-10%とした場合に投入される反応度は1.16ドル（燃料エンタルピ最大値：約90kJ/kgUO<sub>2</sub>、増分の最大値：約82kJ/kgUO<sub>2</sub>）であり、これらの不確かさを考慮しても燃料の健全性に影響がない。</p>	<p>・設備の違い</p>



5.4 反応度の誤投入

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違等（実質的な相違なし）  
 黄色ハッチ：ヒアリングコメント対応

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>(4) 操作時間余裕の把握                      本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、操作時間余裕に関する影響はない。</p> <p>(5) 解析条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価                      解析条件の不確かさにより投入される反応度が大きくなることも考えられ、評価項目となるパラメータに影響を与えることから、炉心状態の変動による評価項目となるパラメータに与える影響について確認した。以下の2つの保守的な想定をした評価においても、投入される反応度は約0.7ドル以下にとどまることから、不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・過渡解析「原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き」に示すように3.5%Δkの値を有する制御棒グループが引き抜かれる場合</li> <li>・サイクル初期及びサイクル末期の炉心状態においてB型平衡炉心の反応度印加率を包含する引抜制御棒反応度曲線を用いた場合</li> </ul> <p>初期出力は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。定格の10<sup>-8</sup>の10倍及び1/10倍とした場合の感度解析を行い、有効性評価での結果(0.55ドル)と大きく差異がない、0.55ドル(10倍)及び0.54ドル(1/10倍)であることから、初期出力の不確かさが与える影響は小さい。</p> <p>初期燃料温度は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。初期燃料温度を60℃とした場合の感度解析を実施し、有効性評価での結果(0.55ドル)と大きく差異がない、0.57ドルであることから、初期燃料温度の不確かさが与える影響は小さい。</p> <p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.3)</p> <p>(6) まとめ                      解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価の範囲として、運転員等操作時間に与える影響、評価項目となるパラメータに与える影響及び操作時間余裕を確認した。感度解析結果より、不確かさの重畳を考慮した場合でも評価項目となるパラメータを満足できる。その結果、解析コード及び解析条件の不確かさが運転員等操作時間に与える影響等を考慮した場合においても、自動作動する安全保護系及び原子炉停止系により、自動的に制御棒の引き抜きを阻止、原子炉スクラムすることで、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>5.4.4 必要な要員及び資源の評価                      (1) 必要な要員の評価                      事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、重大事故等対策は自動で作動するため、</p>	<p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.2)</p> <p>(4) 操作時間余裕の把握                      本重要事故シーケンスは、「5.4.2(2) 有効性評価の条件」に示すとおり、運転員等操作には期待しないため、操作時間余裕に関する影響はない。</p> <p>(5) 解析条件の不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響評価                      解析条件の不確かさにより投入される反応度が大きくなることも考えられ、評価項目となるパラメータに影響を与えることから、炉心状態の変動による評価項目となるパラメータに与える影響について確認した。サイクル初期及びサイクル末期の炉心状態においてB型平衡炉心の反応度印加率を包含した評価においても、投入される反応度は1.16ドル(燃料エンタルピー最大値:79.6kJ/kgUO<sub>2</sub>, 燃料エンタルピーの増分の最大値*:71.2kJ/kgUO<sub>2</sub>)に留まることから、不確かさが評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>原子炉初期出力は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。定格出力の10<sup>-8</sup>の10倍及び1/10倍とした場合の感度解析を行い、有効性評価での結果(1.13ドル)と大きく差異がない、1.09ドル(10倍)及び1.17ドル(燃料エンタルピー最大値:約123kJ/kgUO<sub>2</sub>, 増分の最大値:約115kJ/kgUO<sub>2</sub>)(1/10倍)であることから、初期出力の不確かさが与える影響は小さい。</p> <p>初期燃料温度は炉心状態毎に異なり、評価項目となるパラメータに影響を与えるため、その不確かさが与える影響を評価した。初期燃料温度を60℃とした場合の感度解析を実施し、1.13ドルであった。有効性評価での結果(1.13ドル)と差異がないことから、初期燃料温度の不確かさが与える影響は小さい。</p> <p style="text-align: right;">(添付資料 5.4.2)</p> <p>(6) まとめ                      解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価の範囲として、運転員等操作時間に与える影響、評価項目となるパラメータに与える影響及び操作時間余裕を確認した。感度解析結果より、不確かさの重畳を考慮した場合でも評価項目となるパラメータを満足できる。その結果、解析コード及び解析条件の不確かさが運転員等操作時間に与える影響等を考慮した場合においても、自動作動する制御棒引抜阻止回路により、自動的に制御棒の引き抜きを阻止するとともに原子炉スクラムすることで、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>5.4.4 必要な要員及び資源の評価                      (1) 必要な要員の評価                      事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、重大事故等対策は自動で作動するため、</p>	

5.4 反応度の誤投入

赤字：設備，運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現，設備名称の相違等（実質的な相違なし）  
 黄色ハッチ：ヒアリングコメント対応

比較表

柏崎 6 / 7号 (2017年3月6日版)	東二	備考
<p>対応に必要な要員はいない。</p> <p>(2) 必要な資源の評価                  事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、必要な水源、燃料及び電源の評価結果は以下のとおりである。</p> <p>a. 水源                  本重要事故シーケンスの評価では、原子炉注水は想定していない。</p> <p>b. 燃料                  本重要事故シーケンスの評価では、燃料の使用は想定していない。</p> <p>c. 電源                  本重要事故シーケンスの評価では、外部電源喪失は想定していない。</p> <p>5.4.5 結論                  事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」では、誤操作により過剰な制御棒の引き抜きが行われ、臨界に至る反応度が投入されることで、原子炉が臨界に達し燃料損傷に至ることが特徴である。事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」に対する燃料損傷防止対策としては、原子炉停止機能を整備している。</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」の重要事故シーケンス「最大反応度価値を有する同一水圧制御ユニットに属する1組又は1本の制御棒が全引き抜きされている状態から、その隣接制御棒が操作量の制限を超える誤った操作によって引き抜かれ、臨界に至る事故」について有効性評価を行った。</p> <p>上記の場合においても、原子炉停止機能により、燃料が損傷することはなく、未臨界を維持することが可能である。</p> <p>その結果、有効燃料棒頂部の冠水、放射線遮蔽の維持及び未臨界の確保ができることから、評価項目を満足している。また、安定状態を維持できる。</p> <p>評価条件の不確かさについて確認した結果、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>本事故シーケンスグループにおける6号及び7号炉同時の重大事故等対策は自動で作動するため、対応に必要な要員はいない。スクラム動作後の原子炉の状態確認において、中央制御室の運転員1名で実施可能である。</p> <p>以上のことから、事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、原子炉停止機能の燃料損傷防止対策は、選定した重要事故シーケンスに対して有効であることが確認でき、事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」に対して有効である。</p>	<p>対応に必要な要員はいない。</p> <p>(2) 必要な資源の評価                  事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、必要な水源、燃料及び電源の評価結果は以下のとおりである。</p> <p>a. 水源                  本重要事故シーケンスの評価では、原子炉注水は想定していない。</p> <p>b. 燃料                  本重要事故シーケンスの評価では、燃料の使用は想定していない。</p> <p>c. 電源                  本重要事故シーケンスの評価では、外部電源喪失は想定していない。</p> <p>5.4.5 結論                  事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」では、誤操作により制御棒の過剰な引き抜きが行われ、臨界に至る反応度が投入されることで、原子炉が臨界に達し燃料損傷に至ることが特徴である。事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」に対する燃料損傷防止対策としては、原子炉停止機能を整備している。</p> <p>事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」の重要事故シーケンス「制御棒1本が全引き抜きされている状態から、その隣接制御棒の1本が操作量の制限を超える誤った操作によって引き抜かれ、臨界に至る事故」について有効性評価を行った。</p> <p>上記の場合においても、原子炉停止機能により、燃料が損傷することはなく、未臨界を維持することが可能である。</p> <p>その結果、燃料有効長頂部の冠水、放射線遮蔽の維持及び未臨界の確保ができることから、評価項目を満足している。また、安定状態を維持できる。</p> <p>評価条件の不確かさについて確認した結果、評価項目となるパラメータに与える影響は小さい。</p> <p>本事故シーケンスグループにおける重大事故等対策は自動で作動するため、対応に必要な要員はいない。スクラム動作後の原子炉の状態確認において、中央制御室の運転員1名で実施可能である。</p> <p>以上のことから、事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」において、原子炉停止機能の燃料損傷防止対策は、選定した重要事故シーケンスに対して有効であることが確認でき、事故シーケンスグループ「反応度の誤投入」に対して有効である。</p>	