

米国原子力規制委員会 新設炉局 原子炉規制局 核物質安全保障措置局
ワシントンDC 20555-0001

2014年11月14日

使用済燃料貯蔵の安全性向上の可能性(NRC Information Notice 2014-14)

宛先

10CFR50「生産及び利用施設の認可」に基づく原子力発電所の運転認可または建設許可の全取得者。永久に運転を停止し、使用済燃料プール(SFP)で使用済燃料を貯蔵しているプラントを含む。

10CFR52「原子力発電所の認可、証明、及び承認」に基づく早期サイト許可、コンバインド・ライセンス、標準設計承認、または製造認可の全取得者及び申請者。標準設計証明規則発行後の設計証明申請者を含む。

10CFR72「独立使用済燃料貯蔵施設(ISFSI)、高レベル放射性廃棄物、及び原子炉関連クラス C 級以上の廃棄物に関する認可要件」に基づく、ISFSI 認可取得者及び申請者。

目的

NRC は、BWR 参照プラントの研究を通して SFP 内の使用済燃料貯蔵に関して得られた知見を受領者に通知するために本 Information Notice (IN) を発行する。本 IN に示された知見により、運用や事象緩和能力を最適化し、SFP 内の使用済燃料貯蔵の安全性をさらに強化することができる可能性がある。受領者は、各自の施設への本情報の適用性を検討し、適切な対応を検討すべきである。しかしながら、本 IN の提言は、NRC の要求事項ではないため、特定の措置あるいは文書での回答は要求しない。

背景

2011年3月11日、福島第一原子力発電所は、東北大地震及び津波により甚大な被害を受けた。福島第一の SFP 構造物は、被害を受けず、プール内の使用済燃料集合体は、本事象及びその後の復旧時に冷却され、水で覆われていた。しかしながら、事象中にプール内の状態が明確に示されず、使用済燃料の安全貯蔵に関する懸念や、米国の原子力発電所において使用済燃料を乾式貯蔵に早期に移行することを要求すべきかが問題となった。

その後、2011年夏に、NRC スタッフは、「設計基準を超える地震が BWR/Mark I の使用済燃料プールに与える影響」について研究プログラムを開始した。これは、使用済燃料プール研究または

SFPSと呼ばれる。SFPSの結果は、NUREG-2161(NRC ADAMS 登録番号 ML14255A365)として公表されている。SFPSは、起こりそうもない設計基準を超える地震に起因するSFP事故を想定し、その影響を調査した。SFPSは、以前のNRCの研究と同様に、参照プラントのSFPは健全であり、過酷な地震に対し漏えいすることなしに耐えられるだろうと結論した。しかしながら、NRCスタッフは、使用済燃料プール構造を解析し、過酷な地震の結果、最も漏えいが起こりやすい場所及びサイズを決定した。その情報から、NRCスタッフは、低密度貯蔵及び高密度貯蔵を考慮し、燃料の過熱に至る条件を決定し、環境への放射性物質放出の影響についても評価した。SFP漏えい及び冷却水の完全喪失という起こりそうもない事象において、燃料を原子炉からSFPに移動して数か月以内の場合においてのみ、過熱及び放射性物質放出に対して脆弱であることが示された。漏えいが、燃料が原子炉からSFPに移動した数か月以後に発生した場合、空冷は使用済燃料の過熱を防止するために十分であることが示された(SFPSで解析された72時間において)。SFPSは、最も高温な集合体をより低温な集合体の間に分散させることや10CFR50.54(hh)(2)の要件に従って準備した機器や戦略を効果的に展開することで、燃料が過熱する期間をさらに短くできることを示した。

SFPSは、10CFR50.54(hh)(2)設備の配備や戦略が成功した場合と失敗した場合を分析している。人間信頼性解析については、SFPSではSFP緩和系を展開できる十分なスタッフを想定し、原子炉及び格納容器損傷によるアクセス経路の遮断は想定しなかった。地震により複数の原子炉やSFPが損傷した場合、これらの想定は妥当ではない可能性がある。

福島第一事故に対する対応として、NRCは原子炉及びSFP安全を更に強化するための規制対応を現在実施している。例えば、2012年3月12日、NRCスタッフは、命令EA-12-051(使用済燃料プールの計装の強化)(NRC ADAMS 登録番号 ML12054A679)を発行し、設置者に対して、設計基準を超える地震において緩和や復旧活動の優先順位を的確に決定できるようSFP水位を広範囲に遠隔から監視するための信頼できる手段を講じることを要求した。さらに、2012年3月12日、NRCスタッフは、命令EA-12-049(設計基準を超える外部事象に対する緩和戦略)(NRC ADAMS 登録番号 ML12054A735)を発行し、設計基準を超える外部事象後に原子炉、格納容器、SFPの冷却機能を維持または復旧させるためのガイダンス及び戦略を開発、実施、維持することを設置者に対して要求した。これらの要件は、(SFPSで想定した範囲を超えて)起こりそうもないSFPが損傷する条件において、追加の緩和能力があることを保証するものである。

NRCは、SFPSからの知見を用いて、全ての原子力発電所の燃料貯蔵に関する規制上の分析(NRC ADAMS 登録番号 ML13273A628)を実施し、使用済燃料を乾式貯蔵キャスクに移動させることが妥当かどうか判断した。規制上の分析は、連邦機関が提案された対応を実施するコストと利益を評価する一般的な手法である。この規制上の分析の一部として、NRCスタッフは、まず、NRCの

安全目標政策声明書を用いて安全目標のスクリーニングを実施した。安全目標スクリーニング評価により、SFP 事故は公衆の健康及び安全に対する全体のリスクのうち小さな寄与要因であることが確認された(安全目標の 1%以下)。NRC のガイダンスでは、対応案が安全目標の閾値を満たす安全性向上をもたらさない時点で評価を終了させることが許されているが、NRC スタッフは、コスト利益解析も実施して NRC 委員会に追加情報を提供した。NRC スタッフは、使用済燃料を乾式貯蔵キャスクに早期に移動することにより得られる安全性向上は、微小または限られており(安全目標スクリーニング以下)、その想定実施コストは妥当ではないと判断した。この規制上の分析、NRC スタッフの運転経験レビュー、監視、そのほかの SFP 研究に基づいて、NRC スタッフは、NRC 委員会に対し、現在の規制枠組みで十分適切な公衆の健康と安全は確保されているため、さらなる規制対応は必要ないと提言した。NRC 委員会は、この結論を SRM-COMSECY-13-0030(NRC ADAMS 登録番号 ML14143A360)で承認した。

議論

SFPS 及びそれ以前の研究結果は、現在の使用済燃料貯蔵は公衆の健康及び安全を適切に防護していることを示している。さらに、最近の規制上の分析により、SFP の運用をさらに変更する安全上の利益は限られていることが実証されている。これは、主に SFP 構造物を損傷する事象の発生頻度が低いためである。しかしながら、SFPS から、SFP が甚大な損傷を受けた事象時に過熱する確率をさらに低下させることにより深層防護を強化しうる運用及び緩和能力に関する知見が得られた。

より望ましい配置パターンでの使用済燃料の貯蔵

使用済燃料は、冷却水喪失時により望ましい応答を示す分散パターン(1×4、1×8)で配置することが可能である。分散パターンでは、最近取り出された集合体(高温)をより崩壊熱の低い古い集合体(低温)で囲む。ある場合には、他の要因により分散パターンに直接配置できず、他のパターンを限られた期間利用するかもしれない。1×4、1×8 の配置例は、以下を参照のこと。

(相手方注: 図の記載あり)

(相手方注: 図の記載あり)

1×4 配置パターン

1×8 配置パターン

赤: 最近取り出された燃料集合体(高温)、青: 古い、より崩壊熱の低い燃料集合体(低温)

SFP の冷却水喪失という起こりそうもない事象において、空冷可能な使用済燃料集合体は、燃料と貯蔵ラック間の輻射及び伝導熱移動による空冷により燃料の過熱が防止される。リスクの観点からは、SFP に集合体を移動した時点から空冷可能となるまでの時間を短縮することが有効である。

SFP の配置パターンの違いが SFPS の研究の焦点ではないが、SFPS の 9 章「不確かさの検討」において、感度解析を実施し、1×8 パターンと 1×4 パターン(SFPS で用いられた基本配置)の熱応答性を比較した。SFP の冷却水喪失という起こりそうもない事象において、燃料と貯蔵ラック構造物の輻射及び伝導熱移動による空冷は、燃料の過熱確率を低下させた。1×4 パターンでは、運転サイクルの最初の 10%除き、少なくとも最初の 72 時間は空冷可能であることが分かった。1×8 では、運転サイクルのより早期の段階から空冷が 72 時間可能となった。このため、使用済燃料の空冷をより強化するためには、設置者は 1×4 ではなく 1×8 の配置パターンを選択すると良い可能性がある。1×8 パターンを選択した場合、設置者は当該配置を達成するために必要な燃料移動と運用上必要な燃料移動を統合し、複数運転サイクルに亘る全体の燃料移動及び関連リスクの最小化を検討してもよい。SFP の誤配置問題については IN 20014-09 を参照のこと。

燃料を炉心から分散配置に直接移動

SFPS は使用済燃料を分散配置することにより、冷却水喪失事故という起こりそうもない事象において、空冷能力が高まることを実証した。さらに、SFPS は、より望ましくない配置での貯蔵時間を最短化することで SFP が完全に冷却水を喪失した場合の放射性物質放出の確率を低減することも示した。設置者は、SFP の安全性をより強化するために、使用済燃料を分散配置に直接配置するように燃料移動を最適化してもよい。

緩和戦略の強化

SFPS は、SFP の配置パターンに加え、SFP が完全に冷却水を喪失した場合に、10CFR50.54(hh)(2)に従って実施される戦略の効果的な実施から得られる利益についても検討した。最も高温の使用済燃料集合体の分散割合(1×4 から 1×8 へ)が増加するにつれて、冷却水喪失後の温度上昇速度は低下し、10CFR50.54(hh)(2)に基づく戦略の効果的な実施は放射性物質の放出頻度に大きな影響を与えることが判明した。これらの戦略を効果的に実施することにより、SFP からの放出頻度が低下した。

SFPS は、これらの戦略が SFP の熱負荷が比較的高い場合において脅かされることを特定した。SFPS は、ある場合には、利用可能な設備が十分な緩和流量速度を確保できないか、使用済燃料フロアの放射線レベルが冷却水確保のための事象対応者のアクセスを阻むほど高いため、10CFR50.54(hh)(2)で要求される既存の戦略が有効ではない可能性があることを示した。SFPS 実施時点では、命令 EA-12-049 に基づく対応は完全には実施されておらず、SFPS では考慮されなかった。SFPS の観点からは、設置者は追加の緩和能力として、例えば、SFP 熱負荷が高い期間において緩和設備を事前配置しておくことや、線量の低い場所にスプレインズルの接続ポイントや運転制御盤を移動すること、追加の水源や接続ポイントを確保することなどを検討してもよい。これらの追

加緩和能力の一部または全ては既に EA-12-049 に従って計画されている可能性もある。

上記のとおり、EA-12-049 は、SFP 冷却能力を設計基準を超える外部事象後に復旧及び維持する対応を要求している。例えば、NRC がエンドースしている命令遵守のための産業界ガイダンス NEI 12-06「多様かつ柔軟な対応戦略 (FLEX) 実施ガイド」(NRC ADAMS 登録番号 ML12242A378) では、SFP 給水接続ポイントは燃料取り換えフロアへのアクセスが必要ないことを要求しており、関連設備を外部事象から合理的な範囲において防護することも要求している。これらの強化により、10CFR50.54(hh)(2)での要求及び SFPS で検討した事象を超えた SFP 冷却水完全喪失事象時にも、追加の緩和能力を得ることが可能である。

結 論

NRC の研究は、現在の SFP は燃料の安全貯蔵に影響する事故を防止するために効果的に設計されていることを示した。SFPS は、設置者が SFP 関連の放射性物質放出のリスクをさらに低減するための潜在的な改善策を特定した。本 IN では、設計基準を超えた起こりそうもない地震事象に関して、SFPS から得られた知見を議論した。使用済燃料をより望ましい配置パターンで貯蔵すること、炉心取り出し後すぐに分散配置すること、SFP 負荷が高い場合に緩和戦略を改善する対応を実施することにより、SFP 関連のリスクがさらに低減される可能性がある。

問い合わせ

本 IN は特定の措置あるいは文書での回答を要求しない。本件に関する質問は、技術窓口に直接質問すること。

