

電気技術規程  
原子力編

## 原子炉構造材の監視試験方法

JEAC 4201-2007  
[202X 年追補版]

一般社団法人 日本電気協会  
原子力規格委員会

## 原子炉構造材の監視試験方法 JEAC 4201-2007 202X 年追補版

JEAC 4201-2007, JEAC 4201-2007 [2010 年追補版] 及び JEAC 4201-2007 [2013 年追補版] のうち, 以下の内容を追加する。

- ・ SA-1200 用語の定義(20)
- ・ (解説-SA-2363-3) 長期監視試験計画への移行時期
- ・ (解説-SA-2363-4) 相当運転期間での $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が 28°C以下の長期監視試験計画
- ・ (解説-SA-2363-5) 長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期の置き換え
- ・ (解説-SA-2363-6) 原子炉圧力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が  $2.4 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を上回る場合の試験用カプセルの取り出し時期

また, 上記規格のうち, 以下の内容を置き換える。

- ・ SA-2362 標準監視試験計画
- ・ SA-2363 長期監視試験計画
- ・ (解説-SA-2362-1) 標準監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期
- ・ (解説-SA-2363-1) 長期監視試験計画の策定
- ・ (解説-SA-2363-2) 長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期

### SA-1200 用語の定義

(20)  $\Delta RT_{NDT}$  計算値: 附属書 B の B-2100 の②により求めた関連温度移行量 ( $\Delta RT_{NDT}$ ) の計算値のことをいう。

### SA-2362 標準監視試験計画

標準監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期は次による。

- (1) 原子炉圧力容器 (少なくとも内面及び $(1/4)t$  の位置) 及び各試験用カプセルが受ける中性子束 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) を見積り, 各試験用カプセル内の監視試験片に対するリードファクタを求める。
- (2) (1)により求めたリードファクタ, 相当運転期間における中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) 及び $\Delta RT_{NDT}$ 計算値を考慮し, 表-SA-2362-1 に基づいて試験用カプセルの取り出し時期を定める。試験用カプセルの取り出しは, これらの値に近いプラント停止時期に合わせて行う。

#### (解説-SA-2362-1)

なお, 相当運転期間を超えて運転しようとするときは, SA-2363 に従い長期監視試験計画を策定する。また, 相当運転期間における原子炉圧力容器内面の $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が 28°C以下であり, 長期監視試験計画に移行する場合には, 表-SA-2362-1 における最終回時のカプセルの取り出し時期は, SA-2363 に従い定め直し, 最終回時のカプセル ( $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が 28°C以下の第 3 カプセル) を長期監視試験計画の試験用カプセルとして扱ってもよい。

表-SA-2362-1 最少カプセル数及び取り出し時期

		相当運転期間における原子炉圧力容器内面の 関連温度移行量 $\Delta$ の範囲 ( $\Delta = \Delta RT_{NDT}$ 計算値) (°C)			
		$\Delta \leq 28$	$28 < \Delta \leq 56$	$56 < \Delta \leq 111$	$111 < \Delta$
最少カプセル数 (個)		3	3	4	5
取り出し時期 (EFPY) (注7)	第1カプセル	12 <sup>(注1)</sup>	6 <sup>(注2)</sup>	3 <sup>(注2)</sup>	1.5 <sup>(注2)</sup>
	第2カプセル	24 <sup>(注3)</sup>	15 <sup>(注3)</sup>	6 <sup>(注4)</sup>	3 <sup>(注5)</sup>
	第3カプセル	相当運転期間 <sup>(注6)</sup>	相当運転期間 <sup>(注6)</sup>	15 <sup>(注3)</sup>	6 <sup>(注4)</sup>
	第4カプセル	—	—	相当運転期間 <sup>(注6)</sup>	15 <sup>(注3)</sup>
	第5カプセル	—	—	—	相当運転期間 <sup>(注6)</sup>

- (注) 1. 本表の時期, 又は監視試験片の中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が  $5 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) を超える時期のうち, いずれか早い方。
2. 本表の時期, 又は監視試験片の中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が  $5 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) を超える時期あるいは最大のリードファクタを示す監視試験片の  $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  と計算される時期のうち, いずれか早い方。
3. 本表の時期, 又は監視試験片の中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が, 相当運転期間に原子炉圧力容器が内面で受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) に到達する時期のうち, いずれか早い方。
4. 本表の時期, 又は監視試験片の中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が, 相当運転期間に原子炉圧力容器が  $(1/4)t$  の位置で受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) に到達する時期のうち, いずれか早い方。
5. 本表の時期, 又は監視試験片の中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が第1カプセル及び第3カプセルの中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) の中間となる時期。
6. 監視試験片の中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が, 相当運転期間に原子炉圧力容器が内面で受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) の1倍以上2倍以下であること。ただし, 先行試験結果に基づき変更してもよい。
7. 原子炉圧力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が  $2.4 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を上回る場合は, 原子炉圧力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が, これまでに取り出された監視試験片の中性子照射量を超えない時期に, 新たな試験用カプセルを取り出すこと。

### SA-2363 長期監視試験計画

相当運転期間を超えて運転するときに長期監視試験計画へ移行する。この場合、運転計画、最少カプセル数、試験用カプセル内の監視試験片に対するリードファクタ及び過去の脆化量等を考慮して、あらかじめ長期監視試験計画を策定する。

(解説-SA-2363-1)

なお、長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期は次による。

- (1) 長期監視試験計画における試験用カプセルは、相当運転期間を超える時点から表-SA-2363-1 に示す定格負荷相当年数の間隔となるように取り出す。

(解説-SA-2363-2 及び解説-SA-2363-3)

ただし、相当運転期間における原子炉圧力容器内面の $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が $28^{\circ}\text{C}$ 以下の場合には、SA-2362 で設定された標準監視試験計画の最終回時のカプセル( $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が $28^{\circ}\text{C}$ 以下の第3カプセル)の取り出し時期を、その前のカプセルの取り出しから表-SA-2363-1 に示す定格負荷相当年数の間隔の時期に変更してもよい。(解説-SA-2363-4)

- (2) (1)で定める試験用カプセルの取り出しは、これらの値に近いプラント停止時期に合わせて行う。また、(1)で定める間隔の時期よりも早く試験用カプセルの取り出しを行う場合、当該カプセルについては(1)で定める時期で取り出したものと置き換え、次回の取り出し時期はこの置き換えた時期から(1)で定める間隔としてもよい。

(解説-SA-2363-5)

表-SA-2363-1 長期監視試験計画における取り出し間隔

	相当運転期間における原子炉圧力容器内面の 関連温度移行量 $\Delta$ の範囲 ( $\Delta = \Delta RT_{NDT}$ 計算値) ( $^{\circ}\text{C}$ )	
	$\Delta \leq 56$	$56 < \Delta$
取り出し間隔 (EFPY) (注1)	16	8

- (注) 1. 原子炉圧力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が  $2.4 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を上回る場合には、相当運転期間での $\Delta RT_{NDT}$ 計算値によらず、8EFPYの間隔となるように、また、原子炉圧力容器内面の中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が、これまでに取り出された試験用カプセルの中性子照射量を超えない時期に、新たな試験用カプセルを取り出すこと。(解説-SA-2363-6)

#### (解説-SA-2362-1) 標準監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期

JEAC4201-2007では、それまでの試験用カプセルの取り出し時期は相当運転期間が32EFPYであることを前提としたものであったのに対し、これを超えて運転を行う原子炉に対しても計画的な取り出し時期の設定ができるように、相当運転期間以降における試験用カプセルの取り出し時期をSA-2363に長期監視試験計画として新設した。SA-2362はこれに伴い、相当運転期間までの試験用カプセルの取り出し時期を改めて標準監視試験計画としたものである。

一般的に、関連温度移行量( $\Delta RT_{NDT}$ )は、運転初期の段階での移行量が大きく中性子照射量の増加に伴って漸増する傾向となることから、標準監視試験計画ではこの傾向を踏まえて、相当運転期間での $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が大きいプラントについては、試験用カプセル数を増やし、また、初期段階での取り出し間隔を短く設定することにより、供用期間中の原子炉压力容器の脆化量を的確に把握できるように配慮している。

ここで、鋼材の不純物成分が低く中性子照射脆化に対する感受性の低い供試材を対象として、相当運転期間での $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が28℃以下であると推定される場合には、供用期間中の $\Delta RT_{NDT}$ の推移が非常に緩やかであることから、試験用カプセルの取り出し時期をほぼ等間隔(相当運転期間の約1/3、約2/3)としている。なお、既に6EFPYで第1カプセルを取り出した原子炉压力容器においても、相当運転期間での $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が28℃以下となる場合は、その第1カプセルのデータを表-SA-2362-1の区分「 $\Delta RT_{NDT}$ 計算値 $\leq$ 28」の第1カプセル(12EFPY)に置き換え、以降は区分「 $\Delta RT_{NDT}$ 計算値 $\leq$ 28」の取り出し時期としてよい。

また、過去に制定されたガイド<sup>[1],[2]</sup>等の要求により、表-SA-2362-1に記載の取り出し時期より早く試験用カプセルを取り出した場合は、表-SA-2362-1の取り出し時期で取り出したものと置き換えてよい。

#### (解説-SA-2363-1) 長期監視試験計画の策定

標準監視試験計画における相当運転期間以降においても、実際の照射環境下にある部材の照射効果を適切に確認するため、運転計画、最少カプセル数、試験用カプセル内の監視試験片に対するリードファクタ及び過去の脆化量に加え、関連する技術基準規則<sup>[3]</sup>による監視試験の実施要求等を考慮して標準監視試験計画から長期監視試験計画へ移行する前に長期監視試験計画を策定する。なお、当初の長期監視試験計画から運転期間を変更する場合は、適切な間隔で試験用カプセルを取り出す計画に見直す必要がある。

#### (解説-SA-2363-2) 長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期

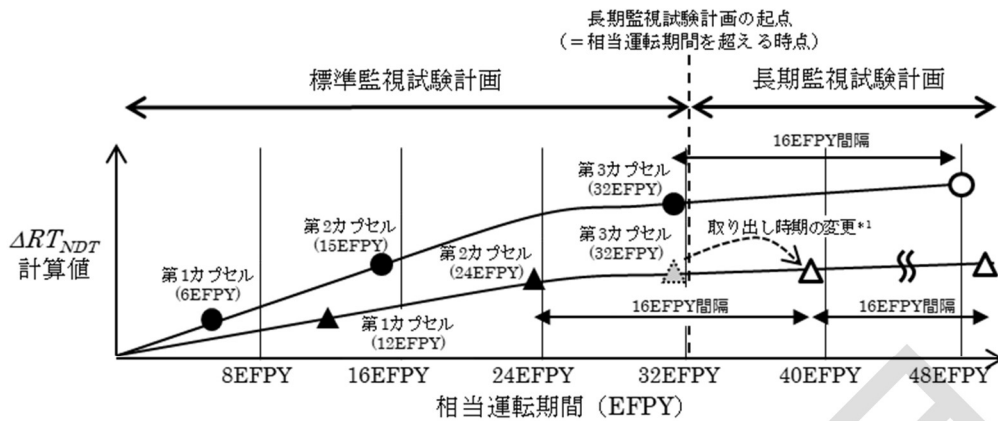
長期監視試験計画では標準監視試験計画に比べ試験用カプセル取り出し時期の間隔を延ばして対応することも考えられるが、関連温度移行量( $\Delta RT_{NDT}$ )の変化を定期的に確認する観点か

ら一定間隔の取り出しを継続することとした。

また、関連する技術基準規則の解釈<sup>3)</sup>における原子炉圧力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) が  $2.4 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を上回る場合の以下に示す取り出し時期の観点も考慮することとした。

- ・原子炉圧力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) がこれまでに取り出された監視試験片の中性子照射量を超えない時期に取り出す。
- ・運転開始後 40 年を超えて運転を行う場合には、運転開始後 40 年から 50 年の間の時期に少なくとも 1 度、更に運転開始後 50 年から 60 年の間の時期に少なくとも 1 度取り出す。

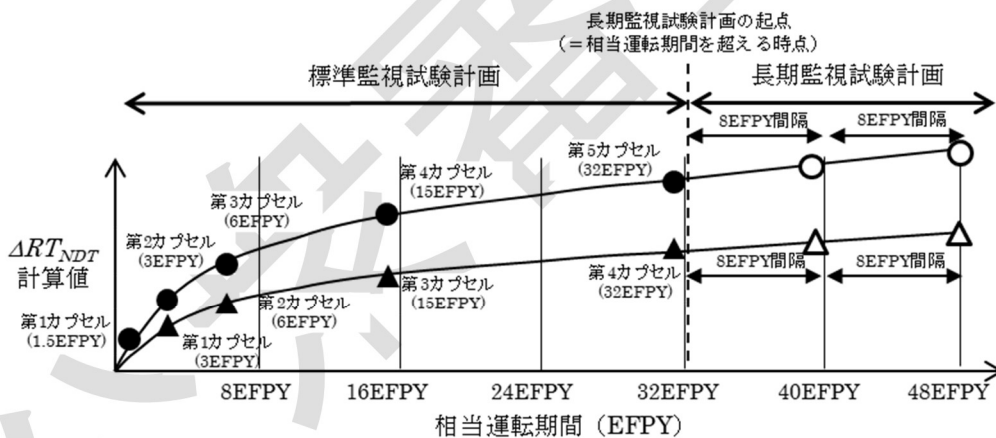
長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期について  $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $56^\circ\text{C}$  以下の場合の例を解説図-SA-2363-1 に、 $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $56^\circ\text{C}$  を超える場合の例を図-SA-2363-2 に示す。ここで、試験用カプセルの取り出し時期については、上記技術基準規則の解釈における要求事項を踏まえ、経過時間を指標として運転開始後 40 年から 60 年の間に原子炉圧力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) に応じて 1~2 回の監視試験の実施が必要となることから、これらの取り出し実績を活用するとともに、適切な間隔を確保して取り出しが継続できるように関連温度移行量 ( $\Delta RT_{NDT}$ )、中性子照射量及び標準監視試験計画の最少カプセル数に応じて試験用カプセルの取り出し時期を定めることとし、標準監視試験計画の最少カプセル数及び取り出し時期を決める指標として使用している  $\Delta RT_{NDT}$  計算値  $56^\circ\text{C}$  を基準として区分することとした。すなわち、 $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $56^\circ\text{C}$  以下の場合については、比較的脆化が進みにくいことから、標準監視試験計画の取り出し間隔と同等になるよう 16 EFPY の間隔とし、 $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $56^\circ\text{C}$  を超える場合については、上記の技術基準規則の解釈における要求事項を踏まえ、より短い間隔で脆化の傾向を確認するため、8 EFPY の間隔で取り出すこととした。



- ▲ :  $\Delta RT_{NDT}$  計算値  $\leq 28$  の場合の標準監視試験計画に基づく取り出し
- △ :  $\Delta RT_{NDT}$  計算値  $\leq 28$  の場合の長期監視試験計画に基づく取り出し
- :  $28 < \Delta RT_{NDT}$  計算値  $\leq 56$  の場合の標準監視試験計画に基づく取り出し
- :  $28 < \Delta RT_{NDT}$  計算値  $\leq 56$  の場合の長期監視試験計画に基づく取り出し

(注) 1 : 相当運転期間での  $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $28^{\circ}\text{C}$  以下の場合には、第3カプセルを長期監視試験計画の試験用カプセルとして扱い、その取り出し時期を第2カプセルの取り出し時期から 16 EFPY の間隔の時期に変更してもよいこととした。

解説図-SA-2363-1 長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期  
( $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $56^{\circ}\text{C}$  以下の場合)



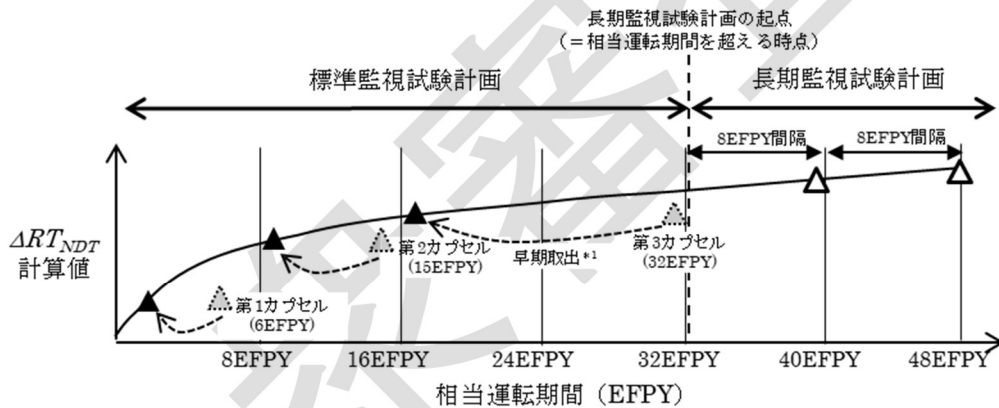
- ▲ :  $56 < \Delta RT_{NDT}$  計算値  $\leq 111$  の場合の標準監視試験計画に基づく取り出し
- △ :  $56 < \Delta RT_{NDT}$  計算値  $\leq 111$  の場合の長期監視試験計画に基づく取り出し
- :  $111 < \Delta RT_{NDT}$  計算値の場合の標準監視試験計画に基づく取り出し
- :  $111 < \Delta RT_{NDT}$  計算値の場合の長期監視試験計画に基づく取り出し

解説図-SA-2363-2 長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期  
( $\Delta RT_{NDT}$  計算値が  $56^{\circ}\text{C}$  を超える場合)

(解説-SA-2363-3) 長期監視試験計画への移行時期

相当運転期間における実際の照射環境下にある部材の照射効果を、標準監視試験計画に基づく試験用カプセル取り出しにより適切に確認できていることから、商業運転開始以降の相当運転期間を経過後の「相当運転期間を超える時点」を長期監視試験計画への移行時期（長期監視試験計画の起点）として定めることとした。

なお、高いリードファクタを有する試験用カプセルの場合、標準監視試験計画における最終回時の取り出しを相当運転期間より早い時期に実施することがある。高いリードファクタを有するプラントにおける監視試験計画の例を解説図-SA-2363-3に示す。相当運転期間を超える時点を長期監視試験計画の起点として取り出し時期を定めた場合に、標準監視試験計画の最終回時の取り出し時期から長期監視試験計画における取り出し時期までの間隔が長くなることが想定されるが、標準監視試験計画の最終回時のカプセルは相当運転期間の原子炉圧力容器内面よりも十分に高い中性子照射量を受けることから、脆化量を先行して適切に把握することが可能であり、相当運転期間を超える時点を長期監視試験計画の起点として、取り出し時期を定めることは問題ないと判断した。



- ▲：標準監視試験計画に基づく取り出し
  - △：長期監視試験計画に基づく取り出し（照射量が $2.4 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ を上回る場合）
- (注)1：高いリードファクタを有する場合、表SA-2362-1注記(1)～(6)に基づき、照射量を勘案し、表SA-2362-1の取り出し時期（EFPY）より早い時期に取出しを行う。

解説図-SA-2363-3 高いリードファクタを有するプラントにおける監視試験計画の例

(解説-SA-2363-4) 相当運転期間での $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が $28^\circ\text{C}$ 以下の長期監視試験計画

相当運転期間での $\Delta RT_{NDT}$ 計算値が $28^\circ\text{C}$ 以下の場合には、解説図-SA-2363-1に示す通り、SA-2362における第2カプセルの取り出し時期が24 EFPYであり、最終回時のカプセルの取り出し時期は相当運転期間となり、比較的短い取り出し間隔となる。そのため、標準監視試験計画から長期監視試験計画へ移行する場合に適切な間隔を確保するために、長期監視試験計画の策定にあたり SA-2362 で設定された最終回時のカプセルを長期監視試験計画の試験用カプ



セルとして扱い、その取り出し時期を第 2 カプセルの取り出し時期から 16 EFPY の間隔の時期に変更してもよいこととした。

#### (解説-SA-2363-5) 長期監視試験計画における試験用カプセルの取り出し時期の置き換え

長期監視試験計画における取り出し時期は、標準監視試験計画と同様に定格負荷相当年数を指標としており、試験用カプセルの取り出しは、原則としてこれらの値に近いプラント停止時期に合わせて行う。ただし、国内プラントでは稼働率が個々のプラントにより大きく異なっている状況を踏まえ、それぞれのプラントの経過年数と定格負荷相当年数の関係を踏まえて表-SA-2363-1 に定める間隔の時期よりも早い時期に試験用カプセルを取り出すことも許容することとし、その場合であっても表-SA-2363-1 で定める間隔の取り出しに相当するものとした。

#### (解説-SA-2363-6) 原子炉压力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1$ MeV) が $2.4 \times 10^{19}$ n/cm<sup>2</sup> を上回る場合の試験用カプセルの取り出し時期

原子炉压力容器内面が受ける中性子照射量 ( $E > 1$  MeV) が  $2.4 \times 10^{19}$  n/cm<sup>2</sup> を上回る場合には、 $\Delta RT_{NDT}$  計算値の区分によらず原子炉压力容器内面の中性子照射量がこれまでに取り出された監視試験片の中性子照射量を超えない時期に新たな試験用カプセルを取り出すとともに、相当運転期間での  $\Delta RT_{NDT}$  計算値によらず 8 EFPY の間隔で取り出すこととした。これは脆化予測法の継続的な信頼性向上を図ることを目的として中性子照射量の大きい監視試験データを拡充する観点から、PWR プラントの 32EFPY 相当で想定される最も少ない中性子照射量である  $2.4 \times 10^{19}$  n/cm<sup>2</sup> を上回る監視試験データを適切に取得していくこととしたものである。

#### 参考文献

- [1] 実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド，原子力規制委員会，改正 令和 2 年 3 月 31 日，原規規発第 20033110 号
- [2] 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，原子力規制委員会，改正 令和 2 年 3 月 31 日，原規規発第 20033110 号
- [3] 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈，原子力規制委員会，改正 令和 5 年 10 月 11 日，原規技発第 2310116 号