

発電所が長期間停止していることに伴う放射能濃度算出方法等の見直しについて

1. はじめに

現在国内の発電所の多くは、2011 年の東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故を契機に長期間停止（以下、「長期停止」という。）している。

廃棄体の現在の放射能濃度評価方法〔詳細は 2. 参照〕は、発電所が運転及び停止を定期的に繰り返し、原子炉水の核種比^{※1}及び平均放射能濃度法対象核種の濃度（以下、「核種比等」という。）が一定となっていることを前提に放射能濃度を算出している。

停止時は放射性核種の新たな生成がないため、現在の評価手法では停止期間が長期となった場合、核種の減衰影響及び半減期の差異に伴う影響が生じる〔詳細は 3. 参照〕。

以上のことから、全発電所共通的に適用できる運用を想定し、搬出する廃棄体の放射能濃度を評価する場合（以下、「廃棄物確認時」という。）及びスケーリングファクタ^{※2}及び平均放射能濃度^{※3}（以下、「SF 等」という。）継続確認時の対応方法〔詳細は 4. ～ 5. 参照〕を整理した。

※1 核種比

難測定核種と key 核種の放射能濃度比を示す。

※2 スケーリングファクタ

原子炉における核種の生成比率に一定関係が成立する場合で、過去のサンプルデータに基づく難測定核種と key 核種の比率を表した値であり、廃棄体の放射能濃度算出に用いられる。

※3 平均放射能濃度

key 核種の放射能濃度に依存せず、難測定核種の放射能濃度が一定範囲にある場合で、過去のサンプルデータに基づく平均値を放射能濃度で表した値であり、廃棄体の放射能濃度算出に用いられる。

2. 現状整理

(1) 廃棄物確認時

廃棄体中の放射能濃度は、均質・均一固化体については「廃棄体中の放射性物質濃度の具体的決定手順について（平成 4 年 原子力安全委員会了承）」、充填固化体については「廃棄体（充填固化体）中の放射能濃度の決定手順について（平成 11 年 科技庁通知）」に記載されている非破壊外部測定法、原廃棄物分析法、スケーリングファクタ法（以下、「SF 法」という。）、平均放射能濃度法及び理論計算法を用いて核種毎の放射能濃度を算出しており、廃棄物確認時のデータとして取り扱っている。

このうち、SF 法及び平均放射能濃度法（以下、「SF 法等」という。）については、評価核種（SF 法については key 核種含む）の減衰を考慮し放射能濃度を算出しており、放射性核種の

生成から廃棄体を廃棄物貯蔵庫に保管廃棄した日（以下、「保管廃棄日」という。）までの期間が短いため、減衰影響が有意なものとならないことを前提に、保管廃棄日を減衰補正の基準日としている。

これは、廃棄物毎に真に「廃棄物が発生した日」を特定することは実務上困難であるため、この日に近い管理可能な日として、保安規定記録でもある各廃棄体の保管廃棄日にて評価している。

（２）SF 等継続確認時

SF 等は、炉心付近の原子炉水中で発生した放射性核種が原子炉水を通じて系統内に拡がり、濃縮廃液及び固体状廃棄物に移行する際の挙動を通じて決定される。

難測定核種に対する決定方法は、主に SF 法等が用いられるが、過去に設定した値に対し、設定以降に発生した廃棄体に対して継続使用することが可能であることを適宜確認する運用としている。

均質・均一固化体は平成 2 年度までに発生した廃棄体によって設定された値を平成 3 年度以降に発生した廃棄体に SF 等を継続使用する場合、充填固化体は平成 9 年度までに発生した固体状廃棄物によって設定された値を平成 10 年度以降に発生した廃棄体に SF 等を継続使用する場合、廃棄物埋設確認申請の都度、妥当性を確認している。

具体的には「燃料損傷がないこと」、「固型化処理装置の変更がないこと（均質・均一固化体のみ）」、「大規模な原子炉構成材料の変更がないこと」の判断材料に加え、試料分析結果から算出した「廃棄体の放射能濃度比または平均放射能濃度と既往 SF 等を比較し、有意な差異（10 倍超過）がないこと」をもって既往 SF 等の継続使用を確認している。

その際、評価対象核種（SF 法については key 核種含む）の減衰を考慮した濃度換算日を設け、放射能濃度を算出しており、放射性核種の生成から保管廃棄日までの期間が短いため、減衰影響が有意なものとならないことを前提に、保管廃棄日を減衰補正の基準日（一部、試料採取日としている実績あり）としている。

加えて、試料の分析にあたっては、対象に応じて、下表に示す採取頻度にて試料を採取することとなる。

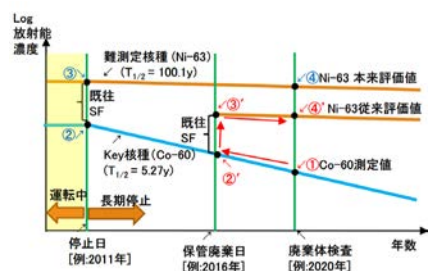
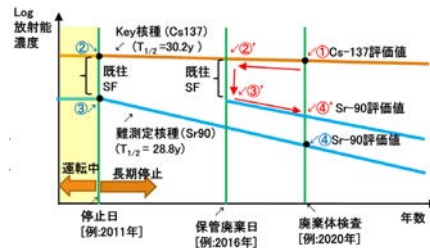
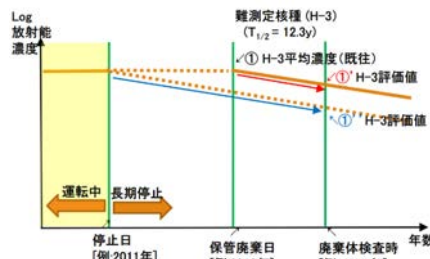
対象	採取方法	採取頻度
液体廃棄物 (濃縮廃液)	固型化処理直近のタンク等から濃縮廃液を採取	・ 1 個／年 ・ 当該年度に発生した複数の処理バッチのコンポジット試料 1 個／年
均質・均一固化体	廃棄体から直接採取	・ 1 体／年
固体状廃棄物	原子炉水に直接汚染された固体状廃棄物から試料を採取	・ 数個※／年 ・ 数個※／運転サイクル ※原則として 3 個
原子炉水	原子炉水を直接採取	・ 1 個／年 ・ 1 個／運転サイクル

3. 想定される影響

(1) 廃棄物確認時

通常運転サイクルにおいては、原子炉水中の放射能濃度の核種比等は一定であると考えられる。従来は廃棄物が発生した日（原子炉水による汚染が生じた日）を「保管廃棄日」として評価している。[保管廃棄日としている理由は、2. (1) 参照]

長期停止中は放射性核種の生成がなく、原子炉水中の放射能は核種の半減期に応じて減衰することから、従来評価を適用した場合は、炉水中の放射能濃度の減衰影響の反映が十分ではないため、下表のとおり減衰の影響が生じることとなる。

対象	減衰補正基準日 (従来評価)	従来評価を用いた場合の 長期停止に伴う影響
SF 法核種 (Sr-90 除く)	保管廃棄日※1 ※1 充填固化体は保管廃棄日（最古日） $A_i = \left[A \times \exp\left(-\frac{\ln 2}{T} t\right) \right] \times S F_i \times \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_i} t\right)$ A_i : 濃度決定時の難測定核種 i の放射能濃度 (Bq/ton) A : Co-60 又は Cs-137 の濃度測定値 (Bq/ton) T : Co-60 又は Cs-137 の半減期 (年) t : 発生から濃度決定時までの期間 (年) $S F_i$: 難測定核種 i のスケールリングファクタ T_i : 難測定核種 i の半減期 (年)	放射能を <u>小さめに評価</u> 
SF 法核種 (Sr-90 のみ)	同上	放射能を <u>大きめに評価</u> (ただし、 この影響はごく僅か) 
平均法核種	保管廃棄日※2 ※2 充填固化体は保管廃棄日（最新日） $X_{H-3} = \frac{x_{H-3}}{W} \times \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{H-3}} t\right)$ X_{H-3} : 濃度決定時の H-3 の放射能濃度 (Bq/ton) x_{H-3} : H-3 の平均放射能濃度 (Bq/本) W : 廃棄体重量 (ton) T_{H-3} : H-3 の半減期 (年) t : 発生から濃度決定時までの期間 (年)	放射能を <u>大きめに評価</u> 

(2) SF 等継続確認時

長期停止中は放射性核種の生成がなく、原子炉水中の放射能は核種の半減期に応じて減衰することから、従来評価を適用した場合、炉水中の放射能濃度の減衰影響を考慮しないため、下表のとおり減衰の影響が生じる。今後、停止期間が長くなれば、SF 等継続確認で核種比等が

10倍を超過し、原子力発電所の廃棄体の継続的な搬出に影響を及ぼすことになる。

また、分析試料である濃縮廃液は、通常の運転及び定期点検のサイクルにおける水抜き作業や原子炉水等の処理が長期停止においては著しく減少するため、発生量が少なくなること、固体状廃棄物は、原子炉水の放射能の減衰に加え、常時直接的に系統流体に接触し汚染する廃棄物が発生しなくなることから、通常運転サイクルと比べ、試料採取が難しくなっている状況にある。

対象	減衰補正基準日 (従来評価)	従来評価を用いた場合の 長期停止に伴う影響
SF法核種 (Sr-90 除く)	保管廃棄日 または 試料採取日	<p>核種比を大きめに評価</p> <p>Log放射能濃度↑</p> <p>難測定核種 (Ni-63) $T_{1/2} = 100.1y$</p> <p>Key核種 (Co-60) $T_{1/2} = 5.27y$</p> <p>②' Ni-63測定値</p> <p>①' Co-60測定値</p> <p>②' 評価される核種比</p> <p>①' 本来の核種比</p> <p>運転中 長期停止</p> <p>停止日 [例:2011年] 保管廃棄日 [例:2016年] 分析時 [例:2020年] 年数</p>
SF法核種 (Sr-90 のみ)	保管廃棄日 または 試料採取日	<p>核種比を小さめに評価 (ただし、この影響はごく僅か)</p> <p>Log放射能濃度↑</p> <p>難測定核種 (Sr90) $T_{1/2} = 28.8y$</p> <p>Key核種 (Cs137) $T_{1/2} = 30.2y$</p> <p>①' Sr-90評価値</p> <p>②' Cs-137評価値</p> <p>①' 本来の核種比</p> <p>②' 評価される核種比</p> <p>運転中 長期停止</p> <p>停止日 [例:2011年] 保管廃棄日 [例:2016年] 分析時 [例:2020年] 年数</p>
平均法核種	保管廃棄日 または 試料採取日	<p>放射能を小さめに評価</p> <p>Log放射能濃度↑</p> <p>難測定核種 (H-3) $T_{1/2} = 12.3y$</p> <p>①' H-3測定値</p> <p>①' H-3従来評価値</p> <p>①' H-3本来評価値</p> <p>運転中 長期停止</p> <p>停止日 [例:2011年] 保管廃棄日 [例:2016年] 分析時 [例:2020年] 年数</p>

4. 基本的な対応方針

前述の状況を踏まえ、以下の基本的な対応方針のもと、長期停止における運用を見直す。

■長期停止を踏まえた評価の切替ができること。

⇒適用範囲と適用基準の考え方を明確にする。(詳細は、5.「表_No.1,2」参照)

■長期停止においても放射エネルギーを過小に評価しないこと。

⇒減衰補正基準日の見直しにて対応する。(詳細は、5.「表_No.3,4」参照)

■分析試料の発生量低下を考慮した対応となること。

⇒SF 等継続確認時の分析頻度の見直しにて対応する。(詳細は、5.「表_No.5」参照)

5. 運用見直し

(1) 現行と見直し後の比較

No.	項目	現行	見直し後	考え方 (理由)
1	長期停止の適用範囲	—	<ul style="list-style-type: none"> 電力会社共通 原廃棄物分析法を適用している場合は対象外 運用は、事業者の規定類で定義付け 	<ul style="list-style-type: none"> 東日本大震災に伴い原子炉の大半は 2011～2012 年の時期に停止しているため、全電力共通の取り組みが必要。
2	長期停止適用基準(発電所が長期停止と判断する停止後の経過年数)	—	<ul style="list-style-type: none"> 運転停止～3年程度とし、3年経過後の年度初めから長期停止適用(複数号機の場合は、最も新しい運転停止日から起算) 	<ul style="list-style-type: none"> key 核種である Co-60 の半減期 (5.27 年) を考慮。 従来、充填固化体の製作において、3年間程度の範囲で固体状廃棄物を混合。 東日本大震災に伴い原子炉の大半は 2011～2012 年の時期に停止しているため、適用開始における全電力共通での判断基準を容易にする観点で設定。
3-1	減衰補正基準日(廃棄物確認時) ※Sr-90 除く	保管廃棄日(充填固化体は、SF 法核種は最古日、平均法核種は最新日)	<ul style="list-style-type: none"> SF 法核種は発電所の運転停止日(複数号機の場合は、最も古い運転停止日) 平均法核種は現行から変更なし 	<ul style="list-style-type: none"> 長期停止前の運転で生成した核種は、長期停止後は一様に減衰するため、3要素に該当する事象がなければ、減衰以外の核種比の変動はないと考えられる。このため、通常運転時の炉水の安定した核種比に立ち戻れることを考慮し、核種が生成した停止時に遡って減衰補正。 平均放射能濃度法は現行の減衰補正日で保守側の評価であるため、従来通り。

No.	項目	現行	見直し後	考え方（理由）
3-2	減衰補正基準日（廃棄物確認時） ※Sr-90のみ	保管廃棄日 （充填固化体は、最古日）	・SF法核種（Sr-90）は発電所の運転停止日（複数号機の場合は、最も古い運転停止日）	<ul style="list-style-type: none"> ・長期停止前の運転で生成した核種は、長期停止後は一様に減衰するため、3要素に該当する事象がなければ、減衰以外の核種比の変動はないと考えられる。このため、通常運転時の炉水の安定した核種比に立ち戻ることを考慮し、核種が生成した停止時に遡って減衰補正。 ・Sr-90（28.8年）より、key核種Cs-137（30.2年）の半減期が長いものの、ほぼ同等であり、減衰期間の相違による影響はごく僅かであるため、SF法核種として統一。
4-1	減衰補正基準日（SF等継続確認時） ※Sr-90除く	保管廃棄日 または 試料採取日	・SF法核種・平均法核種ともに発電所の運転停止日（複数号機の場合は、最も新しい運転停止プラントの年度の4月1日）	<ul style="list-style-type: none"> ・長期停止前の運転で生成した核種は、長期停止後は一様に減衰するため、核種が生成した停止時に遡って減衰補正。 ・複数号機の場合は、複数の運転停止日から平均的な減衰起点日を定めることも考えられるが、SF法核種及び平均法核種でこれまで同一の日（試料採取日又は保管廃棄日）で評価をしている実情を踏まえ、運用面の分かりやすさから、最も新しい停止日の年度の4月1日を起点として設定。

No.	項目	現行	見直し後	考え方（理由）
4-2	減衰補正基準日（SF等継続確認時） ※Sr-90のみ	保管廃棄日 または 試料採取日	・SF法核種（Sr-90）は発電所の運転停止日（複数号機のコンポジット試料場合は、最も新しい運転停止プラントの年度の4月1日）	<ul style="list-style-type: none"> ・長期停止前の運転で生成した核種は、長期停止後は一様に減衰するため、核種が生成した停止時に遡って減衰補正。 ・複数号機の場合は、複数の運転停止日から平均的な減衰起点日を定めることも考えられるが、SF法核種及び平均法核種でこれまで同一の日（試料採取日又は保管廃棄日）で評価をしている実情を踏まえ、運用面の分かりやすさから、最も新しい停止日の年度の4月1日を起点として設定。 ・Sr-90（28.8年）より、key核種Cs-137（30.2年）の半減期が長いものの、ほぼ同等であり、減衰期間の相違による影響はごく僅かであるため、SF法核種として統一。
5	SF等継続確認に用いる試料の分析頻度	2.（2）参照	<ul style="list-style-type: none"> ・均質・均一固化体（濃縮廃液含む）は、1個以上／3年以内* ・固体状廃棄物は3個以上／3年以内* ・原子炉水は1個以上／3年以内* ※継続は3年以内を超えない範囲の分析結果により、確認した年度まで	<ul style="list-style-type: none"> ・長期停止前の運転で生成した核種は、長期停止後は一様に減衰するため、3要素に該当する事象がなければ、減衰以外の核種比等の変動はないと考えられる。 ・長期停止中は、多くのプラントでSF等継続確認時の分析対象となっている濃縮廃液や固体状廃棄物の発生も大幅に減少しており、従来の頻度での試料採取が難しい状況。

(2) 既往 SF 等の使用について

SF 等設定時及び SF 等継続時の試料の種類・採取期間は様々であり、試料に応じて保管廃棄日又は試料採取日等の異なる基準日で核種の減衰補正をしているが、これらはいずれも通常運転時の炉水の安定した核種比等に立ち戻ることを意図したものである。

上記の減衰補正の考え方は、当時の事業者で協議し決めたものではあるが、「SF 等設定当時の減衰補正時期」「廃棄物確認時の放射能の減衰起点（保管廃棄日）の考え方」等について規制側より問われた際に、事業者より説明している。

事業者は、SF 等の設定以降、核種比等に変動がないことについて、「燃料損傷がないこと」、「固化処理装置の変更がないこと（均質・均一固化体のみ）」、「大規模な原子炉構成材料の変更がないこと」の 3 要素の確認を SF 等継続の都度実施している。3 要素の確認は原子炉の運転、停止のサイクル全体における SF 変動の要因を整理した結果であり、長期停止においても、3 要素に該当する事象が無い限り、減衰以外の核種比等の変動は基本的に考えられない。（原子炉停止前後のデータを比較した散布図においても原子炉停止前後のデータは同じ分布を示している。）

上記の理由で、長期停止においても、核種の減衰補正日を運転停止日として評価することにより、既往 SF 等による評価が可能と考える。

なお、実際の分析データが 10 倍を超えた場合には、個別の変動要因がないか確認した上で、SF 等の新規設定の対応を行うこととなる。

(3) 固体状廃棄物の混合期間について

充填固化体については、固体状廃棄物の混合できる期間として 3 年の範囲を設けることを「充填固化体の標準的な製作方法」に定めており、事業者にて取り決めているものである。

今回の運用見直しに付随して、「充填固化体の標準的な製作方法」の改訂を予定している。

参考として、変更概要を添付資料に示す。

6. 添付資料

発電所が長期間停止していることに伴う放射能濃度算出方法等の見直しについて

以 上

発電所が長期間停止していることに伴う 放射能濃度算出方法等の見直しについて

目次

- 1. はじめに
- 2. 現状整理
 - ①廃棄物確認時
 - ②SF等継続確認時
- 3. 想定される影響
 - ①従来評価手法の継続による長期停止影響
 - ②長期停止におけるSF等継続確認時の核種比が大きめに評価される影響
- 4. 基本的な対応方針
- 5. 運用見直し
 - ①減衰起点の見直し
 - ②代表試料の分析頻度
- 6. 既往SF等の使用について
- 【参考】
 - ①固体状廃棄物の混合期間の変更
 - ②核種比の運転停止前後の変動

1. はじめに

- 国内の原子力発電所の多くは、東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故を契機に長期間の停止(以下、「長期停止」という)を行っている。
- 廃棄体の現在の放射能濃度評価方法(SF法及び平均放射能濃度法)は、発電所が運転及び停止を定期的に繰り返し、原子炉水の核種比^{※1}及び平均放射能濃度法対象核種の濃度(以下、「核種比等」という)が一定であることを前提に、放射能濃度を算出している。
- 停止時は、放射性核種の新たな生成がないため停止期間が長期となった場合、核種の減衰影響及び半減期の差異に伴い、放射能濃度を過大又は過小に評価する影響が生じる。
- 以上のことから、全電力共通的に適用できる運用を想定し、搬出する廃棄体の放射能濃度を評価する場合(以下、「廃棄物確認時」という)、及びスケーリングファクタ^{※2}及び平均放射能濃度^{※3}(以下、「SF等」という)継続確認時(以下、「SF等継続確認時」という)の対応方法を整理する。

※1 核種比: 難測定核種とkey核種の放射能濃度比を示す。

※2 スケーリングファクタ: 原子炉における核種の生成比率に一定関係が成立する場合で、過去のサンプルデータに基づく難測定核種とkey核種の比率を表した値であり、廃棄体の放射能濃度算出に用いられる。

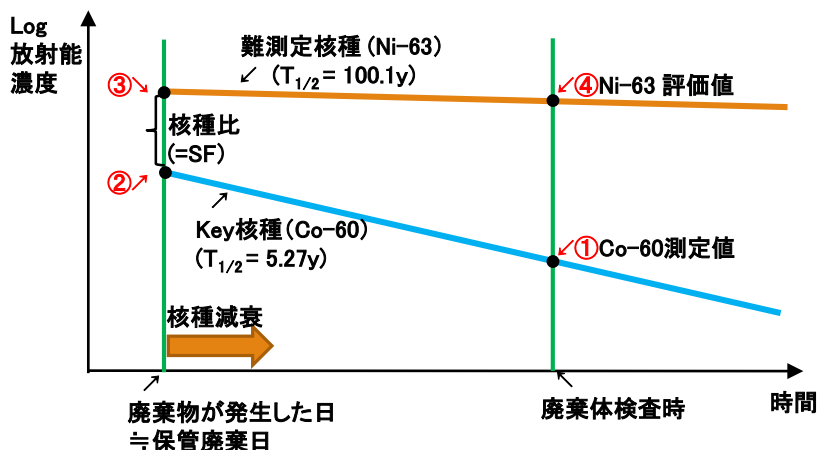
※3 平均放射能濃度: key核種の放射能濃度に依存せず、難測定核種の放射能濃度が一定範囲にある場合で、過去のサンプルデータに基づく平均値を放射能濃度で表した値であり、廃棄体の放射能濃度算出に用いられる。

2. 現状整理

① 廃棄物確認時

- 廃棄体中の放射能濃度は、非破壊外部測定法、原廃棄物分析法、スケーリングファクタ法(SF法)、平均放射能濃度法、理論計算法により算出し、廃棄物確認時のデータとしている。
- このうち、SF法及び平均放射能濃度法(以下、「SF法等」)は、評価核種の減衰を考慮し放射能濃度を算出している。
- 評価においては、放射性核種の生成から廃棄体を廃棄物貯蔵庫に保管廃棄した日(以下、「保管廃棄日」)までの期間が短いため、減衰影響が有意なものとならないことを前提に、保管廃棄日を減衰補正の起点としている。
- これは、廃棄物毎に真に廃棄物が発生した日を特定することは実務上困難であるため、この日に近い管理可能な日として、保安規定記録でもある各廃棄体の保管廃棄日にて評価しているものである。

✓ SF法を用いたNi-63評価方法(一例)



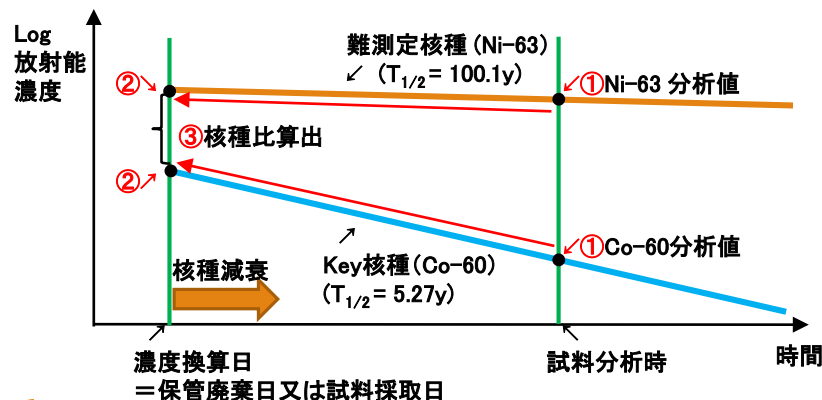
- ① 非破壊外部測定によりCo-60を測定
- ② 保管発生日までCo-60の半減期で減衰補正。
- ③ Ni-63とCo-60の核種比(=SF)を乗じる。
- ④ 廃棄体検査時までNi-63の半減期で減衰補正。

2. 現状整理

②SF等継続確認時 [1/2] -現状手法-

- SF等は、均質・均一固化体は平成2年度まで、充填固化体は平成9年度までの廃棄体の核種分析の結果から設定しており、前者の平成3年度以降、後者の平成10年度以降に発生した廃棄体については、設定済のSF等 (= 既往SF等) が継続使用できることの妥当性を廃棄物埋設確認申請で確認している。
- 具体的には、「燃料損傷がないこと」「固型化処理装置の変更がないこと(均質・均一固化体のみ)」「大規模な原子炉構成材料の変更が無いこと」の3要素に加え、試料分析結果から算出した「廃棄体の放射能濃度比または平均放射能濃度と既往SF等と比較し、有意な差異(10倍超過)がないこと」により、既往SF等の継続使用を確認している。
- その際、評価対象核種の減衰を考慮した濃度換算日における放射能濃度を算出しており、保管廃棄日(又は試料採取日)を減衰補正の基準日としている。

✓ Ni-63の継続確認方法(一例)



- ① 試料の放射化学分析により、Ni-63及びCo-60の放射能濃度を評価
- ② 濃度換算日での放射能濃度を評価。
- ③ Ni-63とCo-60の核種比を算出

➡ 核種比が、既往SFの10倍を超過しないことを確認

✓ 試料の採取頻度

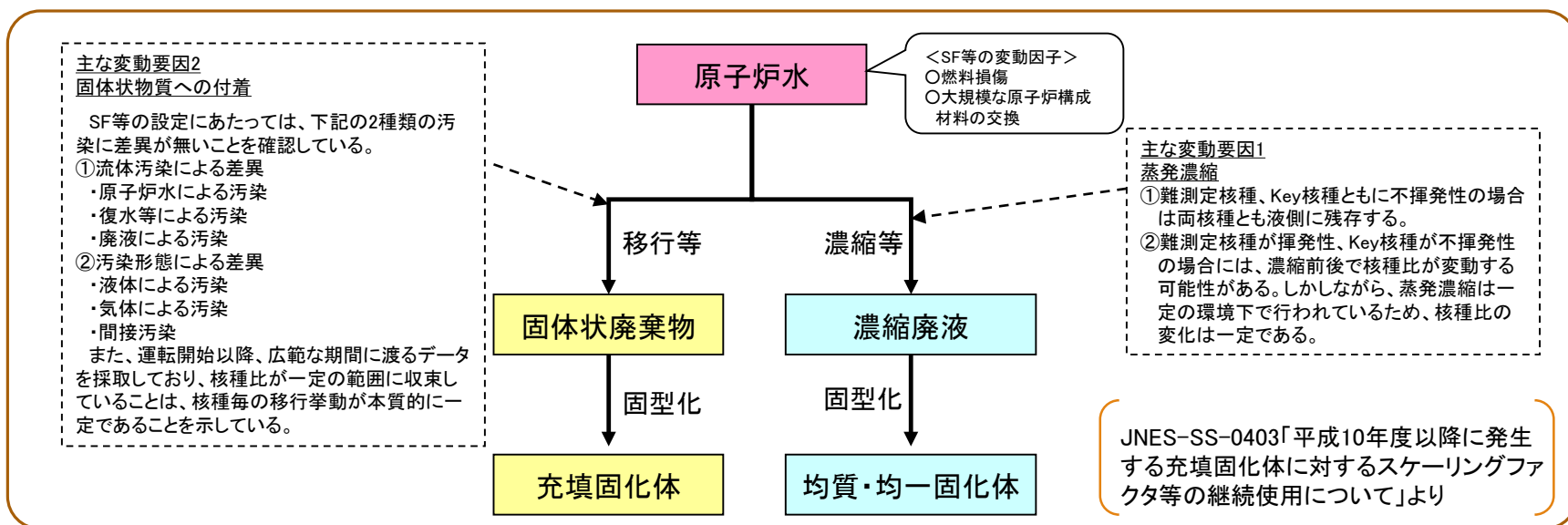
対象	採取頻度
液体廃棄物 (濃縮廃液)	・1個/年 ・当該年度に発生した複数の処理バッチのコンポジット試料 1個/年
均質・均一固化体	・1体/年
固体状廃棄物	・数個*/年 ・数個*/運転サイクル ※原則として3個
原子炉水	・1個/年 ・1個/運転サイクル

2. 現状整理

②SF等継続確認時 [2/2] –核種比及び平均放射能濃度の基本的な挙動(3要素)–

■前述の3要素の確認を実施する考え方は、SF等の変動、つまり、固体状廃棄物及び液体廃棄物の放射能濃度は、原子炉水中に存在する放射性核種が下図のとおり移行することにより生ずることに起因する。

- 原子炉水中で生成した放射性核種は、燃料損傷(FP核種)、大規模な原子炉構成材料の交換(CP核種)がない限りほぼ一定となる。
- 原子炉が定期的に運転継続している場合、原子炉水中のSF等は一定であると考えられるが、廃棄物への放射性核種の移行後、測定までの期間の減衰補正が必要となる。そのため、廃棄物の発生時点に近いと考えられる保管廃棄日において廃棄物が発生したものとして減衰評価を行っている。



3. 想定される影響

①従来評価手法の継続による長期停止影響

- 通常運転サイクルにおいては、原子炉水中の放射能濃度の核種比等は一定であると考えられる。従来は、廃棄物が発生した日(原子炉水による汚染が生じた日)を「保管廃棄日」として評価。
- 長期停止中は放射性核種の生成がなく、原子炉水中の放射能は核種の半減期に応じて減衰することから、核種毎の減衰の差により核種比は徐々に変化する。従来評価を適用した場合は、炉水中の放射能濃度の減衰影響の反映が十分ではないため、下表の通り、減衰の影響が生じる。(影響イメージ:次スライド及び次々スライド参照)

✓従来評価の減衰起点日

	SF法 (Key核種:Co-60, Cs-137)	平均放射能濃度法 (H-3)
継続確認 (<設定値×10倍)	保管廃棄日または試料採取日	保管廃棄日または試料採取日
廃棄物確認	保管廃棄日(最古日※1)	保管廃棄日(最新日※1)

※1 充填固化体の場合

✓従来評価を用いた場合の長期停止に伴う影響

	SF法 (Key核種:Co-60, Cs-137)	平均放射能濃度法 (H-3)
継続確認 (<設定値×10倍)	核種比を大きめに評価※2	放射能を小さめに評価
廃棄物確認	放射能を小さめに評価※3	放射能を大きめに評価

※2 SF法核種のSr-90のみ、核種比を小さめに評価する。

※3 SF法核種のSr-90のみ、核種比を大きめに評価する。



Sr-90の半減期28.8年より、Key核種Cs-137の半減期30.2年が長いことに起因する。ただし、半減期がほぼ同等であるため、10年の減衰起点の相違でも影響は約1.1%と小さい。

【参考1】継続確認及び廃棄物確認の発電所の長期停止に伴う影響イメージ (SF法)

	SF法を用いるNi-63の場合 (Key核種: Co-60)	概要
<p>継続確認 (既往SFの適用性確認)</p>	<p>Log放射能濃度↑</p> <p>難測定核種 (Ni-63) $(T_{1/2} = 100.1y)$</p> <p>Key核種 (Co-60) $(T_{1/2} = 5.27y)$</p> <p>②Ni-63測定値</p> <p>①Co-60測定値</p> <p>②' 評価される核種比</p> <p>①' 評価される核種比</p> <p>本来の核種比</p> <p>②''</p> <p>①''</p> <p>停止日 [例:2011年]</p> <p>保管廃棄日 [例:2016年]</p> <p>分析時 [例:2020年]</p> <p>年数</p> <p>運転中</p> <p>長期停止</p>	<p>【SF継続確認の評価手法】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 従来 <ul style="list-style-type: none"> - 保管廃棄日時点の核種比 (= ②' / ①') ● 本来の核種比 <ul style="list-style-type: none"> - 通常運転時サイクル時に戻した場合の核種比 (= ②'' / ①'')
<p>廃棄物確認 (放射能量評価)</p>	<p>Log放射能濃度↑</p> <p>難測定核種 (Ni-63) $(T_{1/2} = 100.1y)$</p> <p>Key核種 (Co-60) $(T_{1/2} = 5.27y)$</p> <p>④Ni-63 本来評価値</p> <p>④' Ni-63 従来評価値</p> <p>③</p> <p>③'</p> <p>②</p> <p>②'</p> <p>①Co-60測定値</p> <p>既往SF</p> <p>既往SF</p> <p>停止日 [例:2011年]</p> <p>保管廃棄日 [例:2016年]</p> <p>廃棄体検査 [例:2020年]</p> <p>年数</p> <p>運転中</p> <p>長期停止</p>	<p>【廃棄物確認時評価方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 従来 : <ul style="list-style-type: none"> - 保管廃棄日時点で既往SFを適用し, ④' を算出 (①⇒②'⇒③'⇒④') ● 本来の放射能量 <ul style="list-style-type: none"> - 停止日時点で既往SFを適用し, ④ を算出 (①⇒②⇒③⇒④)

【参考2】継続確認及び廃棄物確認の発電所の長期停止に伴う影響イメージ（平均放射能濃度法）

	平均放射能濃度法を用いるH-3の場合	概要
<p>継続確認 (既往平均放射能濃度の適用性確認)</p>	<p>Log放射能濃度</p> <p>①' H-3本来評価値</p> <p>難測定核種 (H-3) $(T_{1/2} = 12.3y)$</p> <p>① H-3測定値</p> <p>H-3従来評価値</p> <p>①'</p> <p>年数</p> <p>停止日 [例:2011年]</p> <p>保管廃棄日 [例:2016年]</p> <p>分析時 [例:2020年]</p> <p>運転中</p> <p>長期停止</p>	<p>【継続確認の評価手法】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 従来 <ul style="list-style-type: none"> - 保管廃棄日(又は採取日)時点の濃度 (=①') ● 本来の評価値 <ul style="list-style-type: none"> - 通常運転時サイクル時に戻した場合の濃度 (=①'')
<p>廃棄物確認 (放射能評価)</p>	<p>Log放射能濃度</p> <p>難測定核種 (H-3) $(T_{1/2} = 12.3y)$</p> <p>① H-3平均濃度(既往)</p> <p>①' H-3評価値</p> <p>①'' H-3評価値</p> <p>年数</p> <p>停止日 [例:2011年]</p> <p>保管廃棄日 [例:2016年]</p> <p>廃棄体検査時 [例:2020年]</p> <p>運転中</p> <p>長期停止</p>	<p>【廃棄物確認時評価方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 従来 : <ul style="list-style-type: none"> - 保管廃棄日時点で平均放射能濃度が存在するとして、検査時までの減衰を考慮 (=①') ● 本来の放射能 <ul style="list-style-type: none"> - 停止日時点で平均放射能濃度が存在するとして、検査時までの減衰を考慮 (=①'')

3. 想定される影響

②長期停止におけるSF等継続確認時の核種比が大きめに評価される影響

- 長期停止によりSF法の継続確認において核種比が大きめに評価される影響により、今後、停止期間が長くなれば、SF等継続確認で核種比が10倍を超過し、原子力発電所の廃棄体の継続的な搬出に影響を及ぼすことになる。
- 核種比が10倍を超過した場合、現行ルール上はSF等の新規設定を行う必要が生じるため、追加の試料採取及び分析が必要となる。
- 一方で、長期停止に伴い、分析試料である濃縮廃液は通常の運転及び定期点検のサイクルにおける水抜き作業や原子炉水等の処理が長期停止においては著しく減少するため、発生量が少なくなること、固体状廃棄物は、原子炉水の放射能の減衰に加え、常時直接的に系統流体に接触し汚染する廃棄物が発生しなくなることから、通常運転サイクルと比べ、試料採取が難しくなっている状況にある。

4. 基本的な対応方針

- 長期停止においては、放射性核種の新たな生成がなく、原子炉水中の放射能は核種毎に減衰すること、また、分析試料の採取が難しくなっていることを踏まえ、以下の基本的な対応方針のもと、長期停止における運用を見直す。

【対応方針】

- ✓ 従来評価から長期停止評価への切替ができること
⇒適用範囲と適用基準の考え方を明確にする
- ✓ 長期停止において放射エネルギーを過少に評価しないこと
⇒減衰補正基準日を見直す
- ✓ 分析試料の発生量低下を考慮した対応となること
⇒SF等継続確認時の分析頻度を見直す

5. 運用見直し

① 減衰起点の見直し

a. 長期停止評価の適用の流れ

発電所毎に長期停止と判断する年度(X年度)を設定

- 運転履歴を踏まえ、廃棄物確認の放射能量評価において、長期停止手法を適用開始する年度(X年度)を設定する。

➤【原則】 運転停止から約3年以降： 長期停止評価

SF等継続に係る確認

- X-1年度以前（従来評価手法）：代表試料等の評価起点日を保管廃棄日又は試料採取日として算出した放射能濃度から算出した核種比が、設定済SFの10倍を超過しないことを確認。
- X 年度以降（長期停止手法）：代表試料等の評価起点日を停止日として算出した放射能濃度から算出した核種比が、設定済SFの10倍を超過しないことを確認。

廃棄物確認による放射能量の測定及び評価

- X-1年度以前：（従来評価手法）SF法適用核種、平均放射能濃度法適用核種ともに、保管廃棄日を起点に放射能量を評価。
- X 年度以降：（長期停止手法）SF法適用核種は、停止日を起点に放射能量を評価。
平均放射能濃度法適用核種は、保管廃棄日を起点に放射能量を評価

5. 運用見直し

① 減衰起点の見直し

b. 発電所毎に長期停止と判断する年度(X年度)を設定

■ 基本的考え方

➤【原則】 運転停止から約3年まで : 従来評価

運転停止から約3年以降 : 長期停止評価

➤【理由】 従来から充填固化体の製作において、3年間程度の範囲で固体状廃棄物を混合できる運用としている。

■ 具体例(単一号機の場合)

運転停止日:2011年9月15日の場合

⇒ 2013年度以前 : 従来評価
2014年度以降 : 長期停止評価

設定理由:停止日3年後の2014年9月15日を超えないよう、2014年度以降と設定)

■ 具体例(複数号機の場合)

運転停止日:2011年9月15日、2011年12月3日及び2012年4月15日の場合

⇒ 2014年度以前 : 従来評価
2015年度以降 : 長期停止評価

設定理由:最も新しい停止日から3年後の2015年4月15日を超えないよう、2015年度以降と設定)

➡
[考え方] 最も古い停止日、複数の停止日の中間などを起点に3年とする案もあるが、東日本大震災に伴い原子炉の大半は2011～2012年の時期に停止しており、適用開始における全電力共通での判断基準を容易にする観点で、最も新しい停止日から3年後と設定。

5. 運用見直し

① 減衰起点の見直し

c. 継続確認・廃棄物確認の減衰起点の設定方法

■ 長期停止を考慮した評価方法

- 廃棄物が発生した日(評価起点)を, 従来の「保管廃棄日」から「運転停止日」に変更する。
- 但し, 平均放射能濃度(H-3)の放射能量評価は「保管廃棄日」でも長期停止においては放射能を大きめに評価すること, また, これを運転停止日に変更することは日本原燃及び電力の運用面での変更範囲が大きくなること*から, 「保管廃棄日」のままとする。

※ 埋設施設の安全評価条件及び廃棄物受入基準で定める「廃棄物発生後の経過期間」(6か月以上)の確認目的で保管廃棄日を用いているため, 日本原燃及び電力間のデータ授受方法の見直し運用などを広範に見直す必要が生じるため, 変更しない。

■ 長期停止評価の減衰起点日

	SF法 (Key核種: Co-60, Cs-137)	平均放射能濃度法 (H-3)
継続確認 (<設定値×10倍)	運転停止日	運転停止日
廃棄物確認 (放射能量評価)	運転停止日	保管廃棄日(最新日)

変更あり

変更なし

5. 運用見直し

① 減衰起点の見直し

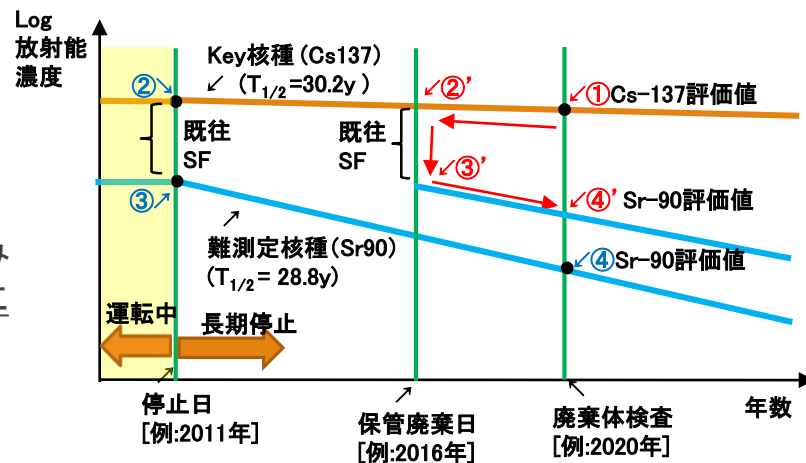
d. Sr-90の減衰起点の考え方[1/3]【放射能評価】

■従来評価方法

- SF法の放射能評価では、一般に、評価対象核種よりKey核種の半減期が短いため、廃棄物が発生した日をより古い日に設定するほうが保守的である。
- 一方、Sr-90(28.8年)は、Key核種Cs-137(30.2年)の半減期が長いことから、厳密には廃棄物が発生した日を新しい日に設定するほうが保守的な評価となる。
- 長期停止に伴い、原子炉停止日と保管廃棄日が乖離することとなるが、従来評価方法は減衰起点をより新しい日である保管廃棄日とするため、保守的な評価を行うこととなる。

■長期停止を考慮した評価方法

- 停止日以降は放射性核種の新たな生成がなく減衰のみが生じることから、減衰起点を保管廃棄日から停止日にすることで従来評価の保守性を削ることとなるが、SF法で評価する他の核種と同様の評価方法となる。



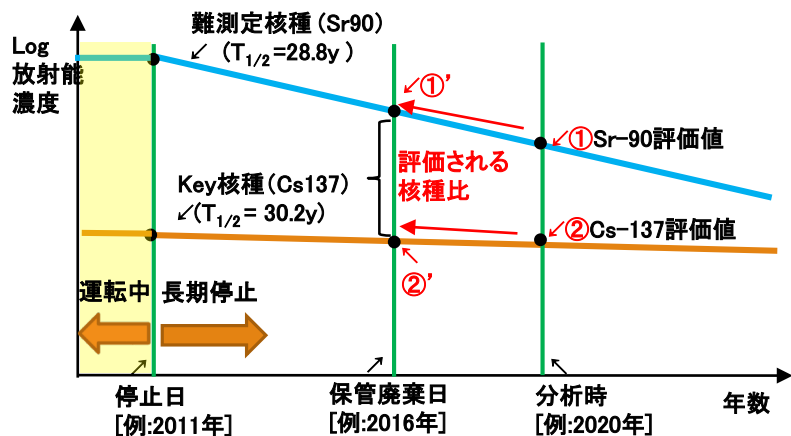
5. 運用見直し

① 減衰起点の見直し

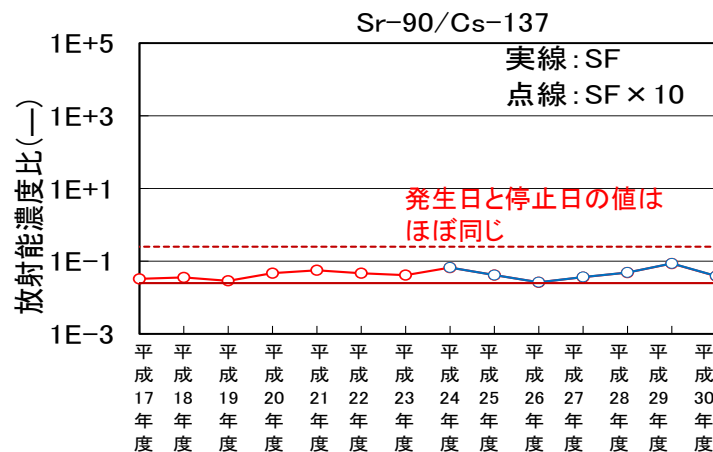
d. Sr-90の減衰起点の考え方[2/3]【SF継続】

■従来評価方法

- 保管廃棄日(又は試料採取日)を起点として、核種比 Sr-90/Cs-137 を評価する。
- 長期停止に伴い、停止日と保管廃棄日が乖離することにより、核種比を小さく評価する傾向となる。
- 但し、Sr-90とCs-137は半減期がほぼ同等であり、濃縮廃液の分析結果から補正起点を変更して核種比を求めても、この影響はごく僅かである。(10年の減衰起点の相違で約1.1%の影響)



例：関西電力(株)高浜3/4号機の分析結果



※高浜発電所3,4号機は、平成23年度に停止平成29年度に再稼働

■長期停止を考慮した評価方法

- 停止日以降は放射性核種の新たな生成がなく減衰のみが生じることから、減衰起点を保管廃棄日から運転停止日にすることは適切であると考えられる。

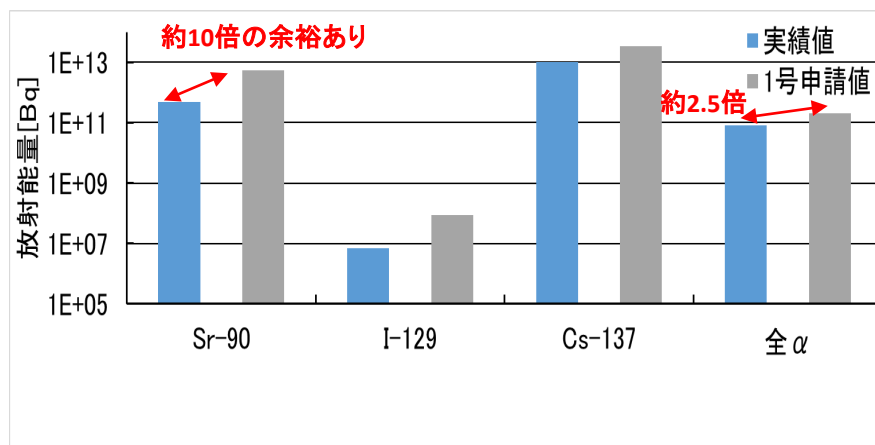
5. 運用見直し

① 減衰起点の見直し

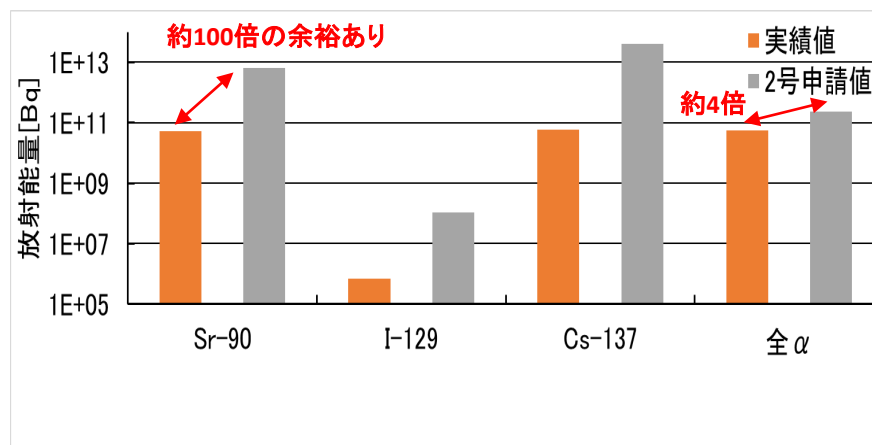
d. Sr-90の減衰起点の考え方[3/3]【インベントリ実績】

■ 埋設施設のインベントリ実績について

- 低レベル放射性廃棄物埋設センターの1号及び2号埋設施設における事業許可申請での放射能量と至近(2021年12月末時点)までの搬出実績のインベントリを比較し、Cs-137をキー核種とする他核種と比較して、Sr-90の余裕が大きいことを確認している。



1号埋設施設



2号埋設施設

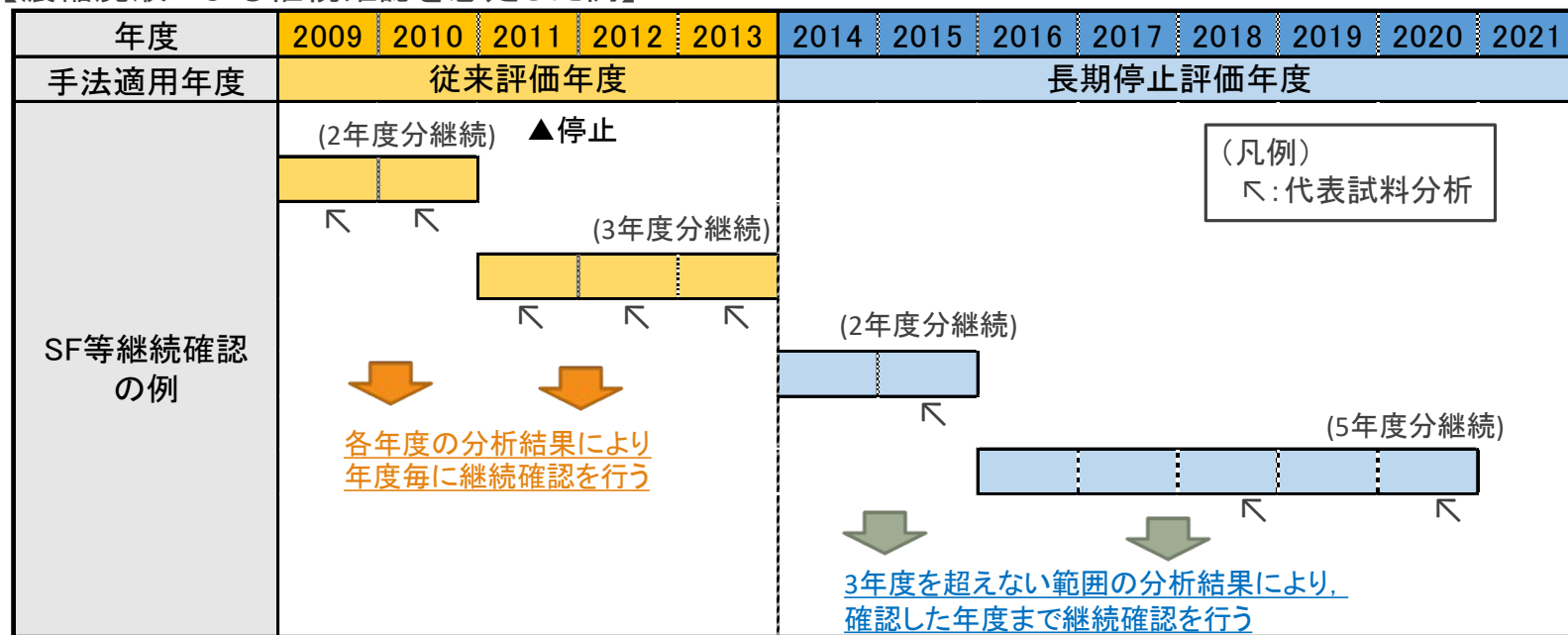
5. 運用見直し

② 代表試料の分析頻度 [1/3]

- 長期停止中は放射性核種の新たな生成が無く、放射能の減衰に伴い分析試料の採取が難しくなっていることから、長期停止評価の適用に合わせて、分析頻度の見直しをは

項目	従来評価	長期停止評価
SF等継続における代表試料分析結果による確認頻度	年又は運転サイクル	3年以内

【濃縮廃液による継続確認を想定した例】



5. 運用見直し

② 代表試料の分析頻度 [2/3]

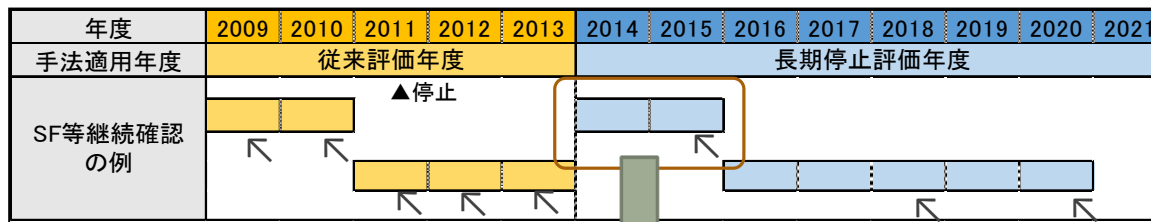
■ 分析頻度変更に係る考え方

- 3要素(「燃料損傷がないこと」,「固型化処理装置の変更がないこと(均質・均一固化体のみ)」,「大規模な原子炉構成材料の変更がないこと」)に該当する事象が無い限り, 減衰以外の核種比等の変動は基本的に考えられない。
- 放射性核種が原子炉水中で生成するのは原子炉運転中であり, 停止期間中は放射性核種の新たな生成はないため, 固型化処理装置の変更を除き, 減衰補正を適切に行うことによりSF等の変動は生じないと考えられる。
- 一方で, 発電所の長期停止においては主要な汚染系統が静的な状態にあるため, 多くのプラントで濃縮廃液・固体状廃棄物の発生量が減少しており, 通常運転サイクルと比べ, 試料採取が難しい状況である。
- このため, 廃棄物の発生量も考慮して, 発電所の長期停止中における代表試料の分析頻度を見直す。

【SF等の継続確認の確認頻度】

代表試料	従来	長期停止
均質・均一固化体(濃縮廃液含む)	1個以上/1年	1個以上/3年以内
固体状廃棄物	3個/(年又は運転サイクル)	3個以上/3年以内
原子炉水	1個/(年又は運転サイクル)	1個以上/3年以内

【長期停止時のSF等継続の確認事項(例)】



(凡例)
 ◁: 代表試料分析

[2014及び2015年度を継続する場合]

「2014～2015年度の3要素確認」及び「2015年度の分析結果により従来のSF等の10倍を超えていないこと」により, 2014～2015年度の継続を可能とする。※

※ なお, 2015年度の分析結果で従来のSF等の10倍を超えた場合, 発電所での廃棄物を調査・分析するなど, 対応を検討する。この場合, SF等継続確認ができないため, 2014年度以降の廃棄体は対応が決定するまで埋設施設での受入れは不可となる。

5. 運用見直し

② 代表試料の分析頻度 [3/3]

■ 長期停止中はSF等の変動がないことの考え方

- 中部電力(株)浜岡原子力発電所における平成10年度以降に発生した充填固化体SF等の継続使用について-原子炉水サンプリング方式-(2008年2月 JNES-SS-0713)

<長期停止中のプラントについて>

長期停止している1、2号機については、停止期間中（1号機は平成13年11月から、2号機は平成16年2月から停止中）の原子炉水の測定を行っていないが、核種比が変動する事象（大規模な原子炉構成材料の交換及び燃料損傷）が発生していないことから、SF等の変動は無いと考えられる。

以上の分析結果等により、各核種について、従来の充填固化体に対するSF等の継続使用が可能と判断できるとしている。

(2) 基盤機構の検討結果

事業者における分析結果は、5.4章に記載した判断基準に沿って実施されており、各核種に対する評価も妥当であると判断できる。また、長期停止している1、2号機については、停止期間中の原子炉水の測定を行っていないが、プラントの状態に変化が無く、長期停止前の運転サイクルでSF等の適用性を評価した時の状態が、その後も維持されているとみなすことができる。

以上より、浜岡原子力発電所（1～4号機）において平成10年度以降（平

成10～16年度）に発生した充填固化体に対し、従来の充填固化体に対するSF等の継続使用が可能であると判断する。また、長期停止している1号機では、平成13年度から次回原子炉を起動するまでについても、2号機では平成15年度から次回原子炉を起動するまでについても従来の充填固化体に対するSF等の継続使用が可能であると判断できる。



長期停止中のプラントについて、「大規模な原子炉構成材料の交換及び燃料損傷が発生していないことから、SF等の変動はない」との見解が示されている。

6. 既往SF等の使用について

- SF等設定時及びSF等継続時の試料の種類・採取期間は様々であり、試料に応じて保管廃棄日又は試料採取日等の異なる基準日で核種の減衰補正をしているが、これらはいずれも通常運転時の炉水の安定した核種比等に立ち戻ることを意図したものである。
- 上記の減衰補正の考え方は、当時の事業者で協議し決めたものではあるが、「SF等設定当時の減衰補正時期」「廃棄物確認時の放射能の減衰起点(保管廃棄日)の考え方」等について規制側より問われた際に、事業者より説明している。
- 事業者は、SF等の設定以降、核種比等に変動がないことについて、「燃料損傷がないこと」、「固型化処理装置の変更がないこと(均質・均一固化体のみ)」、「大規模な原子炉構成材料の変更がないこと」の3要素の確認をSF等継続の都度実施している。3要素の確認は原子炉の運転、停止のサイクル全体におけるSF変動の要因を整理した結果であり、長期停止においても、3要素に該当する事象が無い限り、減衰以外の核種比の変動は基本的に考えられない。(原子炉停止前後のデータを比較した散布図においても原子炉停止前後のデータは同じ分布を示している。)
- 上記の理由で、長期停止においても、核種の減衰補正日を原子炉停止日として評価することにより、既往SF等による評価が可能と考える。
- なお、実際の分析データが10倍を超えた場合には、個別の変動要因がないか確認した上で、SF等の新規設定の対応を行うこととなる。

以下, 参考

【参考】①固体状廃棄物の混合期間の変更 [1/3]

- 事業者での取り決めとして、充填固化体については、固体状廃棄物の混合期間として3年の範囲を設けることを「充填固化体の標準的な製作方法」に定めている。
- 今回の運用見直しに付随して、「充填固化体の標準的な製作方法」の改訂を予定していることから、変更内容及び考え方を参考に示すものである。

【参考】①固体状廃棄物の混合期間の変更 [2/3]

■充填固化体の標準的な製作方法の変更点

- 固体状廃棄物の混合できる期間を、従来の「3年間程度」から、長期停止においては、プラント停止期間へと変更する。

4.1 貯蔵場所からの取出し

(1) 作業要領

廃棄物の貯蔵場所から廃棄体製作を行う固体状廃棄物のドラム缶等を取り出す。

固体状廃棄物を取り出した後、分別、処理、容器に収納、固型化を行う一連の作業工程を一つの作業単位（ジョブと呼ぶ）とし、ジョブ No.を発行して管理する。この際、放射能算定の観点から、同一ジョブ内で混合される固体状廃棄物が、原則的に下記の範囲内になるように、固体状廃棄物の取出しを行うこととする。

分類項目	同一ジョブ内で混合できる範囲
①発生時期	3年間程度の範囲を上限とする*1.*2。
②その他	放射能評価手法が号機等によって異なる場合はその号機等毎

*1 プラントが約3年以上停止している場合、同一ジョブ内で混合できる範囲はプラント停止期間（複数号機の場合は停止日が最新となるプラントの停止日から開始）とする*2。

*2 埋設処分する固体状廃棄物の放射エネルギーの評価結果が、埋設施設の総放射エネルギーを超えないように運用できる場合には、この限りではない。

従来、混合できる期間は3年間程度



（長期停止の場合）

プラント停止期間※の混合を可とする。

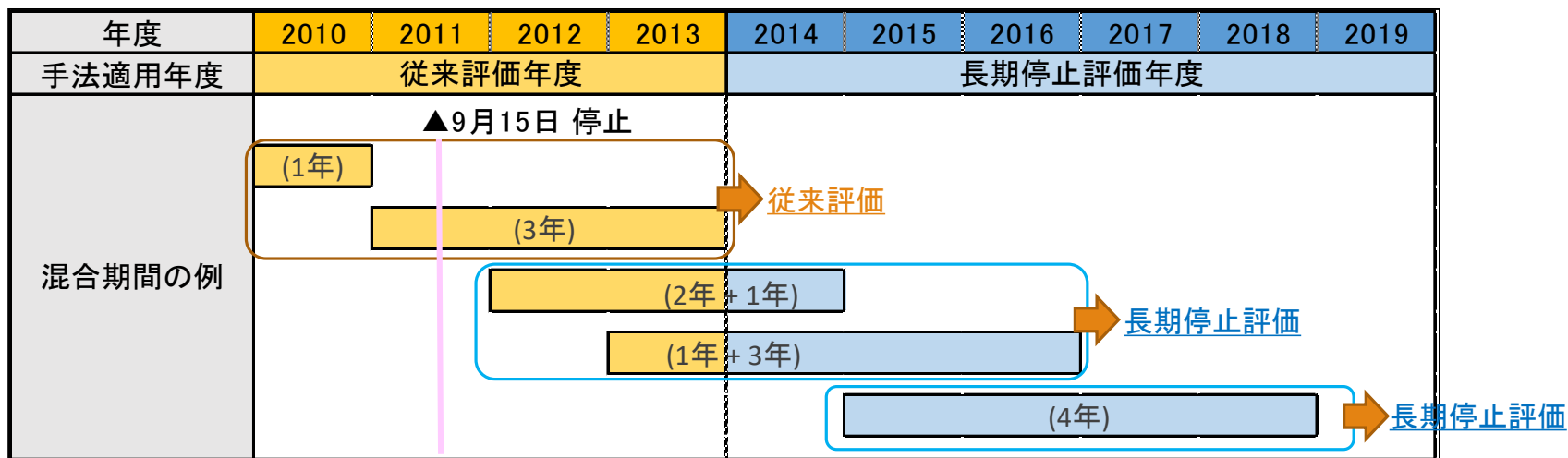
※ 単一号機の場合：停止日以降、任意の期間
複数号機の場合：最新の停止日以降、任意の期間

【参考】①固体状廃棄物の混合期間の変更 [3/3]

■固体状廃棄物の混合に係る考え方

- 従来，充填固化体の固体状廃棄物を混合できる期間は，Co-60の半減期も参考に，最大3年間程度で運用。
- 長期停止においては，停止日以降は減衰のみが生じること，および，減衰の起点を停止日として評価を行うことから，**停止日以降の固体状廃棄物の混合期間を停止日以降の任意期間としても評価上の問題はない。**
- 従来評価年度と長期停止評価年度の固体状廃棄物が混合する場合，廃棄物確認の放射能量評価を適切に行う観点から，長期停止評価手法を適用する。

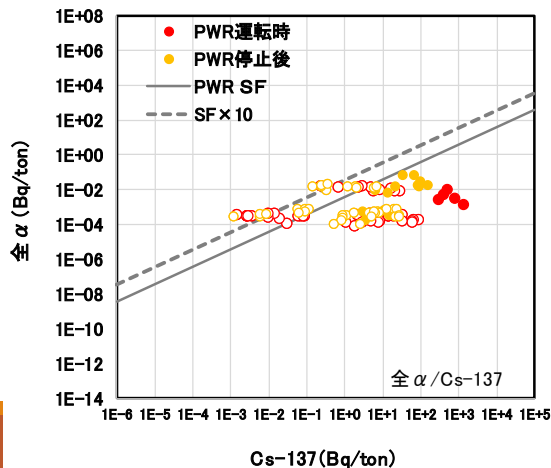
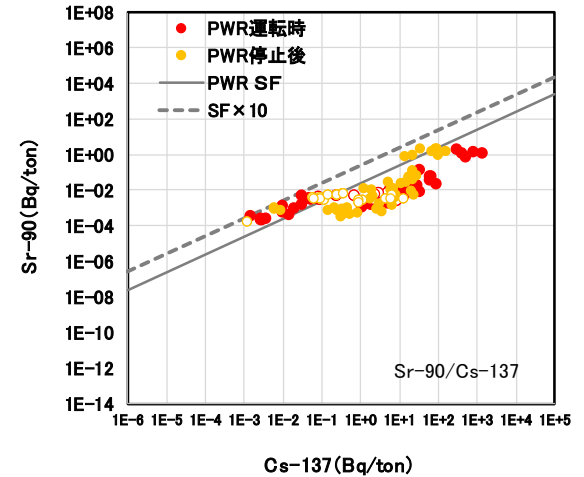
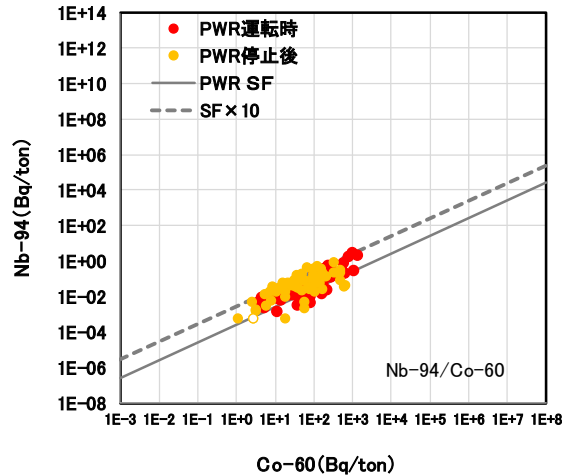
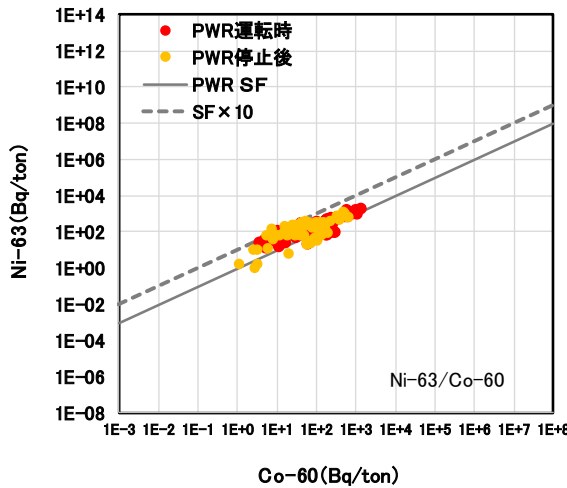
■運転停止日 2011年9月15日の事例



【参考】②核種比の運転停止前後の変動 [1/3]

■ プラント停止前後での濃縮廃液の分析データの比較 [1/2]

- 濃縮廃液の核種分析データ数が多いPWRを対象に、運転中及び停止後の核種毎の散布図を作成。
- 停止期間が長い分析データにはSF10倍を超過している例もあるが、運転中及び停止後で大きな変動はないと考えられる。



(注)

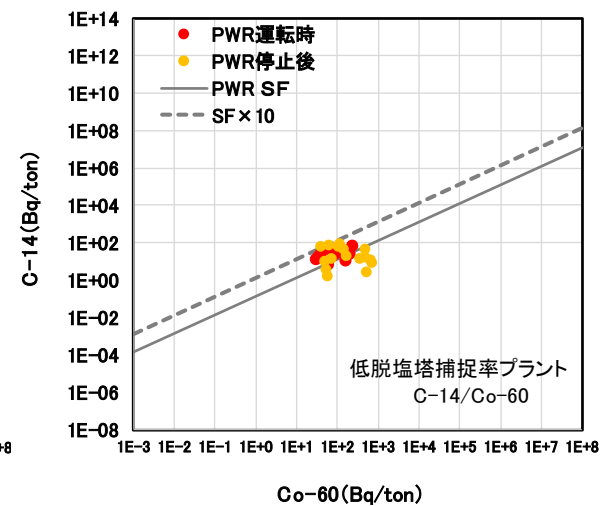
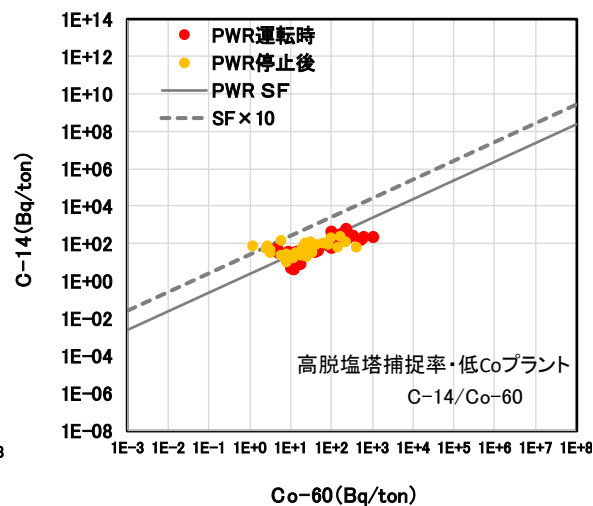
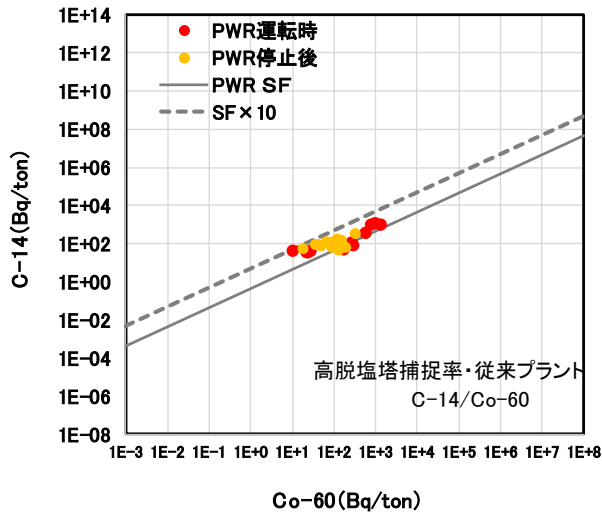
「PWR運転時」は、東日本大震災前の5年間程度

「PWR停止後」は、東日本大震災後の停止中（ただし、再稼働後のデータは除く）

【参考】②核種比の運転停止前後の変動 [2/3]

■ プラント停止前後での濃縮廃液の分析データの比較 [2/2]

- 濃縮廃液の核種分析データ数が多いPWRを対象に、運転中及び停止後の核種毎の散布図を作成。
- 停止期間が長い分析データにはSF10倍を超過している例もあるが、運転中及び停止後で大きな変動はないと考えられる。



(注)

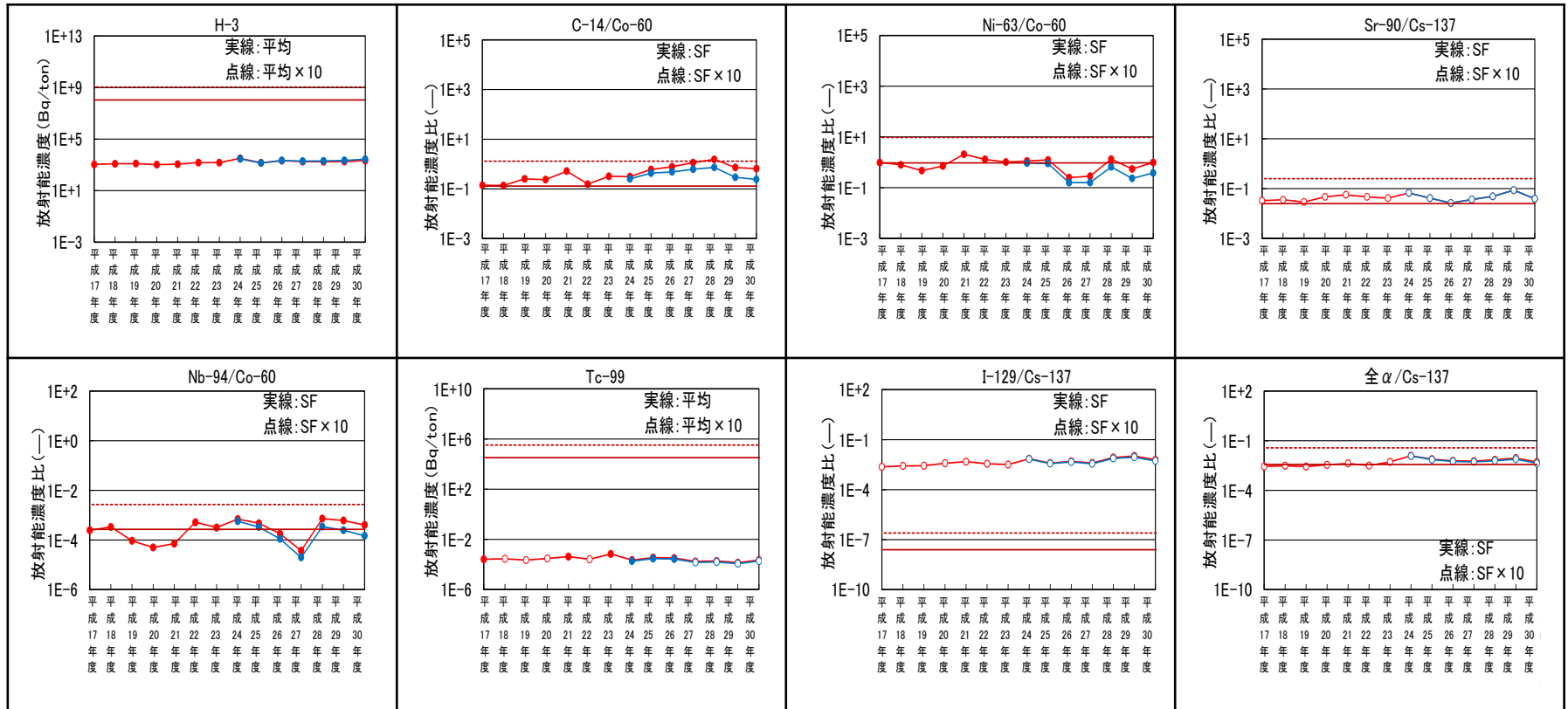
「PWR運転時」は、東日本大震災前の5年間程度

「PWR停止後」は、東日本大震災後の停止中（ただし、再稼働後のデータは除く）

【参考】②核種比の運転停止前後の変動 [3/3]

■ 長期停止に伴う核種比の経年変化

- 高浜3,4号機の濃縮廃液分析データについて、補正起点を停止日とした評価結果を試算。
- 補正起点を停止日とすることで、長期停止期間中においてもSF×10倍を下回る。



【凡例】 ●: 発生日に減衰補正
●: 停止日に減衰補正(長期停止考慮有り)
色抜き: 難測定核種がND値

【考察】 ➤ Key核種がCo-60であるNi-63, Nb-94, C-14は、長期停止による減衰影響が生じやすい。
➤ Sr-90/Cs-137は半減期がほぼ同じなので、ほとんど差異はない

(注)高浜発電所3,4号機は、H23年度に停止、H29年度に再稼働