

福島第一原子力発電所1号及び2号機使用済燃料貯蔵槽の水位に関する
緊急時活動レベル判断基準の妥当性について

2022年10月13日
東京電力ホールディングス株式会社

1. はじめに

原子力災害対策指針に定める緊急時活動レベル（以下「EAL」という。）においては、実用発電用原子炉のうち、使用済燃料貯蔵槽（以下「SFP」という。）内のみ照射済燃料集合体が存在する施設であって照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会が定めたもの及びSFP内に照射済燃料集合体が存在しない施設以外の施設については、福島第一原子力発電所を含めてSFPの水位に関するEALが同じ基準で設定されている。これを踏まえて、福島第一原子力発電所1号及び2号機も福島第二原子力発電所及び柏崎刈羽原子力発電所同様にSFP水位を基準としたEAL判断基準を設定しているが、他の発電所のSFPとは異なり福島第一原子力発電所1号及び2号機にはSFP水位を直接測定する水位計が現時点で設置されていないため、評価によりSFP水位を求め、EALの判断を行うこととしている。

以上のことから、評価によりSFP水位に関するEAL判断を行うことの妥当性並びに成立性について検討を行うこととした。

2. SFP水位低下を想定する要因と漏えい量について

SFPの水位が低下する可能性のある事象と漏えい量を整理すると次の通りとなる。

① サイフォン現象による漏えい

サイフォン現象による漏えいは、使用済燃料プール循環冷却系一次系配管から漏えいが発生し、出口側配管から逆止弁開固着等により配管を逆流することでSFPの水位が低下する事象である。サイフォン現象による漏えいが停止されない場合、破断口と同じ高さまでSFP水位が低下する。破断口が照射済燃料の有効燃料頂部（以下「TAF」という。）より下である場合はSFP水位がTAFを下回る可能性がある。

新規基準の設置変更許可では、サイフォン現象による漏えいにおける重大事故等対策の有効性評価を行っており、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉では、配管内径の1/2の長さで配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラックによる損傷を想定して漏えい量を想定している。（出典「柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉設置変更許可申請書完本」添付書類十 7.3.2.2 (2) b. (b)）

福島第一原子力発電所1号及び2号機の一次系配管において、同等の貫通クラックを想定した場合、1号機では 2号機では の漏えい量と評価した。

（添付資料 1, 2）

② SFPライナー部の損傷

SFPライナー部の損傷は大規模な地震の発生により、当該部が破損し、かつ、漏えいしたSFPの保有水がライナードレン配管に流れ込み、隔離できないままライナードレン配管下流部での破断による漏えいが継続することを想定する。SFPライナー破損部の圧損が無いと仮定し、SFPの通常水位（オーバーフロー水位）からライナードレン配管の破断箇所の水頭差と配管口径から漏えい量を想定する

と、1号及び2号機ともに[]の漏えいと評価した。SFPライナーの破損個所がTAFより下である場合は、SFP水位がTAFを下回る可能性がある。

(添付資料 1, 3)

③ SFPゲートの損傷

SFPゲートの損傷は使用済燃料プールゲートが外れてプール水が原子炉ウェル側に漏えいすることを想定する。ゲートの外れ方によって漏えい量が異なるが、ゲートの外れ方が一概に想定しづらいことから、漏えい量の評価も困難である。しかし仮に漏えいが発生した場合であっても、ゲート下端（スロット部）はTAFより高い位置にあるため、SFP水位がゲート下端（スロット部）到達後に漏えいは停止する。その後、原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器貯蔵プール側の筐体に異常がなければ注水によって水位を回復させ、SFPの水位及び冷却機能を維持することができる。

④ 地震発生に伴うスロッシングによる漏えい

地震発生時のスロッシングにより、SFP保有水が漏えいする可能性があるが、スロッシングによりSFP水位がTAFを下回することは考え難く、SFPの筐体に異常がなければ注水によって水位を回復させ、SFPの水位及び冷却機能を維持することができる。

3. ケーススタディによるEAL判断までの評価 []

(1) 福島第一原子力発電所1号機SFPの水位低下

a) 想定事象

2.の結果より、③及び④については、SFP水位がTAFより高い位置で漏えいが停止するため、原子力災害に至る可能性がある事象は①又は②となる。漏えい量は①より②の方が多いため、「② SFPライナー部の損傷」により[]のSFP保有水の漏えいが継続する事象を想定ケースとする。

b) EAL判断基準の妥当性及び成立性の評価基準

SFP水位に関する最初に発生するEALがAL31（TAF+4mの水位）であることから、AL31の水位に到達するまでの間に、その水位に到達したことを評価できるかをEAL判断基準の妥当性及び成立性の評価基準とする。なお、本ケーススタディにおいては、対応できる要員は[]を想定した人数とする。

c) AL31の水位に到達したことを評価するまでの対応

① 地震発生に伴う初動対応、AL地震判断までに要する時間は[]

② AL地震判断から新事務本館に滞在している各機能班が免震重要棟に参集し、活動を開始するまでに要する時間は[]

③ 運転員がSFPからの漏えいの可能性に気付く（「FPCポンプA(B)吸込圧力 低」（設定値：[]）警報発生）までの時間は[]

④ 運転員がSFP及び冷却系統からの漏えい有無を確認するため、免震重要棟から向かって使用済燃

料プール循環冷却系を点検し、原子炉建屋3階の熱交換器エリアの漏えい箇所に着するまでの時間は []

⑤ 漏えい箇所を特定し、漏えい量を目視で推定し、その結果を緊急時対策本部に報告するまでに要する時間は []

⑥ 運転班において、⑤の漏えい量の情報を基に、原子炉建屋及び廃棄物処理建屋滞留水水位の上昇量と比較してSFPからの漏えいが滞留水になっていることを確認するのに要する時間は []
(添付資料 4)

⑦ 運転員からの漏えい量の報告を基に、計画班でSFPライナードレン配管からの最大の漏えい量を推定し、SFP水位低下の評価並びにAL31、SE31及びGE31到達時刻を評価し、緊急時対策本部で共有(発話)する。この評価に要する時間は []

SFP 水位低下時における EAL 判断までの所要時間は、①+②と③+④+⑤は並行して対応が行えることから、以下の関係により成立性の判断を行う。

①+② (緊急本部の動き)	} のいずれか長い方+⑥+⑦ < AL31 の到達時刻
③+④+⑤ (運転員の動き)	

計画班が評価結果を緊急時対策本部で共有(発話)するまでの時間は地震発生後、 [] であり、その時点のSFP水位は、TAF [] であり、AL31には到達しておらず、AL31の到達予想時刻にAL31が判断できる。

(添付資料 5, 6)

(2) 福島第一原子力発電所2号機SFPの水位低下

a) 想定事象

2.の結果より、③及び④については、SFP水位がTAFより高い位置で漏えいが停止するため、原子力災害に至る可能性がある事象は①又は②となる。漏えい量は①より②の方が多いことから、「② SFPライナー部の損傷」により [] のSFP保有水の漏えいが継続する事象を想定ケースとする。

b) EAL判断基準の妥当性及び成立性の評価基準

SFP水位に関する最初に発生するEALがAL31 (TAF+4mの水位) であることから、AL31の水位に到達するまでの間に、その水位に到達したことを評価できるかをEAL判断基準の妥当性及び成立性の評価基準とする。なお、本ケーススタディにおいては、対応できる要員は [] を想定した人数とする。

c) AL31の水位に到達したことを評価するまでの対応

① 地震発生に伴う初動対応、AL地震判断までに要する時間は []

- ② AL地震判断から新事務本館に滞在している各機能班が免震重要棟に参集し、活動を開始するまでに要する時間は []
- ③ 運転員がSFPからの漏えいの可能性に気付く（「1次系差流量 大」（設定値： []）警報発生）までの時間は []
- ④ 運転員がSFP及び冷却系統からの漏えい有無を確認するため、免震重要棟から向かって使用済燃料プール循環冷却系を点検し、原子炉建屋3階の熱交換器エリアの漏えい箇所に着するまでの時間は []
- ⑤ 漏えい箇所を特定し、漏えい量を目視で推定し、その結果を緊急時対策本部に報告するまでに要する時間は []
- ⑥ 運転班において、⑤の漏えい量の情報を基に、原子炉建屋及び廃棄物処理建屋滞留水水位の上昇量と比較してSFPからの漏えいが滞留水になっていることを確認するのに要する時間は []
(添付資料 7, 8)
- ⑦ 運転員からの漏えい量の報告を基に、計画班でSFPライナードレン配管からの最大の漏えい量を推定し、SFP水位低下の評価並びにAL31, SE31及びGE31到達時刻を評価し、緊急時対策本部で共有（発話）する。この評価に要する時間は []

SFP 水位低下時における EAL 判断までの所要時間は、①+②と③+④+⑤は並行して対応が行えることから、以下の関係により成立性の判断を行う。

$$\left. \begin{array}{l} \text{①+② (緊急時対策本部の動き)} \\ \text{③+④+⑤ (運転員の動き)} \end{array} \right\} \text{のいずれか長い方} + \text{⑥} + \text{⑦} < \text{AL31 の到達時刻}$$

計画班が評価結果を緊急時対策本部で共有（発話）するまでの時間は地震発生後、 [] であり、その時点のSFP水位は、TAF [] であり、AL31には到達しておらず、AL31の到達予想時刻にAL31が判断できる。

(添付資料 9, 10)

4. ケーススタディで想定した漏えい量の妥当性について

3. (1)及び(2)では、1号機及び2号機ともにSFPからの漏えい量を [] と仮定している。しかし、設計基準を超えるような大規模な地震を想定すれば、より多い漏えい量となることも想定される。SFPを収容している躯体の損傷などを考えれば、瞬時にGE31に至る事象も考えられなくは無いが、EAL31シリーズに限らず、全てのEALについて、このような瞬時にGE事象に至るケースを想定して、EALの基準を設定しているわけではない。このため、大規模な自然災害を想定してEAL判断基準の妥当性及び成立性を判断する必要は無いものとする。

ただし、漏えい量をパラメータとして、どの程度妥当性及び成立性があるかを確認するため、想定漏えい量の約2倍の [] 及び約4倍の [] で同様に評価を行うこととした。その結果、表－1及び表－2に示す通り、 [] の漏えい量では、1号機及び2号機ともにAL31到達までにEAL到達予想時刻を評価できたが、 [] の漏えい量では、1号機及び2号機ともにAL31到達までにEAL到達予想時刻を評価できないことが確認された。しかし、 [] の漏えいにおいても、SE31到達までには、SE31及びGE31到達予想時刻を評価でき、さらに、仮にSFPの水がSFP底部まで抜けきったとしても、燃料損傷に至ることは無いことから、防護措置が必要となるまでの時間は十分に確保できるものと考えられる。

(添付資料 5, 9)

表－1 漏えい量を変化させた場合のEAL到達時刻評価完了時点でのSFP水位（1号機）

	SFPからの漏えい量
EAL到達予想時刻を評価した時点でのSFP水位	
AL31到達前に評価が完了したか	
SE31到達前に評価が完了したか	
GE31到達前に評価が完了したか	
(参考) AL31に到達する時間	
(参考) SE31に到達する時間	
(参考) GE31に到達する時間	

表－2 漏えい量を変化させた場合のEAL到達時刻評価完了時点でのSFP水位（2号機）

	SFPからの漏えい量
EAL到達予想時刻を評価した時点でのSFP水位	
AL31到達前に評価が完了したか	
SE31到達前に評価が完了したか	
GE31到達前に評価が完了したか	
(参考) AL31に到達する時間	
(参考) SE31に到達する時間	
(参考) GE31に到達する時間	

5. ケーススタディによるEAL判断までの評価

6. 1号機及び2号機におけるSFP水位低下時の補給方法の整理

1号機及び2号機におけるSFP水位低下時のSFP補給手段と所要時間について、表－3のとおり整理した。

表－3 SFP補給方法

SFP補給順位	SFP補給方法	SFP補給までの所要時間	容量
①	既設送水ポンプによる補給		
②	消防車による補給		
③	既設ライン+消防車による補給 (淡水又は海水)		
④	コンクリートポンプによる補給		

7. 結論

1号機及び2号機ともに実際に起こる可能性がある事象の発生を仮定して、SFPからの漏えい量を想定したところ、、AL31到達までの間に、漏えい箇所の確認からEAL到達予想時刻評価に至るまでの対応を行うことができ、AL31到達評価時刻においてAL31の判断を行えることを確認した。これは漏えい量を約2倍程度に増加させた場合でも同じことが言える。以上のことから、これらのケースにおいては、今のEAL判断基準のままでも妥当性及び成立性確認できた。

一方、

SE31及びGE31到達予想時刻を評価できることを確認した。

以 上

評価条件

漏えい量については、下記、評価式を用いて、使用済燃料プールの漏えい量及び水位低下を評価する。

- ・ Q :漏えい量(m^3/h)= $\sqrt{2gh} \times S \times 3600$
(g :重力加速度 h :水頭高さ S :漏えい面積)
- ・ 漏えいに伴う圧力損失については考慮しない。
- ・ 漏えい量が一定で継続するとして評価する。

<燃料プール条件>

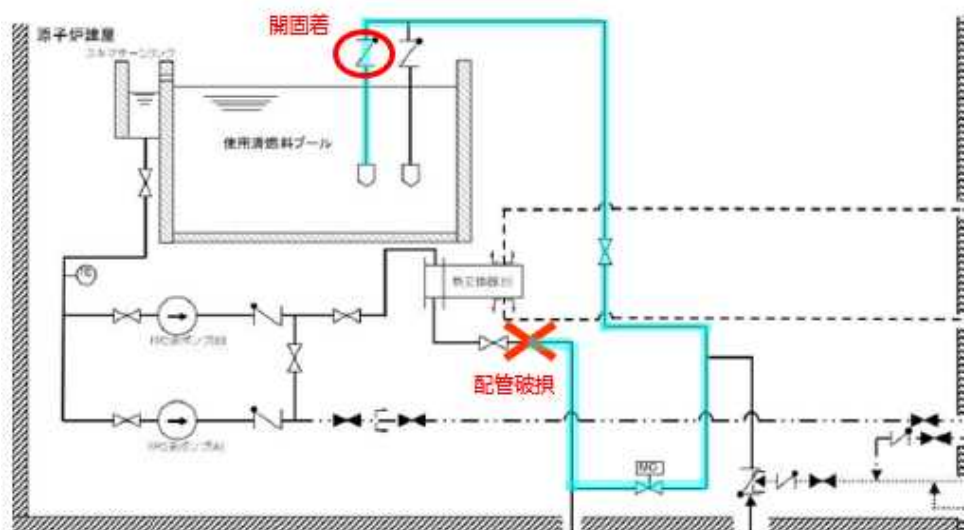
設定条件	1号機	2号機
プール通常水位		
TAF:燃料有効頂部高さ		
通常水位~TAF までの 1m高さあたりのプール体積		

使用済燃料プールサイフォン漏えい

新規基準の設置変更許可では、サイフォン現象による漏えいにおける重大事故等対策の有効性評価を行っており、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉では、配管内径の1/2の長さと同配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラックによる損傷を想定して漏えい量を想定している。(出典「柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉設置変更許可申請書完本」添付書類十 7.3.2.2 (2) b.(b))

設定条件	1号機	2号機
クラック想定配管径		
クラック想定配管肉厚		
破損時の漏えい量		

<漏えいイメージ(1号機)>



評価結果

使用済燃料プールサイフォン漏えい時の主要水位到達予想時間

	1号機	2号機
TAF+4m		
TAF+2m		
TAF		

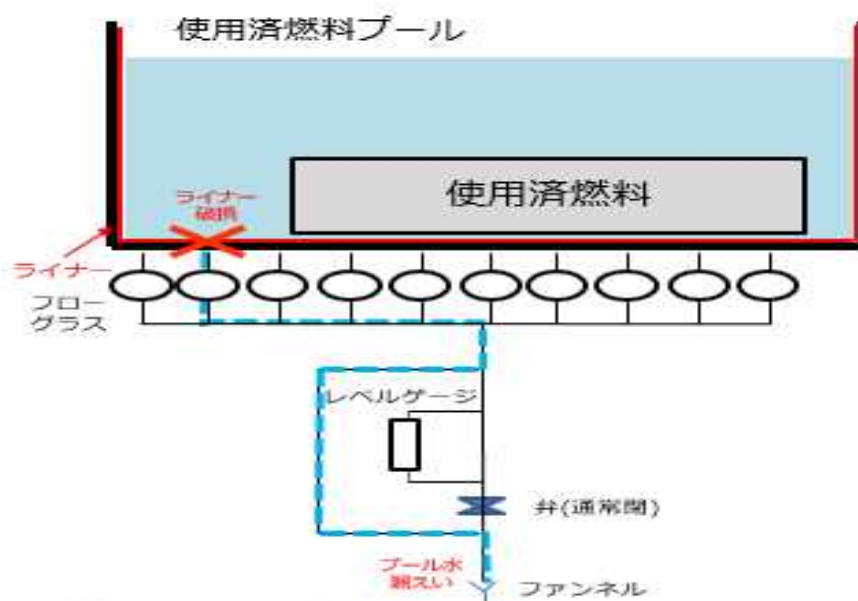
使用済燃料プールライナー破損

大規模な地震の発生により、SFP ライナー部が破損し、かつ、漏えいした SFP の保有水がライナードレン配管に流れ込み、隔離できないままライナードレン配管下流部での破断による漏えいが継続することを想定する。

<ライナー漏えい条件>

設定条件	1号機	2号機
ライナードレン配管径		
破損時の漏えい量		

<漏えいイメージ>



評価結果

使用済燃料プールライナー破損時の主要水位到達予想時間

	1号機	2号機
TAF+4m		
TAF+2m		
TAF		

SFP からの各漏えい量における 1 号機 原子炉建屋 滞留水の水位変化



1号機 SFP 漏えい量と水位低下グラフ (通常水位～TAF まで)



1号機 SFP漏えい発生時のEAL判断までのタイムチャート()

	経過時間	経過時間
対応者		
緊急時 対策要員		
運転員		
運転班		
計画班		

2号機 SFP からの各漏えい量における原子炉建屋 滞留水の水位変化



2号機 SFP からの各漏えい量における廃棄物処理建屋 滞留水の水位変化



2号機 SFP 漏えい量と水位低下グラフ (通常水位～TAF まで)



2号機 SFP漏えい発生時のEAL判断までのタイムチャート()

	経過時間	経過時間
対応者		
緊急時 対策要員		
運転員		
運転班		
計画班		