

# 原子力科学研究所防災業務計画に おけるNSRRのEALについて

令和4年4月6日

日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究所  
研究炉加速器技術部

## ◆ NSRRとは？

- パルス運転を行い原子炉の出力が急上昇する事故（反応度事故）時の原子炉燃料のふるまいを研究するための実験用原子炉。
- 反応度事故時における、原子炉燃料の破損限界や破損により生ずる圧力等を実験的に明らかにすることに貢献。



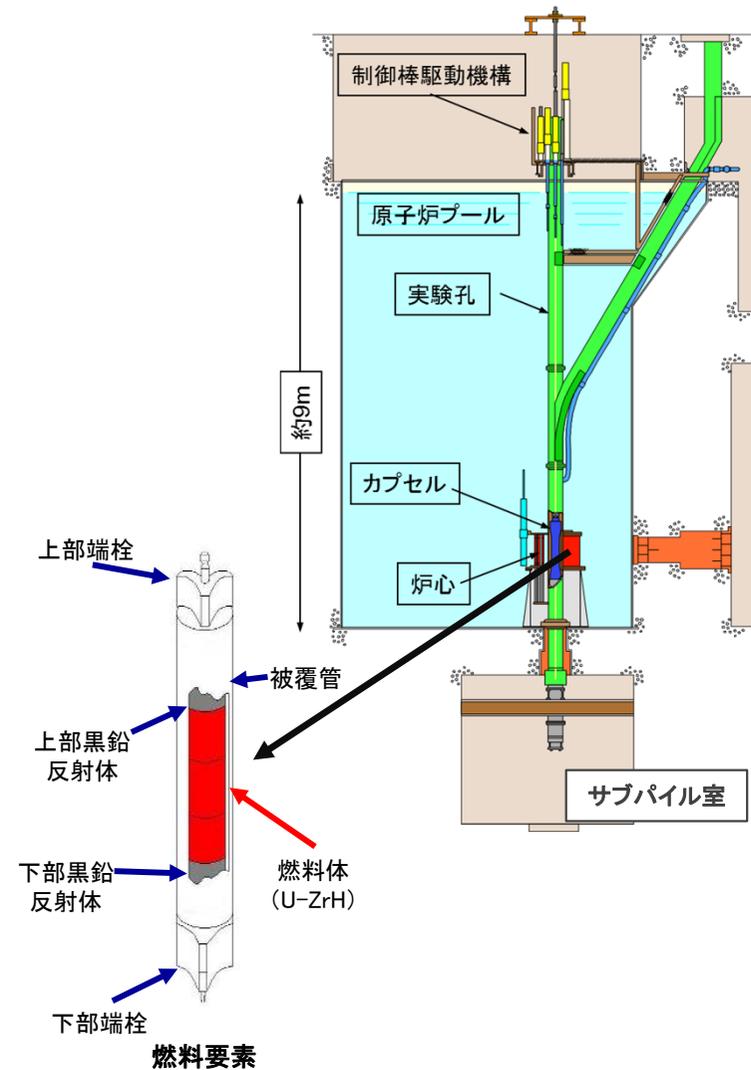
## NSRR建家鳥瞰図

## ◆ 主な成果

- 実験から得られた研究成果は、わが国の安全評価指針や基準、安全審査に反映。
- 今後、福島原発事故究明に関する支援事業として、原子炉内状況の把握のため、事故の際に燃料に生じた種々の現象を把握し理解するための実験を実施。
- この他、原子炉の運転実習を通して原子力人材育成にも貢献。

## NSRRの諸元

炉型	濃縮ウラン燃料水素化ジルコニウム減速非均質型原子炉
臨界年月日	<u>昭和50年6月15日</u>
最大熱出力	<u>300kW(定出力運転)</u> <u>2,300万kW(パルス運転*)</u> <u>(=23,000MW)</u>
炉心形状・大きさ	円柱型 ・等価直径 約63cm ・有効高さ 約38cm
原子炉プール	<u>スィミングプール型(開放型)</u>
制御棒	安全棒2本、調整棒6本、調整用トランジェント棒1本、高速トランジェント棒2本
燃料	<u>TRIGA燃料 濃縮ウラン-水素化ジルコニウム合金(20wt%)</u>
冷却材	軽水
冷却方法	<u>自然循環冷却</u>
運転形態	<u>短時間の運転(デイリー運転)</u>



\* : 1000分の1秒オーダーの極めて短時間だけ出力を上昇させる運転

- 強制冷却を必要とせず、全ての電源を喪失しても炉心の冷却及び炉心の燃料の健全性に影響はない。
- パルス運転を主とした原子炉であり、運転時間が発電炉よりはるかに少ないので、燃料を殆ど消費しない。このため、燃料内に蓄積される核分裂生成物の蓄積量も、発電炉に比べ桁違いに少ない。(46年間(R2.8末)での燃焼度は、0.1%、積算出力は、157,096.2kWh⇒110万kW級発電炉の3分間の積算出力)
- パルス運転時における積算出力は最大で130MW<sub>s</sub>であり、原子炉プール(水量:約146m<sup>3</sup>)の温度上昇は殆ど生じない(約0.2°C上昇)。
- TRIGA燃料を使っているため、反応度制御に異常があっても、速やかに、かつ、自然に出力が低下する性質が強く、極めて高い固有の安全性を有する。
- 停止機能、冷却機能及び閉じ込め機能の喪失(燃料被覆管の全数破損及び建家による閉じ込め機能喪失)を想定しても、周辺公衆に対する放射線被ばくが5mSvを超えることはないため、耐震Sクラス施設を有しない。

## 【NSRR固有の安全性】

燃料の温度が上昇すると、燃料(U-ZrH)に含まれる水素のエネルギーが増し、水素が燃料内の高速中性子にブレーキをかける能力が減る。その結果、燃料から逃げる中性子が増し、核分裂を引き起こす燃料内の熱中性子は減少し、核分裂の反応も減少する。この他、燃料温度上昇によるU-238のドップラー効果(中性子が無駄に吸収される割合の増加)も核分裂の反応を減少させる。(負の反応度効果)

このような固有の安全性により、パルス運転時には燃料温度上昇を起因とした自然現象により出力が低下する。(パルスの終息に制御棒は無関係である。)

NSRRは、その安全上の特徴から、原子炉の停止機能、冷却機能が喪失した場合、放射性物質の放出に至る事故は想定されない。(P.6参照)



停止機能及び冷却機能の喪失を起因として周辺公衆に対する放射線被ばくの防護措置が必要な事象に進展するおそれはないことから現行の防災業務計画における「止める」、「冷やす」に関するEALは削除する。

照射カプセルの破損を仮定した場合 ⇒ 最大0.6mSvの公衆影響 (P.7参照)  
 設計基準を超える地震等の自然現象により建屋の閉じ込め機能などが喪失した場合  
 ⇒ 最大0.5mSvの公衆影響 (P.8,9参照)

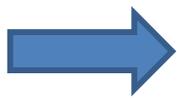


これらは、停止機能、冷却機能の喪失を起因とした事象が進展した結果として発生するものではないことから、引き続き共通のEALにて対応する。

安全機能喪失を起因として、放射線被ばくの防護措置が必要な事象に進展ことが想定されないことから「その他脅威」に関するEAL(制御室と通信連絡設備の機能喪失)も削除する。

➤ 停止機能、冷却機能を喪失した場合の影響

- 最大年間運転時間5.2MWdを運転した直後に原子炉の停止機能喪失、冷却機能喪失(冷却材喪失)が発生したと仮定。
- 燃料温度は最大380°C(<1150°C(異常過渡の判断基準))
- 燃料破損に至らず放射性物質の放出もない。

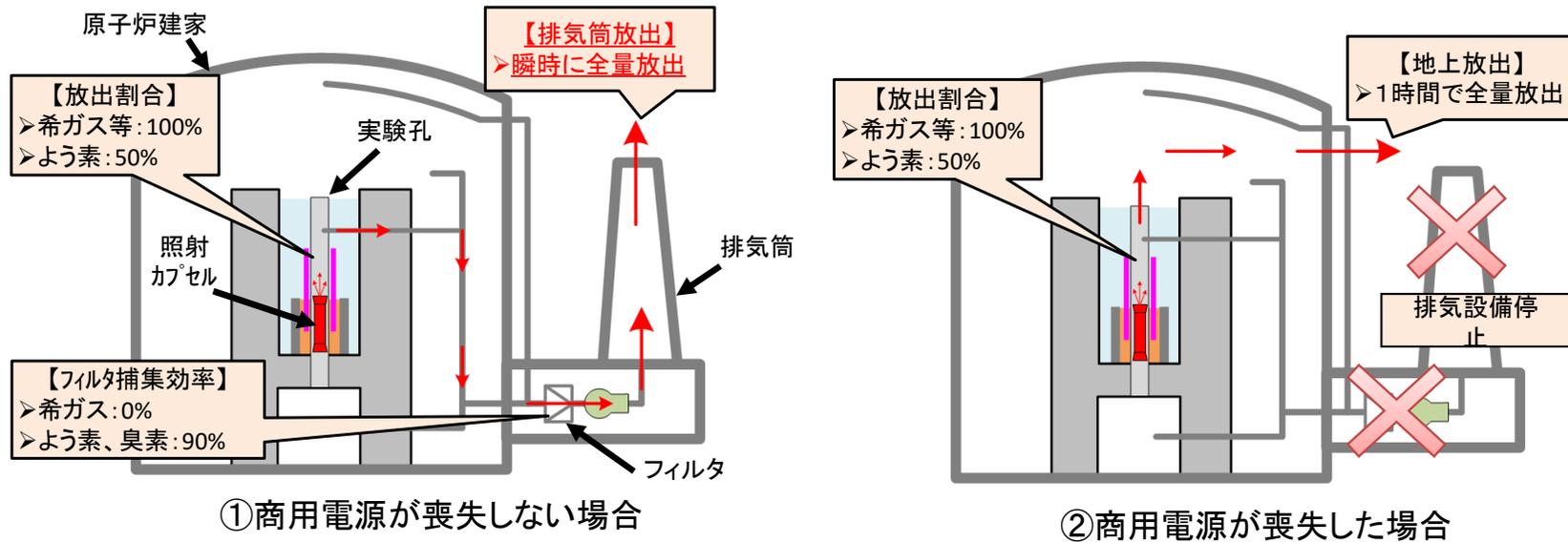


停止、冷却機能の喪失を起因として周辺公衆に対する放射線被ばくの防護措置が必要な事象に発展するおそれはない。  
(原子炉設置変更許可に係る審査において確認済み)

## 設置変更許可申請書添付書類十 設計基準事故より

### ◆ 照射カプセル（未照射酸化ウラン燃料を試験）シール部からの核分裂生成物の漏えいを想定

- 本事象は、パルス運転で照射カプセル内の試験燃料を破損させたときの荷重によりシール不全が発生し、照射カプセル内のFPが漏えいする事象であり原子炉の停止機能、冷却機能の異常を起因として発生するものではない。また、カプセルからのFP漏えいは短時間で収束しそれ以上の進展はない。なお、NSRR実験は照射カプセル内での試験燃料破損を前提としている。

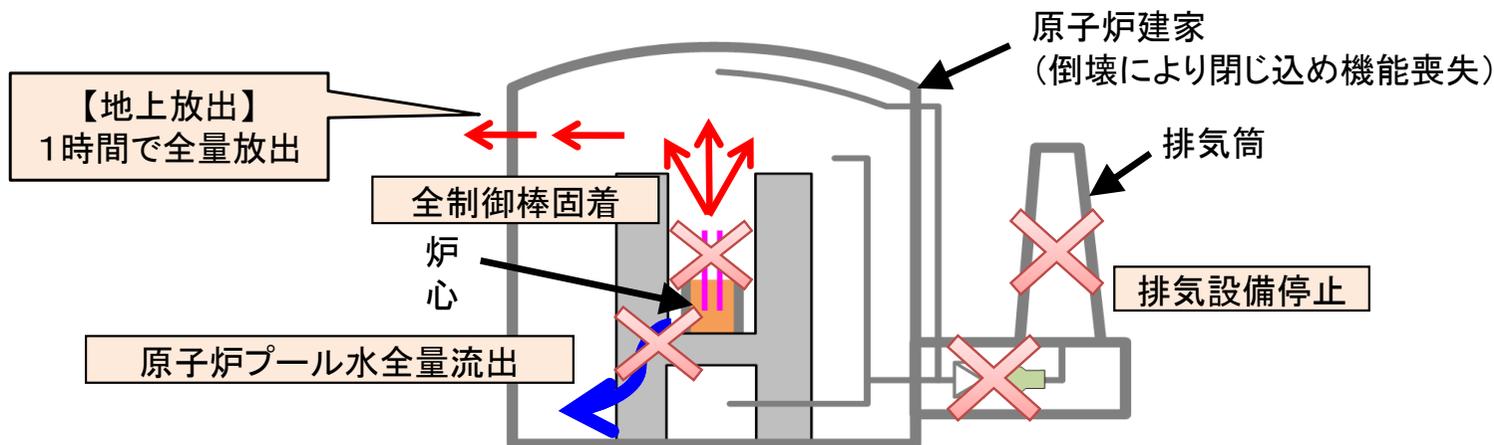


		① 商用電源喪失:なし	② 商用電源喪失:あり
事故シナリオ		1) 気体廃棄設備により排気筒を通して瞬間に核分裂生成物を放出 ・ <u>ヨウ素フィルター経由:有</u> (フィルタ捕集効率90%)	1) 商用電源の喪失に伴う気体廃棄設備の停止 2) 原子炉建家から1時間で核分裂生成物を放出 ・ <u>ヨウ素フィルター経由:無</u>
線量評価	よう素の吸入摂取による小児の実効線量	0.0021 mSv	0.079 mSv
	<u>γ線の外部被ばくによる実効線量</u>	<u>0.60 mSv</u>	<u>0.11 mSv</u>

設置変更許可申請書添付書類八 別紙1より

◆ 地震による安全機能の喪失

原子炉施設の全ての安全機能が喪失した場合の影響を評価した



地震による機能喪失の想定

評価条件	項目	想定 of 保守性
出力	300kW	定出力運転の最大値での運転
運転時間	8時間/日 × 5/週	年間の許可最大時間(5.2MWd)の運転
燃料要素	被覆管の破損	内包する核分裂生成物の放出
機能喪失	停止機能喪失	全制御棒が臨界位置で固着
	冷却機能喪失	原子炉プール水が全量流出
	閉じ込め機能喪失	燃料被覆管が全数破損 フィルタ除去効率及び建家での閉じ込め機能を考慮せず放出

なお、停止機能喪失及び冷却機能喪失では、燃料被覆管の破損には至らない。  
本評価は、具体的な想定はないものの何らかの理由で被覆管が全数破損するものと想定。

## 地震による機能喪失に係る公衆被ばく評価結果

評価項目	評価結果
直接線、スカイシャイン線による影響	<u>約 0.5 mSv*</u>
よう素の吸入による小児の実効線量	<u><math>8.6 \times 10^{-2} \text{mSv}</math></u>
よう素及び希ガスからのガンマ線外部被ばくによる実効線量	<u><math>2.9 \times 10^{-3} \text{mSv}</math></u>

( \* : 敷地境界外の線量が一番高い場所に24時間、365日滞在した場合)

設置変更許可申請書添付書類八 別紙2より

## ◆ 竜巻による安全機能の喪失

竜巻（藤田スケールF3、最大風速：92m/s）による飛来物により、原子炉建家、燃料棟及び機械棟が損傷した場合の影響を評価した。

	①原子炉建家及び機械棟の損傷	②周辺建家の損傷
事象想定	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心の燃料要素が全数破損</li> <li>原子炉プールが破損 (冠水維持機能によりプール水は約4.6mに留まる)</li> <li>気体廃棄物の廃棄施設が停止</li> <li>竜巻通過後に核分裂生成物が建家から放出</li> <li>照射カプセルは、原子炉建家地下の実験孔に装荷されており、飛来物が直撃することはない。また、照射カプセルは堅牢である。よって、飛来物によるカプセルの破損は考慮しない。さらに、カプセルを用いたパルス照射実験（秒単位の照射実験）直後にF3竜巻のようなまれな竜巻によって発生する飛来物が照射カプセルに飛来する可能性は極めて低いため、重畳事象は考慮していない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風荷重、飛来物等の影響により建家が倒壊</li> <li>建家を貫通した飛来物により新燃料要素が破損</li> <li>建家が損傷した場合でも燃料貯蔵庫内の風速は僅かであり燃料要素は飛出ることはない</li> <li>気体廃棄物の廃棄施設が停止</li> </ul>
敷地境界外での影響	周辺公衆の放射線被ばくは、前述の「自然現象により安全機能を喪失した場合の評価(地震)」に包絡される。	燃料要素が破損し、飛散した場合でも周辺公衆に優位な被ばく影響を及ぼすおそれはない。貯蔵制限量のウラン燃料の放出を想定した場合でも、公衆への被ばく影響は $1.8 \times 10^{-4} \text{mSv}$ となる。

竜巻による影響を考慮しても、周辺公衆の放射線被ばくは1 mSvを超えない。

設置変更許可申請書添付書類八 別紙3より

## ◆ 火山事象による安全機能の喪失

火山の影響（降下火砕物）により、原子炉建家、燃料棟及び機械棟が損傷した場合の公衆影響を評価した。

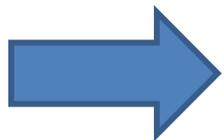
	①原子炉建家の損傷	②燃料棟の損傷
事象想定	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心の燃料要素が全数破損</li> <li>気体廃棄物の廃棄施設が停止</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯蔵中の新燃料が一部破損</li> <li>気体廃棄物の廃棄施設が停止</li> </ul>
敷地境界外での影響	<p>周辺公衆の放射線被ばくは、前述の「自然現象により安全機能を喪失した場合の評価(地震)」に包絡される。</p>	<p>燃料要素が破損し、飛散した場合でも周辺公衆に優位な被ばく影響を及ぼすおそれはない。貯蔵制限量のウラン燃料の放出を想定した場合でも、公衆への被ばく影響は<math>1.8 \times 10^{-4}</math>mSvとなる。</p>

火山による影響を考慮しても、周辺公衆の放射線被ばくは1 mSvを超えない。

SE(停止機能の喪失)

EAL区分	EAL番号	政令又は規則	EAL事象	説明
止める	-	規則第7条第1項 第1号表中ホ-(1)	<p>&lt;原子炉停止の失敗または停止確認不能&gt;                      原子炉の非常停止が必要な場合において、原子炉を停止する全ての機能が喪失すること。</p>	原子炉運転中において、制御棒の挿入が確認できない場合。

- NSRRの原子炉停止系は、制御棒のみである(制御棒:11本)
- スクラムが発生した場合、制御棒駆動機構※と制御棒をつなぐ電磁石の励磁が切れ1秒以内に原子炉は停止かつ未臨界維持
- 制御棒の挿入に機械的な荷重は必要なく自由落下で炉心に挿入される
- 冷却材の上昇流や内圧の上昇など制御棒の挿入を阻害する要素はない



全ての制御棒が挿入されない事態は想定されない

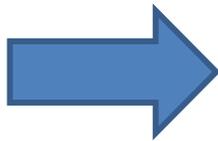
なお、想定されないが、原子炉停止機能をすべて喪失した場合でもP.4に記載した固有の安全性からパルス運転時においても燃料破損に至ることはない。

※:制御棒の駆動はモータによりシャフトを上げ下げする単純構造である。

SE(冷却機能の喪失)

EAL区分	EAL番号	政令又は規則	EAL事象	説明
冷やす	-	規則第7条第1項 第1号表中ホ-(2)	<原子炉冷却機能の喪失> 原子炉を冷却する全ての機能が喪失したこと。	原子炉運転中において、原子炉プール水が漏えいし、炉心が露出した場合。

- 原子炉プール水位低でのスクラム※を設けており、運転を継続したまま炉心が露出することはない。(満水(水位9m)から0.5mの水位低下でスクラム)
- 原子炉プール水は、プールのライニングとプール直下に設置した冠水維持のためのサブパイル室(水密構造)により2重に漏えいを防止しており炉心が露出することとは想定されない。(ライニングから漏えいした場合もサブパイル室により満水(水位9m)から約4.5mの水位低下にとどまる)



原子炉の冷却機能の喪失は想定されない。

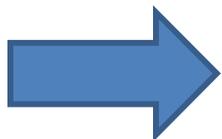
なお、想定されないが、冷却材を喪失し運転停止直後に燃料要素が大気中に露出した場合でも、燃焼度が低いことから燃料破損に至ることはない。(最大380℃ < 1150℃(異常過渡の判断基準))

※: 検出器の2個のうち1個でも異常を検出するとスクラムするよう回路を設けている。

SE(制御室の機能喪失)

EAL区分	EAL番号	政令又は規則	EAL事象	説明
冷やす	-	規則第7条第1項 第1号表中ホ-(3)	<原子炉制御室の一部の機能喪失・警報喪失> 原子炉制御室が使用できなくなること。	原子炉制御室に火災等の事象が発生し、計測制御システムが正常に作動しない場合。

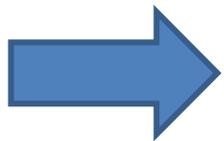
- 制御室で異常が発生した場合は、手動スクラムにより1秒以内に原子炉を停止可能
- 原子炉停止後、冷却は不要
- 原子炉は制御盤での手動スクラム以外にも、制御室外の安全スイッチなど複数の手段で停止させることが可能
- 設計基準事故が発生した場合でも、制御棒を挿入することにより原子炉を停止して以降、制御室での操作を必要としない



制御室の機能を失った場合でも原子炉に異常が発生するおそれはない

GE(冷却機能及び停止機能の喪失)

EAL区分	EAL番号	政令又は規則	EAL事象	説明
冷やす・止める	-	規則第14条第1項 第1号表中ホ-(1)	<p>&lt;停止機能及び冷却機能の喪失&gt;                      原子炉の非常停止が必要な場合において、原子炉を停止する全ての機能が喪失し、かつ、原子炉を冷却する全ての機能が喪失すること。</p>	原子炉運転中において、制御棒の挿入が確認できない場合であって、かつ、原子炉プール水が漏えいし、炉心が露出した場合



P.12、P.13に示すとおり、全ての制御棒が挿入されない事態及び冷却機能を喪失する事態は想定されないことからGEに至ることは想定されない。