



中部電力

# 浜岡3号機 RPV監視試験 中性子ドシメータの減衰に伴う対応方針について

2021年5月20日  
中部電力株式会社

No.	前回コメント	ページ 番号
1	JEACや高経年化対策実施ガイドに記載の要求事項についての説明を記載すること。	8,9
2	中性子ドシメータの測定結果が評価式（中性子照射量、中性子束等）中にどのように用いられているかの説明を記載すること。	4,5
3	中性子ドシメータの早期取出しの必要性について評価式をもとにした説明を記載すること。	5
4	浜岡3号機におけるこれまでの監視試験片取り出し時期、4回目の取出し時期、運転年数、停止期間およびEFPYの関係を一覧で記載すること。	10
5	中性子ドシメータの種類を記載すること。	5
6	仮に運転していた場合に、早期（1.5EFPY程度）に取出すことによるEFPYの差が評価にどの程度影響するかの説明を記載すること。	7

# 1 | 監視試験概要

原子炉運転中の中性子照射による原子炉圧力容器の照射脆化を監視する目的で、圧力容器材料と同じ材料でできた監視試験片をあらかじめ圧力容器内に装荷している。この試験片を定期的に取り出し、衝撃試験等を行うことによって、関連温度移行量等を確認し、将来の圧力容器の健全性を評価している。

監視試験片用カプセル内には、中性子ドシメータ（ワイヤ状の金属材料）を封入しており、監視試験時に他の試験片と合わせて取り出し、放射能測定を行い監視試験片が受ける中性子照射量を評価している。

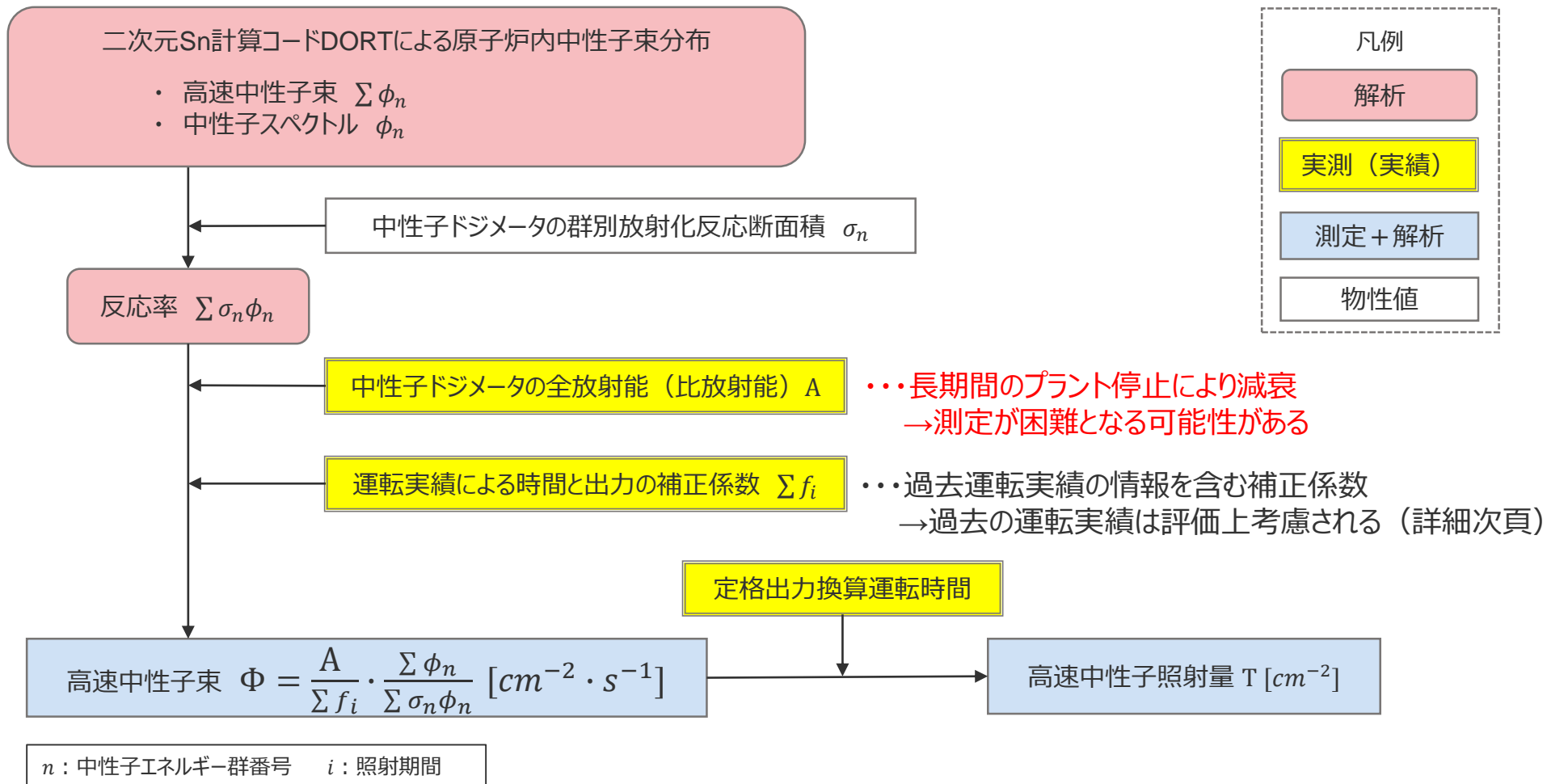
<原子炉を真上から見た図>

<監視試験片用カプセル>



## 2 | 中性子照射量評価の概要

中性子量評価の概要を以下に示す。中性子ドシメータから中性子照射量を算出するために、中性子ドシメータの放射能測定を行い、中性子エネルギーと生成反応断面積等から中性子束を算出している。中性子束にプラントの運転時間（EFPY）を乗じることにより、中性子照射量を評価している。



### 3 | 早期取出しの必要性

運転実績による時間と出力の補正係数には、設備利用率および評価核種の照射期間における生成と冷却期間における減衰に係る係数が含まれることから、中性子束評価においては装荷以降、取り出しまでの全期間の照射履歴が考慮される。

一方で、中性子ドシメータの全放射能は評価核種の半減期に従い減衰し、その数値が測定時のバックグラウンド（ドシメータに含まれる不純物元素の放射化物であるCo-60等によるもの）以下となる可能性があることから、早期取出しを検討している。

$$\text{高速中性子束 } \Phi = \frac{A}{\sum f_i} \cdot \frac{\sum \phi_n}{\sum \sigma_n \phi_n} [cm^{-2} \cdot s^{-1}]$$

$$\text{運転実績による時間と出力の補正係数 } f_i = \underbrace{a_i(1 - e^{-\lambda t_i})}_{\text{生成に係る係数 (補足1参照)}} \cdot \underbrace{e^{-\lambda T_i}}_{\text{減衰に係る係数 (補足2参照)}}$$

$a_i$  : 照射期間*i*の炉出力の定格出力に対する割合（設備利用率）      $\lambda$  : 生成核の崩壊定数  
 $t_i$  : 照射期間*i*における照射時間      $T_i$  : 照射期間*i*における冷却時間

#### 【補足1】放射化の一般式

試料とする元素を  $t$  時間照射して照射直後に得られる生成核の放射能  $A$  は次式であらわされる。

$$A = f\sigma N(1 - e^{-\lambda t})$$

#### 【補足2】減衰の一般式

照射直後の放射能を  $A_0$  とすると、 $t$  時間後の放射能  $A$  は次式であらわされる。

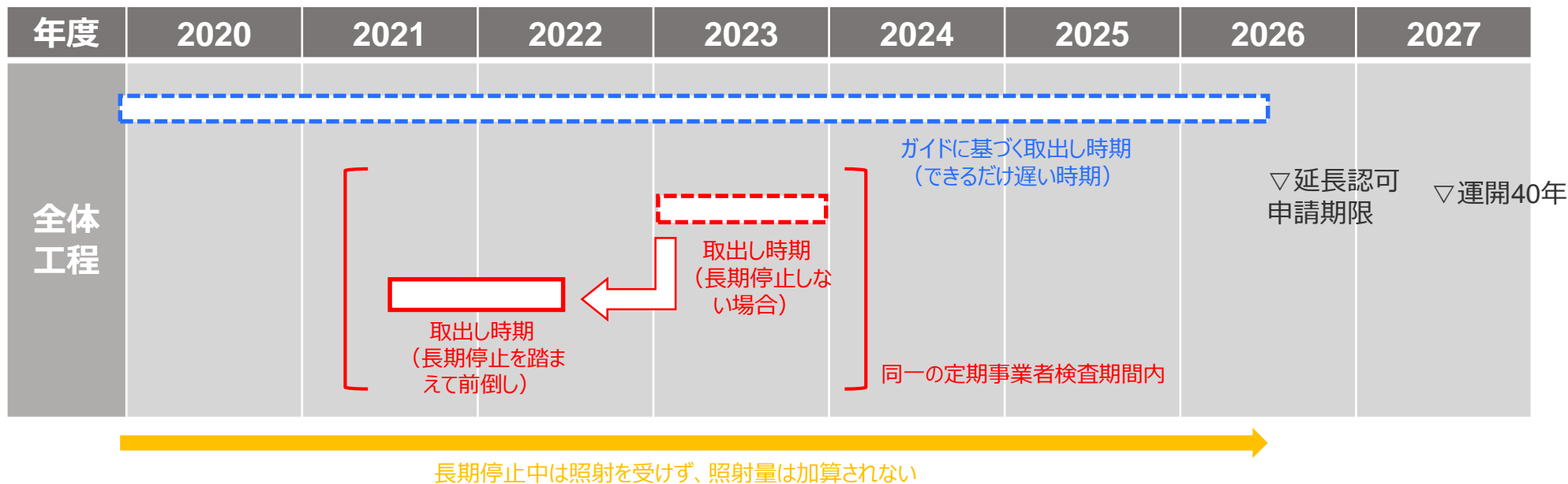
$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$f$  : 照射粒子束密度  
 $\sigma$  : 放射化断面積  
 $N$  : 試料元素の原子数  
 $\lambda$  : 生成核の崩壊定数

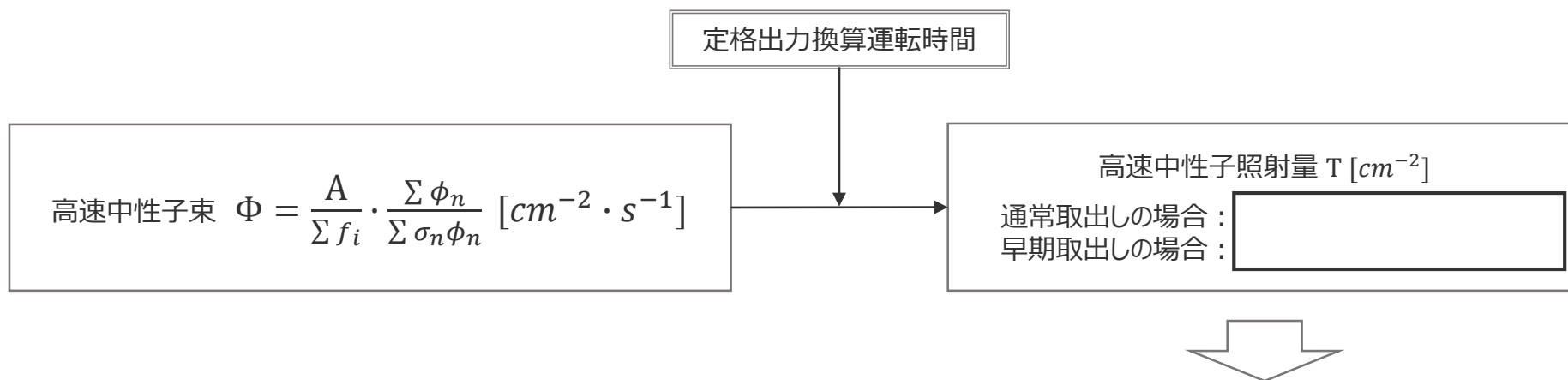
## 浜岡3号機 監視試験工程（案）

監視試験片の取出し、評価については、JEAC4201-2007（参考資料（1）参照）および実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド（以下、ガイドという（参考資料（2）参照））に要求があり、浜岡3号機については次回の取出しはガイド記載の評価期間および運転延長認可申請期限を踏まえ2023年度に計画している（参考資料（3）参照）。

プラント停止の長期化による中性子ドシメータの放射能減衰を考慮し、照射量が加算されない長期停止の期間内で早期（2021～2022年度）に取り出し、試験を行いたい。このことは、できるだけ遅い時期に取り出しを行うというガイドの記載に照らして問題のないことを確認したい（面談確認事項）。



現在3号機は停止中であることから中性子照射量は増加しないものの、運転状態を仮定した場合に、早期取出しの中性子照射量評価への影響として、1.5EFPY分の照射量の減少による関連温度移行量 $\Delta RT_{NDT}$ （計算値）を試算した（※）。



関連温度移行量 $\Delta RT_{NDT}$ （計算値）は、JEAC 4201-2007(2013追補版)に従い評価する。上記程度の高速中性子照射量の差であれば、関連温度移行量 $\Delta RT_{NDT}$ （計算値）への影響は $1^{\circ}C$ 以下であり、影響は小さいと考える。

※ 1.5 EFPY分早く取り出し、取り出し後の照射期間を評価に含めない場合の影響を比較として示す。中性子束としては、浜岡3号機第2回監視試験結果より、を仮定した。また、早期取出しの場合の定格出力換算運転時間として至近停止時の3号機の数値であるを仮定した。

### JEAC要求（JEAC4201-2007 抜粋）

#### SA-2320 中性子ドシメータ

- (1) 監視試験片が受ける中性子照射量を監視するために中性子ドシメータを装備する。中性子ドシメータは、Fe, Ni, Co 等を使用するとよい。
- (2) 中性子ドシメータは、すべての試験用カプセル内に封入する。
- (3) (2)のほか、別の位置の照射条件を監視するために試験用カプセルとは別の中性子ドシメータ用カプセルを用意し、適切な位置に置いてよい。

#### SA-3200 中性子照射量の評価

- (1) 中性子束、中性子エネルギースペクトル、監視試験片の中性子照射量（ $E > 1\text{MeV}$ ）、並びに原子炉圧力容器内面及び（1/4）tの位置における中性子照射量の最大値を決定する。
- (2) 中性子照射量は、(1)の計算により決定した中性子束、中性子エネルギースペクトル及び中性子ドシメータによる測定値により決定する。
- (3) 再装荷した試験片については、その照射履歴を考慮した評価を実施する。



### ガイド要求（高経年化対策実施ガイド 抜粋）

- 原子炉等規制法第43条の3の32の規定による運転することができる期間の延長を行う発電用原子炉に係る運転開始後40年を迎える高経年化技術評価においては、運転開始後30年を経過する日から10年以内のできるだけ遅い時期に監視試験片を取り出し、監視試験を行うこと。なお、監視試験片の取り出し時期は、試験等に要する期間（3年程度を目安）を考慮した上で、3. 3①□の申請書の提出期限に最も近い定期事業者検査（原則として計画外の原子炉停止によるものを除く。）の時期とすること。
- 3. 3①□：実用炉規則第82条第2項の規定に係るものについては、運転開始後39年を経過した日までで、かつ、原子炉等規制法第43条の3の32第4項の規定による申請の当該申請日以降

## 浜岡3号機の監視試験片取出し実績および予定 (※1, 2)

年度		運転年数	監視試験に係る事柄
西暦	和暦		
1987	昭和62	0	営業運転開始 (1987.8.28)
1988	昭和63	1	
1989	平成1	2	
1990	平成2	3	試験片取出し (加速照射試験片)
1991	平成3	4	
1992	平成4	5	
1993	平成5	6	
1994	平成6	7	
1995	平成7	8	JEACに基づく取出し (監視試験片①)
1996	平成8	9	
1997	平成9	10	
1998	平成10	11	
1999	平成11	12	
2000	平成12	13	
2001	平成13	14	
2002	平成14	15	

年度		運転年数	監視試験に係る事柄
西暦	和暦		
2003	平成15	16	
2004	平成16	17	
2005	平成17	18	
2006	平成18	19	
2007	平成19	20	
2008	平成20	21	
2009	平成21	22	
2010	平成22	23	第17回定検入り (2010.11)
2011	平成23	24	
2012	平成24	25	
2013	平成25	26	
2014	平成26	27	
2015	平成27	28	
2016	平成28	29	
2017	平成29	30	

年度		運転年数	監視試験に係る事柄
西暦	和暦		
2018	平成30	31	
2019	令和1	32	停止期間
2020	令和2	33	
2021	令和3	34	
2022	令和4	35	
2023	令和5	36	ガイドに基づく取出し(監視試験片②)
2024	令和6	37	
2025	令和7	38	
2026	令和8	39	運転期間延長認可申請期限
2027	令和9	40	

※1 監視試験片③は、監視試験片②の取り出し以降に迎える、JEACに基づく取出し時期またはガイドに基づく取出し時期のうち、いずれか早い方に基づき取出す。  
 ※2 浜岡4, 5号機については、現時点では長期停止期間中の監視試験片取出し予定はない。