

本原浜岡発第 112 号
令和 3 年 2 月 9 日

原子力規制委員会 殿

住 所 名古屋市東区東新町 1 番地
申 請 者 名 中部電力株式会社
代 表 者 氏 名 代表取締役社長 林 欣吾
社 長 執 行 役 員

浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる
放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書
(浜岡原子力発電所 4 号原子炉施設の低圧タービンロータの車軸)
の一部補正について

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第 61 条の
2 第 2 項の規定に基づき、令和 2 年 6 月 5 日付け浜岡発第 102 号をも
って申請を行いました「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含
まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書」
の本文及び添付書類一式を別紙に差し替えいたします。

以上

別紙：浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質
の放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書（浜岡原子力
発電所 4 号原子炉施設の低圧タービンロータの車軸）本文及び
添付書類

浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の
放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書
(浜岡原子力発電所 4号原子炉施設の低圧タービンロータの車軸)
本文及び添付書類

一 氏名又は名称及び住所並びにその代表者の氏名

名 称 中部電力株式会社
住 所 名古屋市東区東新町 1 番地
代表者の氏名 代表取締役社長 林 欣吾
社長執行役員

二 放射能濃度確認対象物が生ずる工場等の名称及び所在地

名 称 浜岡原子力発電所
所 在 地 静岡県御前崎市佐倉

三 放射能濃度確認対象物が生ずる施設の名称

名 称 浜岡原子力発電所 4号原子炉施設

- ・昭和 61 年 11 月 15 日付け本原計発第 35 号をもって「浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（4号原子炉の増設及び1号，2号，3号原子炉施設の変更）」を提出し，「核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下，「法」という。）第 26 条第 1 項（当時）の規定に基づき昭和 63 年 8 月 10 日付け 61 資庁第 15688 号により増設が許可された浜岡原子力発電所 4号原子炉施設（以下，「浜岡 4号炉」という。）をいう。（参考文献 1）
- ・放射能濃度確認対象物（以下，「対象物」という。）が生ずる施設の詳細は「添付書類一」に記載した。

四 放射能濃度確認対象物の種類、発生及び汚染の状況並びに推定される総重量

1. 放射能濃度確認対象物の種類及び推定される総重量

- ・対象物は、浜岡 4 号炉の修理により取り外した低圧車軸 (A) ~ (C) の 3 軸であり、推定される総重量は 334 トンである。

2. 放射能濃度確認対象物の発生の状況

- ・対象物となる低圧車軸 (A) ~ (C) を使用していた時の浜岡 4 号炉の型式は「濃縮ウラン燃料，軽水減速，軽水冷却，沸騰水型」である。
- ・この低圧車軸 (A) ~ (C) は，原子炉初起動（平成 4 年 12 月 12 日）から第 13 サイクル原子炉停止時（平成 23 年 5 月 13 日）までの 5,246 日間（実効運転期間）を使用した。平成 24 年 1 月 25 日から開始した浜岡 4 号炉第 13 回定期検査において，低圧タービン第 7 段～第 12 段の翼取付部（車軸側）の超音波探傷検査及び磁粉探傷検査の結果から，低圧タービンロータ (A) ~ (C) の取り替えを行った。このうちの低圧車軸が本申請の対象物である。対象物の概要を「(本文) 図-1」に示す。
- ・取り外した低圧車軸 3 軸は，平成 27 年 7 月に浜岡 4 号炉タービン建屋から浜岡原子力発電所 5 号原子炉施設（以下，「浜岡 5 号炉」という。）タービン建屋へ運搬し，除染を実施した後，汚染防止対策を講じて保管している。対象物の発生場所及び保管場所を「(本文) 図-2」に示す。

3. 放射能濃度確認対象物の汚染の状況

- ・対象物の汚染形態には，中性子の照射を受けて放射性物質が生成されることによる汚染（以下，「放射化汚染」という。）と主蒸気中に含まれる放射性物質が付着することによる汚染（以下，「二次的な汚染」という。）がある。
- ・放射化汚染をもたらす中性子線としては，低圧車軸はタービン建屋で使用していたことから，原子炉からの直接線及びストリーミング線の影響は無く，主蒸気中に含まれる中性子源 (^{17}N) が β 崩壊して ^{16}O になる際に放出される中性子線（以下，「主蒸気中の ^{17}N 線」という。）となる。

- ・ 浜岡 4 号炉の第 7 段翼（主蒸気密度が最も高く主蒸気中の中性子源 ^{17}N の放射能濃度が最も高い主蒸気入口付近にあり，主蒸気に直接曝される第 7 段翼の二次的な汚染を除去したもの）を代表サンプルとして，放射化汚染による放射能濃度を分析した結果，「(本文) 表-1」に示すとおり，汚染は検出されなかったことから，放射化汚染は無視できる程度である。これは先行事例である「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価方法の認可申請書」（平成 26 年 5 月 1 日付け原規規発第 1404309 号をもって認可。以下，「浜岡 5 号炉低圧タービンロータ」という。）でも同様である。（参考文献 2）
- ・ 二次的な汚染は，一次冷却設備から溶出した腐食生成物，構造材に微量元素として存在するウラン等が炉心中性子により放射化されることによって放射性物質が生成され，原子炉内で浄化されながら主蒸気に移行して低圧車軸に付着及び減衰することによって生ずる。対象物を使用していた期間，放射性物質による汚染に影響を及ぼすような事故，トラブル及び燃料破損がなかったことから，FP 核種（ウランが炉心中性子で照射されて生成した核分裂性生成物及び中性子捕獲生成物）の影響は僅かであり，CP 核種（一次冷却設備から溶出した腐食生成物が炉心中性子で放射化されて生成した放射性腐食生成物及び一次冷却水が炉心中性子で放射化されて生成した放射性物質）が主である。CP 核種の中では，材料の組成から ^{60}Co が主要な核種となる。これは，運転中に原子炉水中で顕著に検出される核種が ^{60}Co であること，事前調査（対象物の除染後における表面汚染サーベイ等）及び先行事例から明らかである。
- ・ 対象物における二次的な汚染の分布は，主蒸気が低圧車軸の中心部から入り下流側に向かって膨張しながら流れることから，主蒸気入口付近（低圧車軸の中心部）が高く，下流側に向けて低くなる傾向を示す。また対象物は回転体であることから，周方向には均一な汚染の傾向を示す。
- ・ 福島第一原子力発電所事故由来の放射性物質の降下物（以下，「フォールアウト」という。）の影響は見られない。（参考文献 3，4）
- ・ 以上より，汚染状況は主に二次的な汚染であり，放射化汚染は無視できると判断した。

- ・放射能濃度確認対象物の種類，発生状況，汚染の状況及び推定される総重量の詳細は「添付書類二」に記載した。

五 評価に用いる放射性物質の種類

1. 評価に用いる放射性物質の種類を選択方法

- ・対象物の放射能濃度の評価に用いる放射性物質（以下、「評価対象核種」という。）は，対象物に含まれる放射性物質のうち，放射性物質の放射能濃度を評価する上で重要となるものを選択する。
- ・評価対象核種は，「工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものであることの確認等に関する規則」（令和 2 年 8 月 13 日施行，原子力規制委員会規則第 16 号。以下、「規則」という。）別表第 1 欄の放射性物質のうち，「放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」（令和 2 年 8 月 13 日施行，原規規発第 2007294 号，原子力規制委員会決定。以下，「審査基準」という。）別記第 1 号に掲げる 33 種類の放射性物質（以下，「規則 33 核種」という。）を対象に，審査基準に準拠して選択する（参考文献 5）。規則別表第 2 欄の放射能濃度の単位は **Bq/kg** となっているが，本申請書では放射能濃度の単位は **Bq/g** として扱う。
- ・対象物の汚染形態は，上記「四 放射能濃度確認対象物の種類，発生及び汚染の状況並びに推定される総重量」に記載のとおり，主に二次的な汚染であり，放射化汚染は無視できることから，二次的な汚染の中で放射性物質の放射能濃度を評価するうえで重要となるものを選択する。
- ・二次的な汚染は，上記「四 放射能濃度確認対象物の種類，発生及び汚染の状況並びに推定される総重量」に記載のとおり，主に **CP** 核種が主であり，**CP** 核種の中では ^{60}Co が主要な核種となる。
- ・主要核種 ^{60}Co の放射能濃度は，事前調査に基づき求めた結果，「（本文）表-1」に示すとおり， ^{60}Co の放射能濃度（**D**）を規則別表第 2 欄の放射能濃度（**C**）（以下，「基準値」という。）で除した比率 **D/C**（ ^{60}Co ）で 1/33 以下である。従って，その他の核種は評価対象核種の選択において考慮する必要はないと判断した。

2. 評価に用いる放射性物質の種類を選択結果

- ・以上より， ^{60}Co 以外の核種の放射能濃度は僅かと判断し，評価対象核種は ^{60}Co の 1 核種とする。
- ・評価に用いる放射性物質の選択の詳細は「添付書類三」に記載した。

六 評価単位

1. 基本的考え方

- ・対象物の汚染は，上記「四 放射能濃度確認対象物の種類，発生及び汚染の状況並びに推定される総重量」に記載のとおり，周方向では基準値 (D/C (^{60}Co) が 1) を下回るレベルで均一な汚染の傾向を示す。
- ・これを踏まえ，評価対象核種の D/C (^{60}Co) が 1 以下であることを判断する重量単位である「評価単位」は軸方向に同一構造となる箇所を分割して設定し，測定により放射能濃度を求める最小の重量単位である「測定単位」は汚染の均一性を考慮して周方向に分割して設定する。

2. 評価単位

- ・「評価単位」の重量は 10 トン以下とし，「(本文) 図-3」に示すとおり，各低圧車軸とも軸方向に 26 分割し，それぞれを「評価単位」とする。

3. 測定単位

- ・「測定単位」は，「(本文) 図-3」に示すとおり，放射線測定装置と「測定単位」の相対位置を考慮して，重量が 1 トン以下となるよう，「評価単位」を周方向に分割 (60° 又は 30°) して設定する。
- ・いずれの「測定単位」においても，事前調査の結果，「(本文) 図-4」に示すとおり， D/C (^{60}Co) は 1 を下回るレベルで均一な汚染であり 10 は超えない。
- ・「測定単位」のうち，単一の放射線測定装置で 1 回の測定で放射エネルギーを測定する領域を「測定領域」として設定する。「測定単位」の形状により「測定領域」は複数になる場合がある。
- ・評価単位の詳細は「添付書類四」に記載した。

七 放射能濃度の決定を行う方法

1. 放射能濃度の決定方法

- ・評価対象核種は、上記「五 評価に用いる放射性物質の種類」に記載のとおり、二次的な汚染の ^{60}Co の 1 核種を選択した。従って、二次的な汚染の ^{60}Co を測定することによって放射能濃度を決定する。
- ・ ^{60}Co は γ 線を放出する核種であり、 γ 線を測定すること及び対象物が複雑な形状でないことから、放射線測定装置は直接表面汚染を測定できる汎用の Ge 半導体検出器又は NaI シンチレーションサーベイメータを用いる。
- ・放射能濃度は、放射線測定法によって求める評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーを重量で除して決定する。
- ・対象物は回転体構造であり、「(本文) 図-4, 5」に示すとおり、周方向で基準値 (D/C (^{60}Co) が 1) を下回るレベルで均一な汚染の傾向を示すことから、「評価単位」毎に「測定単位」の一つを代表「測定単位」として測定し、その結果を基に「評価単位」の放射能濃度を決定する (以下、「サンプリング測定」という。)
- ・その際、測定及び評価における不確かさを考慮する。
- ・放射能濃度の評価日は、「評価単位」に対応する代表「測定単位」の測定日とする。
- ・測定の結果、「評価単位」の D/C (^{60}Co) が 1 以下となることを確認し、国の確認を受ける。

2. 放射エネルギーの測定条件

- ・測定条件として、代表「測定単位」における評価対象核種の D/C (^{60}Co) が 1 以下であることの判断を可能にするための条件であり、評価対象核種 (^{60}Co) の放射能換算係数及び計数率を考慮する。

2. 1 評価対象核種 (^{60}Co) の放射能換算係数

- ・放射能換算係数は、放射線測定装置で測定した評価対象核種 (^{60}Co) の計数率 (s^{-1}) と放射エネルギー (Bq) を対応づける換算係数 (Bq/s^{-1}) である。
- ・「測定単位」の形状に応じて「測定領域」を設定し、「測定領域」毎に放射能換算係数を設定する。

- ・放射能換算係数は、「(本文) 図-6」に示すとおり、放射線測定装置の検出器と「測定領域」との位置関係により、検出器と「測定領域」の間に遮へいとなる部分が存在しない場合（以下、「ケース A」という。）と、存在する場合（以下、「ケース B」という。）に分けて設定する。
- ・その際、測定結果が保守的となるように放射能換算係数を設定する。

(1) ケース A の放射能換算係数

- ・検出器と「測定領域」の間に遮へいとなる部分が存在しない「測定領域」（ケース A）の測定には Ge 半導体検出器又は NaI シンチレーションサーベイメータを用いる。
- ・「測定領域」の放射能分布は、検出器から最も離れた点に放射能が局在すると保守的に仮定し、放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) を整理する。
- ・このうち Ge 半導体検出器を用いて放射エネルギーを測定する「測定領域」の一部に狭隘部が存在する場合がある。この場合、当該部分の放射エネルギーは表面汚染密度の代表値を用いて設定し、Ge 半導体検出器で測定した放射エネルギーに加算して「測定領域」の放射エネルギーを整理する。
- ・表面汚染密度の測定は、GM 管式サーベイメータ又はプラスチックシンチレーション式サーベイメータを使用し、測定結果が 2.0Bq/cm^2 未満であることを確認することで、表面汚染密度の代表値は 2.0Bq/cm^2 （令和 2 年 4 月 1 日時点）とする（ ^{60}Co 相当：以下、 ^{60}Co 相当の表面汚染密度の説明では「 ^{60}Co 相当」の記載を省略する。）。

(2) ケース B の放射能換算係数

- ・検出器と「測定領域」の間に遮へいとなる部分が存在する「測定領域」（ケース B）の測定には Ge 半導体検出器を用いる。
- ・「測定領域」の放射能分布は、「測定領域」毎に Ge 半導体検出器と「測定領域」との位置関係を決め、「測定領域」の評価体系をモデル化し、測定結果が保守的となるよう放射能分布を設定して放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) を整理する。具体的には、「測定領域」内を小領域に分割し、小領域あたりの放射エネルギーを保守的に設定する。小領域あたりの放射エネルギーは表面汚染密度（代表値）に小領域あたりの面積を乗じて求める。各小領域の放射エネルギーに相当する Ge 半導体検出器の計数率に対する応答関数 (s^{-1}/Bq) を遮へい計算で求め、「測定領域」内において計数率 (s^{-1}) が最も小さくなる小領域位置から順に各小領域に小領域あたりの放射エネルギーを割り当てていき、「測定領域」の総放射エネルギー (Bq)

と放射線測定装置での計数率 (s^{-1}) との関係放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) として整理する。その際の表面汚染密度の代表値は、上記 (ケース A) と同じである。(参考文献 6)

2. 2 放射能濃度評価に用いる評価対象核種 (^{60}Co) の計数率

- 放射能濃度評価に用いる評価対象核種 (^{60}Co) の計数率は、Ge 半導体検出器を用いて測定する場合、計数率の統計的誤差を考慮するため、評価対象核種 (^{60}Co) の計数率が検出された場合、検出値の 95% 片側上限値 (検出値 + 標準偏差の 1.645 倍) を評価に用いる計数率として採用する。測定した計数率が検出限界値未満であった場合、検出限界値を測定値とする。
- NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定する場合、測定した計数率がバックグラウンドを含めて全て「測定領域」の評価対象核種 (^{60}Co) のものとして放射エネルギーに換算することから、測定した計数率を放射能濃度の評価に用いる評価対象核種 (^{60}Co) の計数率とする。
- 具体的には、以下のとおりとする。

評価対象核種 (^{60}Co) の測定結果	評価に用いる計数率 (s^{-1})	
	Ge 半導体検出器	NaI シンチレーションサーベイメータ
検出	検出値 + 1.645 σ	測定値
検出限界値未満	検出限界計数率	

注) σ は検出値の標準偏差。

- Ge 半導体検出器の検出限界値は、基準値以下であることの判断が可能となるよう検出限界値を設定し、また、測定場所周辺のバックグラウンドの状況及び対象物の遮へい効果を考慮して決定する。具体的には、計数率の統計的誤差を考慮しても D/C (評価対象核種 (^{60}Co)) が 1 以下であることの判断が可能となるよう、検出限界値相当で 0.05 Bq/g (評価対象核種 (^{60}Co)) 以下となる測定時間を設定する。
- NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定する場合、測定した計数率は、バックグラウンドを含む全てを「測定領域」の評価対象核種 (^{60}Co) のものとすることから、検出限界値は設定しない。
- Ge 半導体検出器の測定時間は、検出限界値相当で 0.05 Bq/g (評価対象核種 (^{60}Co)) 以下となる測定時間を設定する。

- ・NaI シンチレーションサーベイメータの測定時間は、放射線測定装置の特性上、統計的な誤差が小さい時定数 30 秒の 3 倍以上である 90 秒以上とする。
- ・Ge 半導体検出器の測定の結果、検出限界計数率未満であり、かつ検出限界値相当で 0.05 Bq/g（評価対象核種（ ^{60}Co ））以下とならない場合、測定条件を見直して再測定を行うか、再除染し再測定を行うか又は対象物から除外する。

2. 3 妥当性確認

- ・両ケースとも、模擬線源を用いて実測し、放射能換算係数と計数率を用いて求める放射エネルギーの測定方法の妥当性を確認した。

3. 放射能濃度の決定方法に関する不確かさ

- ・放射能濃度の決定における不確かさの要因として、評価対象核種（ ^{60}Co ）の放射エネルギー測定及び重量設定に不確かさがあるものとして、放射能濃度を決定する。
- ・放射エネルギー測定における不確かさの要因として、放射能換算係数及び評価対象核種（ ^{60}Co ）の計数率を考慮する。

- ・放射能濃度を決定するための重量は、対象物を「評価単位」及び「測定単位」に分割して求めた値に不確かさがあるものとして、保守的に放射能濃度を求める。
- ・放射能濃度の決定を行う方法の詳細は「添付書類五」に記載した。

八 放射線測定装置の種類及び測定条件

- ・放射能濃度の測定に使用する放射線測定装置は、対象物の形状、材質、「評価単位」、汚染の状況に応じた適切なものを選択し、測定効率が適切に設定されている放射線測定装置とする。測定装置は、原則として ^{60}Co が放出する γ 線測定によく用いられる汎用のGe半導体検出器とし、検出器が近接できない箇所はNaIシンチレーションサーベイメータ等で測定を行う。
- ・測定条件は、基準値以下であることを適切に判断できるように設定する。

1. 放射線測定装置の種類

- ・放射能濃度は、原則として汎用のGe半導体検出器を用いて求める。低圧車軸のカップリング穴等のGe半導体検出器が近接できない箇所は汎用のNaIシンチレーションサーベイメータを用いて測定するが、NaIシンチレーションサーベイメータが近接できない狭隘部は表面汚染密度の代表値を用いて当該箇所の放射エネルギーとする。
- ・表面汚染密度の測定には、汎用のGM管式サーベイメータ又はプラスチックシンチレーション式サーベイメータを用いる。(参考文献7)

2. 放射線測定装置の測定条件

- ・放射線測定装置の測定条件として、検出限界値、測定時間及び点検・校正を考慮する。

2. 1 検出限界値

- ・Ge半導体検出器の検出限界値は、基準値以下であることの判断が可能となるよう検出限界値を設定する。その際、測定場所周辺のバックグラウンドの状況及び対象物の遮へい効果を考慮する。測定した計数率が検出限界値未満であった場合、検出限界値を測定値とする。
- ・NaIシンチレーションサーベイメータを用いて測定する場合、測定した計数率は、バックグラウンドを含む全てを「測定領域」の評価対象核種(^{60}Co)のものとすることから、検出限界値は設定しない。

2. 2 測定時間

- ・Ge半導体検出器の測定時間は、代表「測定単位」のD/C(評価対象核種(^{60}Co))が1以下であることの判断が可能な測定時間とする。具体的には、計数率の統計的誤差を考慮してもD/C(評価対象核種

(^{60}Co) が 1 以下であることの判断が可能となるよう、検出限界値相当で 0.05 Bq/g (評価対象核種 (^{60}Co)) 以下となる測定時間を設定する。

- ・ NaI シンチレーションサーベイメータの測定時間は、放射線測定装置の特性上、統計的な誤差が小さい時定数 30 秒の 3 倍以上である 90 秒以上とする。

2. 3 点検・校正

- ・ 放射線測定装置は、以下の点検・校正を行うことにより、測定効率が適切であることを確認する。
- ・ 放射線測定装置を使用する時はあらかじめ日常点検を行う。
- ・ 1 年に 1 回、放射線測定装置の定期点検 (点検・校正) を行う。

- ・ 放射線測定装置の選択及び測定条件の設定の詳細は「添付書類六」に記載した。

九 放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法

1. 対象物の保管場所

- ・ 放射能濃度の測定及び評価を行うまで対象物を保管する場所を「保管エリア」として管理する。
- ・ 測定及び評価にあたっては、放射性物質による追加的な汚染が生じないように区画してハウスを設置することで「保管エリア」を汚染のおそれのある管理区域から汚染のおそれのない管理区域に変更し、同じ場所を「測定エリア」として、各低圧車軸を構成する全ての「評価単位」の測定及び評価を行う。
- ・ 測定及び評価を行った結果、全ての「評価単位」において評価対象核種 (^{60}Co) の D/C が 1 以下となることを確認した低圧車軸は、同じ場所を「確認待ちエリア」として国の確認までの間、保管する。
- ・ 「保管エリア」、「測定エリア」及び「確認待ちエリア」(以下、「保管エリア等」という。) の候補地は、「(本文) 図-2」に示すとおり、浜岡 5 号炉タービン建屋 3 階である。

2. 対象物の保管方法

- ・対象物への異物の混入，放射性物質による汚染及び経年変化を防止するため，以下の措置を講ずる。
- ・対象物に追加的な汚染が生じないように，「保管エリア」で保管する際には対象物を養生し，「測定エリア」及び「確認待ちエリア」はハウスを設置して汚染のおそれのない管理区域として管理する。
- ・対象物は切断して容器に収納することはせず一体で取り扱い，「保管エリア等」は立入防止のための柵を設置し出入口を施錠して管理する。
- ・保管エリア等は，放射能濃度確認担当部署の責任者の承認を受けた者以外の者が立ち入らないように制限する。
- ・対象物は異物が混入する構造になっていないため，測定後の対象物に測定前の対象物等が混入することはないが，対象物が「測定前」，「測定中」，「測定済み（国の確認前）」あるいは「確認済み（国の確認を受けた物）」であることが分かるように識別管理する。
- ・「保管エリア等」では，追加汚染防止措置を講じて対象物を保管するとともに，放射能濃度の測定から国の確認までの間，厳格な品質管理を行う。
- ・放射線測定装置を用いた測定は，汚染のおそれのない管理区域である「測定エリア」において実施する。
- ・対象物を運搬する際は，追加的な汚染が生じないような措置を講じるか，追加的な汚染のおそれのない経路を選定する。
- ・放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法の詳細を「添付書類七」に記載した。

十 放射能濃度の測定及び評価に係る品質マネジメントシステム

- ・放射能濃度の測定及び評価に係る品質保証の体制を，審査基準の要求事項を踏まえ，保安規定等に定める。
- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理を高い信頼性をもって実施し，これらを維持・改善するための品質保証活動を次のとおり実施する。
- ・品質保証体制は社長をトップマネジメントとして構築し，体系化した組織及び文書類により，放射能濃度の測定及び評価のための一連の業務に係る計画，実施，評価及び改善のプロセスを実施するための品質保証計画を定める。

- 対象物の発生から分別, 放射能濃度の測定及び評価, 保管管理, 搬出, これら一連の管理に関する記録の作成及び保存並びに不適合発生時の処置を行う際には, 品質保証活動を実施し, 放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務の信頼性を確保する。
- 浜岡原子力発電所原子炉施設保安規定, 原子力品質保証規程及び品質保証計画書並びにこれらに基づく下部規程に品質マネジメントシステムに関する事項を定めて実施するとともに, 継続的に改善していく。
- 放射能濃度の測定及び評価に係る品質マネジメントシステムの詳細を「添付書類八」に記載した。

以上

参考文献

1. 「浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（4号原子炉の増設及び1号，2号，3号原子炉施設の変更）」（本原計発第35号，昭和61年11月15日）
2. 「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価方法の認可申請書」（平成26年5月1日付け原規規発第1404309号をもって認可）（浜岡5号炉低圧タービンロータ）
3. 「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係るフォールアウトによる原子力施設における資材等の安全規制上の取扱いについて（内規）」（経済産業省原子力安全・保安院，平成24・03・26原院第10号）
4. 「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書」（平成31年3月19日付け原規規発第1903191号をもって認可）（浜岡1,2号炉解体撤去物）
5. 「放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」（令和2年8月13日施行，原規規発第2007294号，原子力規制委員会決定。）
6. 特許第6228024号「放射能評価方法及び放射能評価プログラム」
7. JIS Z 4504：2008 「放射性表面汚染の測定方法－β線放出核種（最大エネルギー0.15MeV以上）及びα線放出核種」

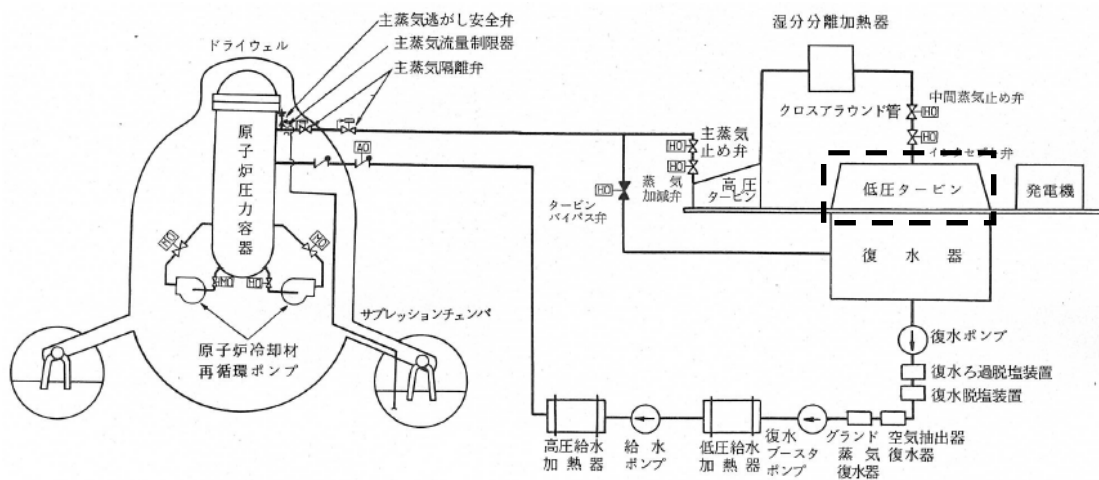
本文 図表リスト

(本文) 図-1	タービン設備の概要
(本文) 図-2	対象物の発生場所及び保管場所
(本文) 図-3	「評価単位」、「測定単位」及び「測定領域」の概要
(本文) 図-4	除染後における対象物の周方向の汚染状況
(本文) 図-5	サンプリング測定の概要
(本文) 図-6	放射能換算係数と「測定領域」内の放射能分布の関係
(本文) 表-1	対象物の放射能濃度の測定結果 (浜岡 4 号炉)

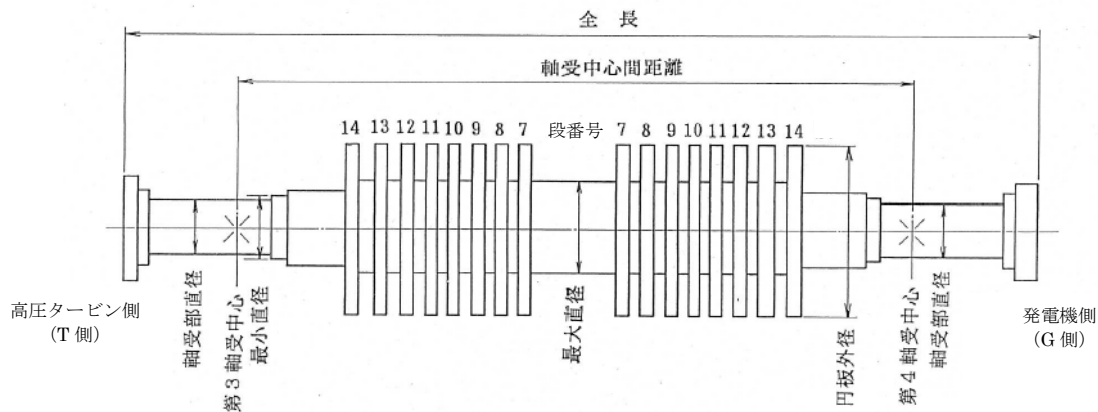
(本文) 図-1 タービン設備の概要

対象物は、低圧タービンを構成する車軸である。代表で低圧車軸 (A) を示す。

(1) タービン設備の概要



(2) 対象物の概要



出典 浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(4号原子炉の増設及び1号, 2号, 3号原子炉施設の変更)

(本文) 図-2 対象物の発生場所及び保管場所(1/2)

対象物の「発生場所」は浜岡4号炉タービン建屋である。また、浜岡5号炉タービン建屋は、「保管エリア」「測定エリア」及び「確認待ちエリア」の候補地である。



出典 浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書 (5号原子炉の増設)

(本文) 図-2 対象物の発生場所及び保管場所(2/2)

発生場所：浜岡 4 号炉タービン建屋 3 階



出典 浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(4号原子炉の増設及び1号, 2号, 3号原子炉施設の変更)

保管場所：浜岡 5 号炉タービン建屋 3 階

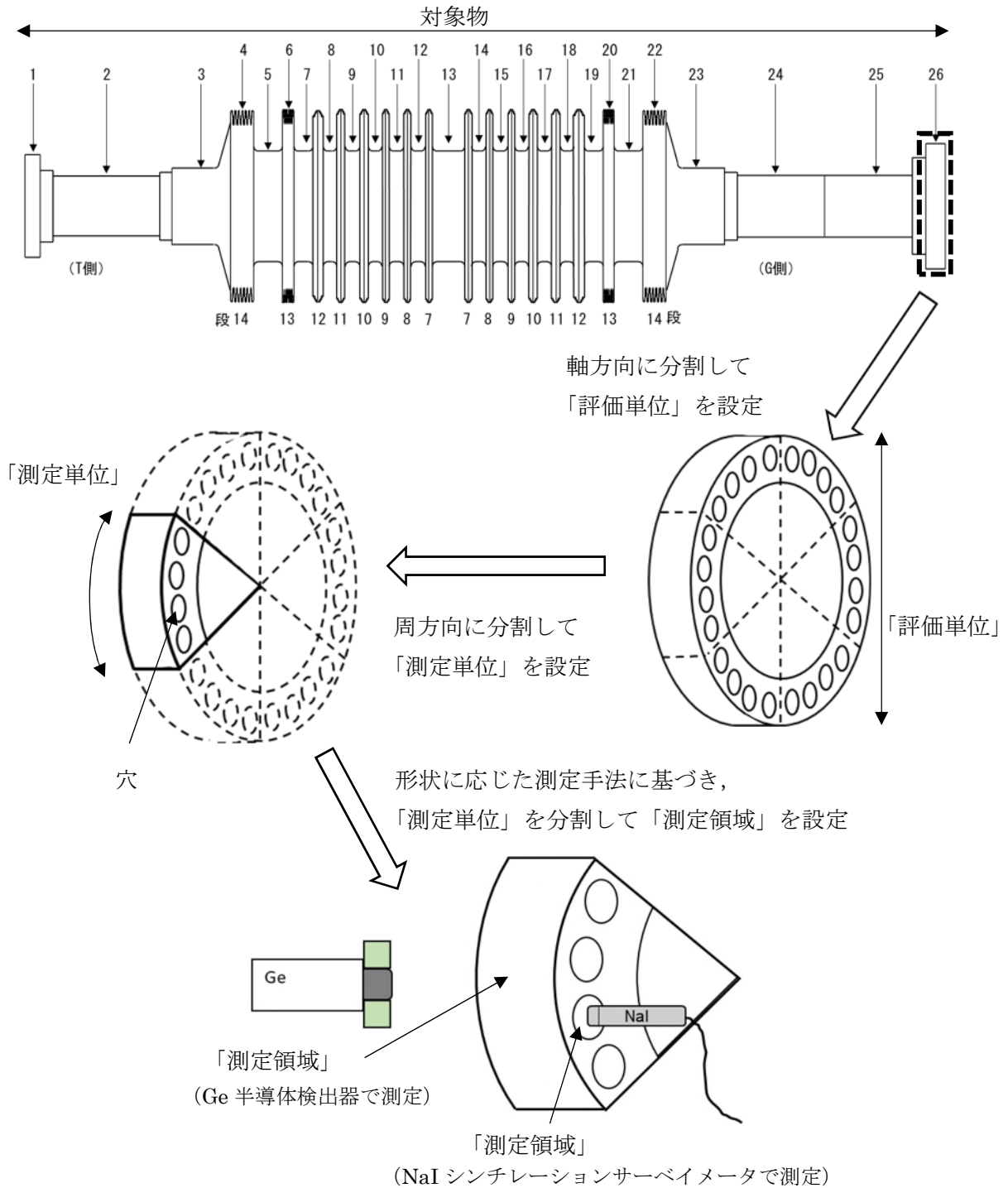
・「保管エリア」「測定エリア」及び「確認待ちエリア」の候補地を点線で示す。



出典 浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書 (5号原子炉の増設)

(本文) 図-3 「評価単位」, 「測定単位」及び「測定領域」の概要

- ・各低圧車軸とも軸方向に 26 分割し, それぞれを「評価単位」とする。
- ・「測定単位」は「評価単位」を周方向に分割して設定する。
- ・「測定単位」のうち, 単一の放射線測定装置で 1 回の測定で放射エネルギーを測定する領域を「測定領域」とする。「測定単位」の形状により「測定領域」は複数になる場合がある。



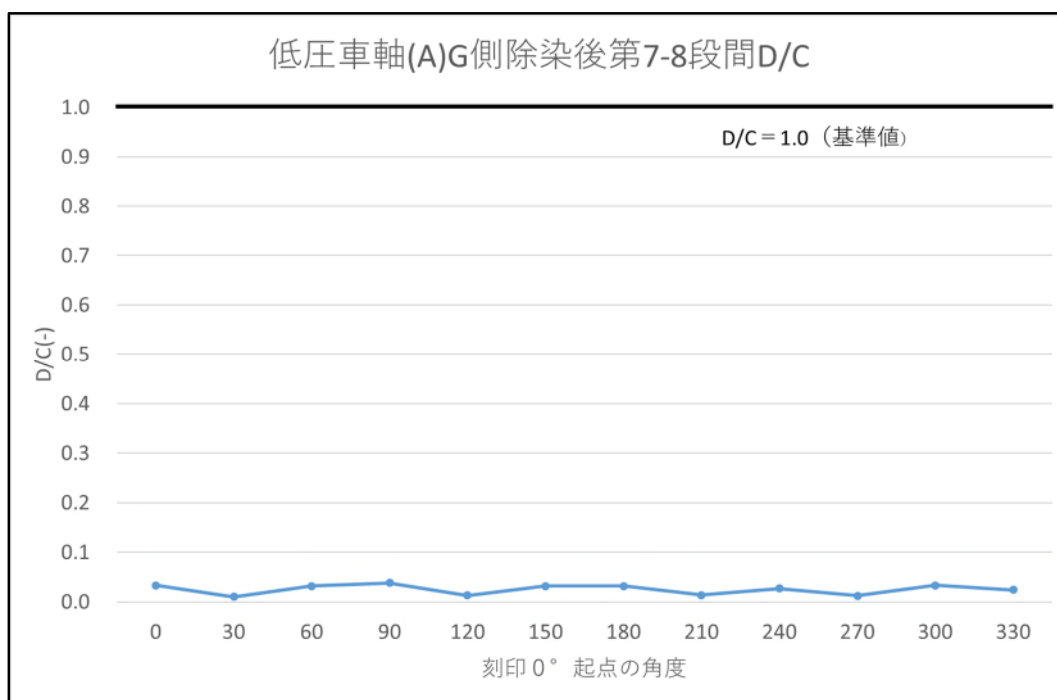
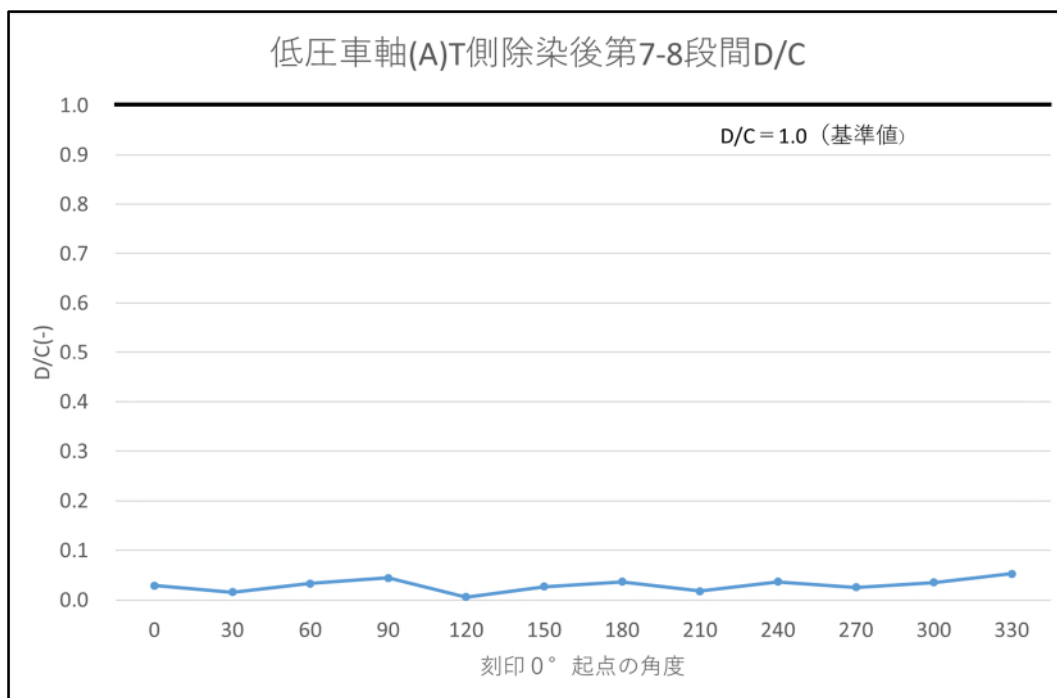
本文図表-4

(本文) 図-4 除染後における対象物の周方向の汚染状況(1/3)

除染前に汚染が顕著に確認された主蒸気入口付近（第7-8段間）の除染後における周方向の汚染状況（表面汚染密度）を放射能濃度（D/C）に換算した結果を下図に示す。

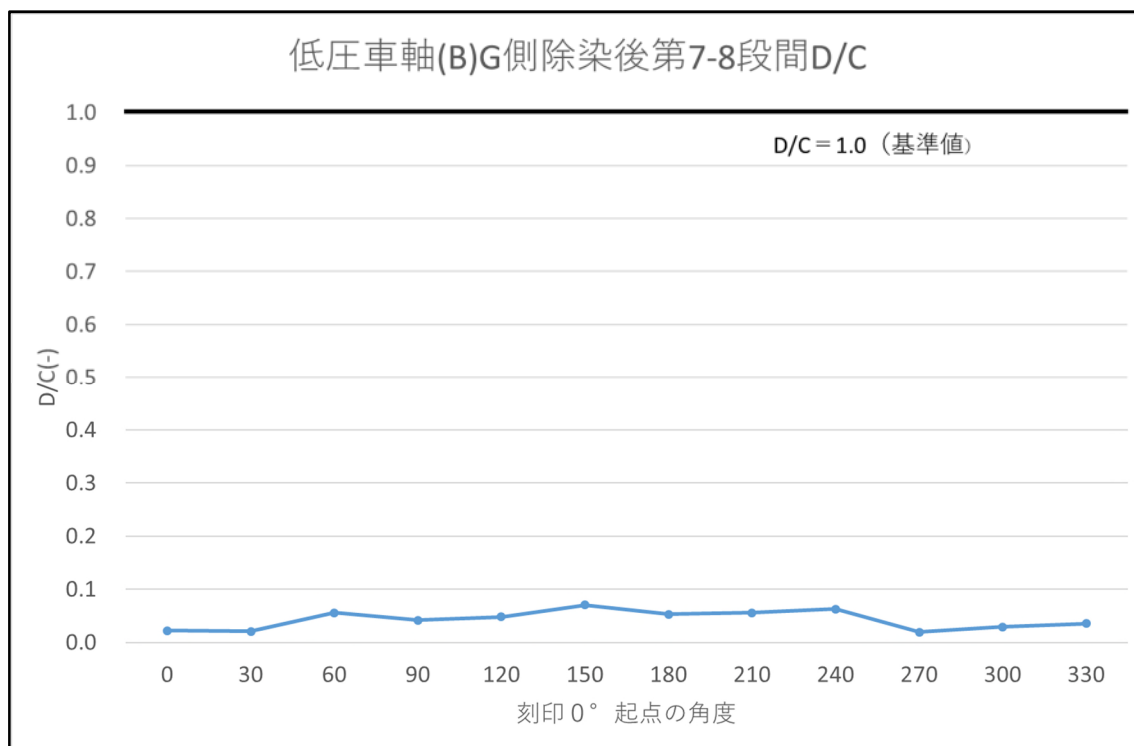
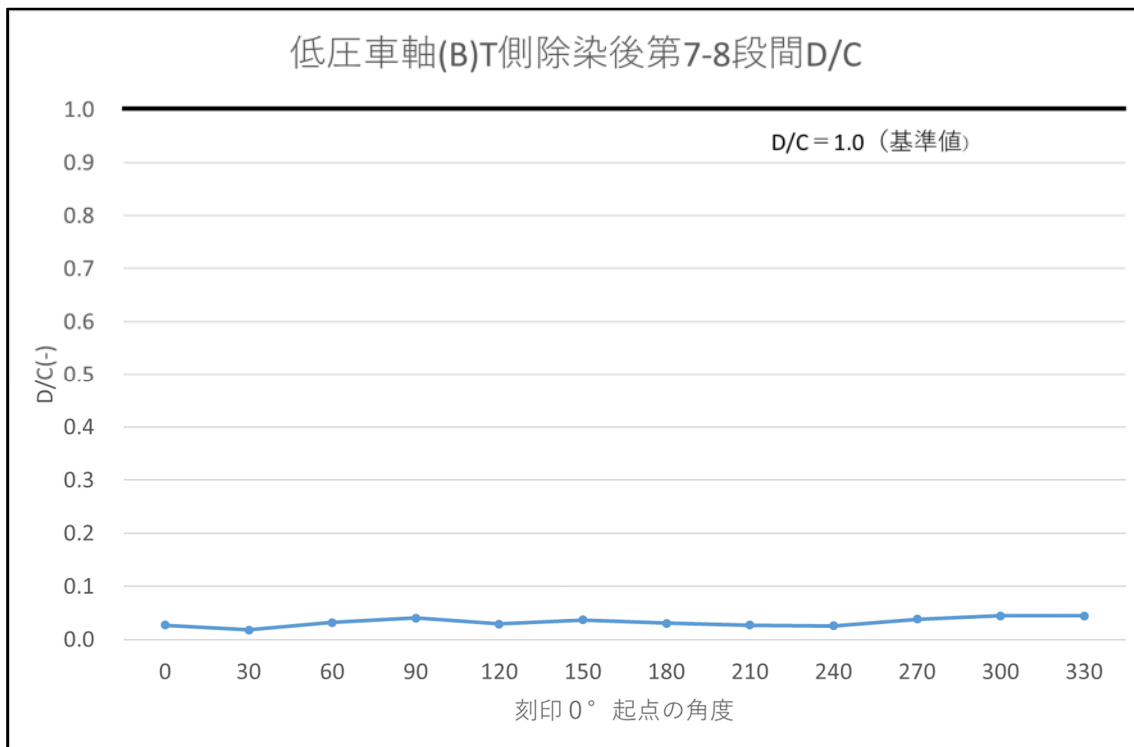
測定点毎に多少の差異はあるものの、D/C（ ^{60}Co ）は1を下回るレベルで均一な汚染であり10は超えない。

(1) 低圧車軸 (A)



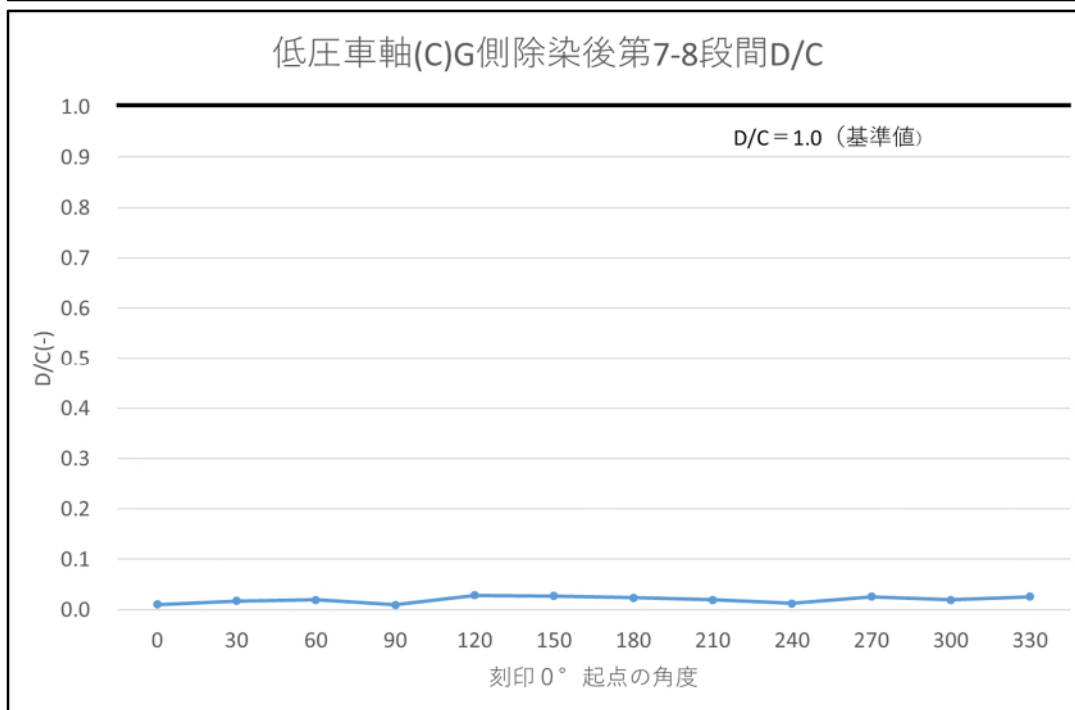
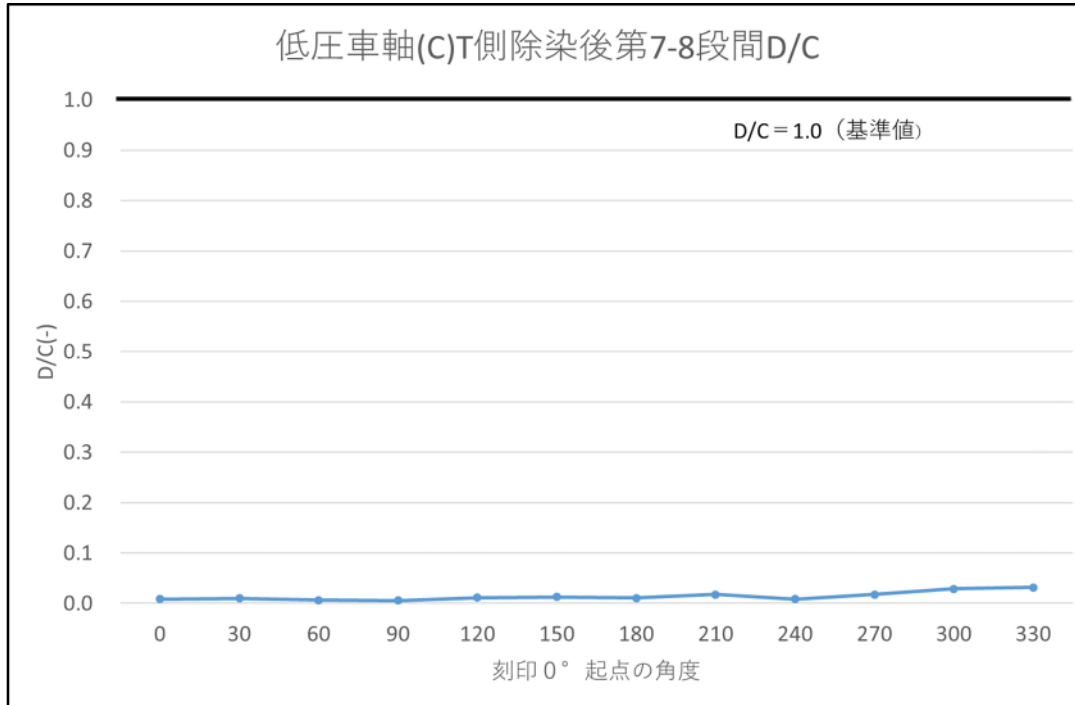
(本文) 図-4 除染後における対象物の周方向の汚染状況(2/3)

(2) 低圧車軸 (B)

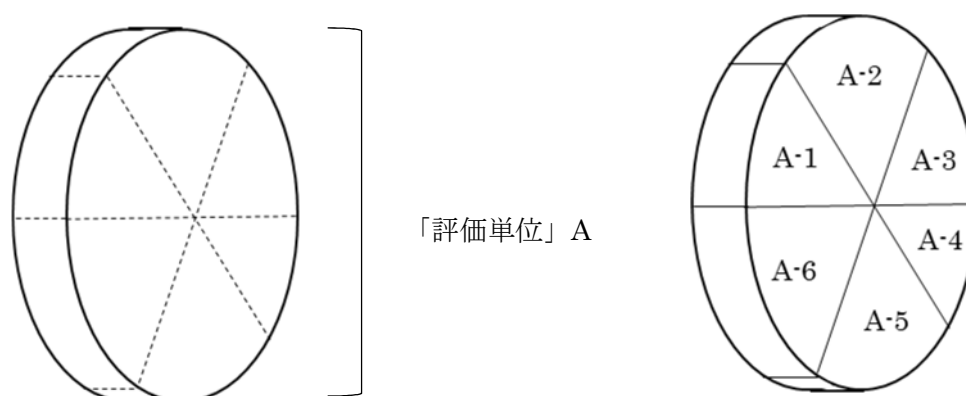


(本文) 図-4 除染後における対象物の周方向の汚染状況(3/3)

(3) 低圧車軸 (C)

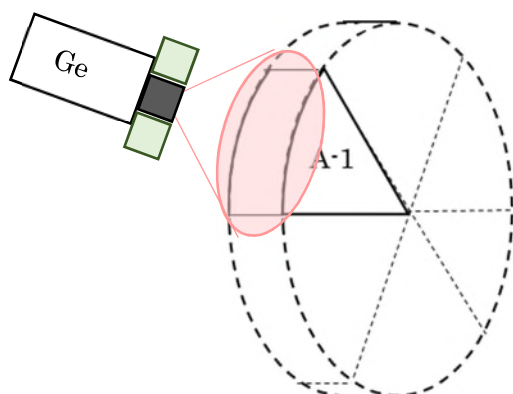


(本文) 図-5 サンプル測定の概要



- ・「評価単位」 A を周方向に分割し、「測定単位」 A-1～A-6 とする。

Ge : Ge 半導体検出器



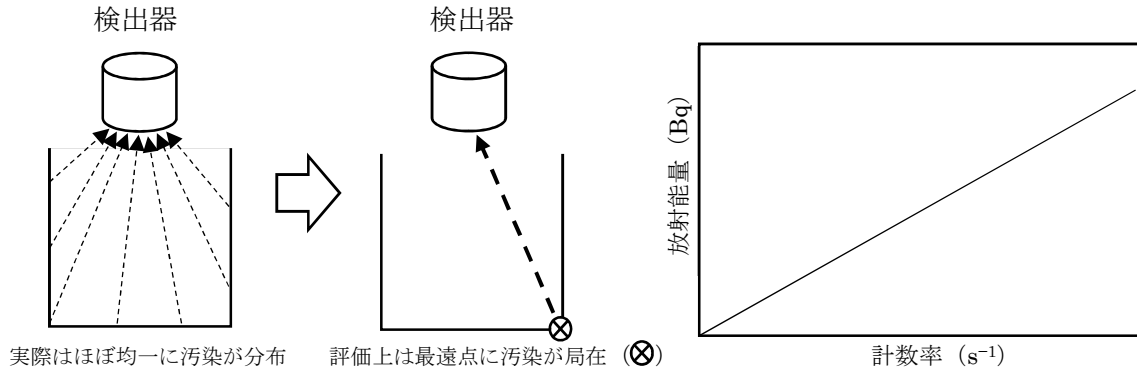
- ・低圧車軸は回転体構造であることから、周方向の汚染は一定レベル以下で同程度と評価した。対象物は、除染（ブラスト除染）を行い、追加汚染防止措置を講じて保管している。事前調査の結果（表面汚染密度）を基に対象物の放射能濃度を評価した結果、いずれの「測定単位」においても D/C (^{60}Co) は 1 を下回るレベルで同程度と評価した。
- ・したがって、サンプリング測定により「評価単位」の放射能濃度を求めることとし、「評価単位」毎に「測定単位」の一つを代表「測定単位」として測定し、その結果を基に「評価単位」の放射能濃度を決定する。上図は、「評価単位」 A を構成する代表「測定単位」 A-1 の放射能濃度を基に「評価単位」 A の放射能濃度を決定する場合の例である。

(本文) 図-6 放射能換算係数と「測定領域」内の放射能分布の関係

放射能換算係数と「測定領域」内の放射能分布の関係を以下に示す。

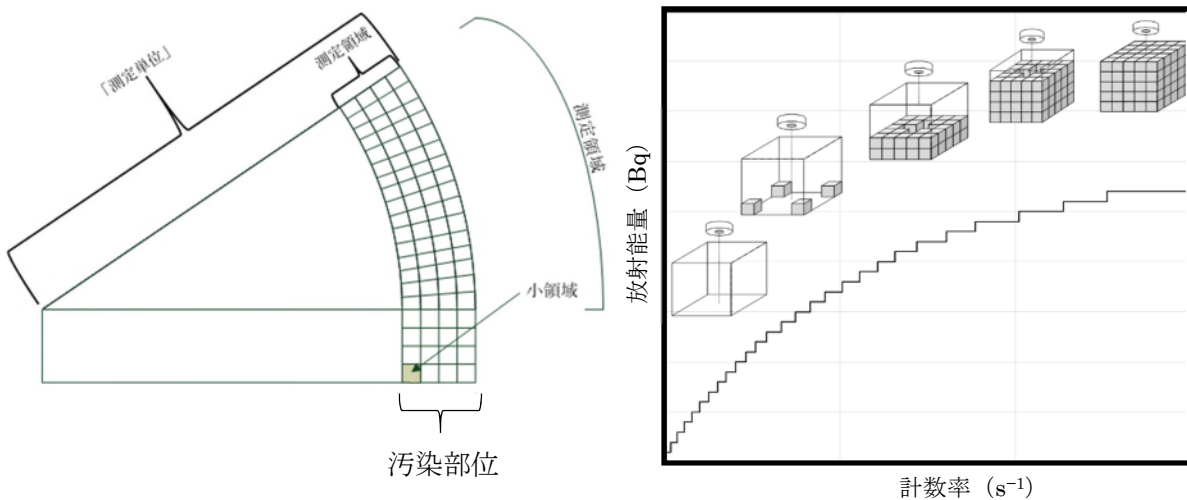
(1) ケース A

- ・「測定領域」の放射能分布は、検出器から最も離れた点に放射能が局在すると保守的に仮定し、放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) を整理する。



(2) ケース B

- ・「測定領域」内を小領域に分割し、小領域あたりの放射エネルギーを保守的に設定する。
- ・小領域あたりの放射エネルギーは表面汚染密度 (代表値) に小領域あたりの面積を乗じて求める。
- ・各小領域の放射エネルギーに相当する Ge 半導体検出器の計数率に対する応答関数 (s^{-1}/Bq) を遮へい計算により求め、「測定領域」内において計数率 (s^{-1}) が最も小さくなる小領域位置から順に各小領域に小領域あたりの放射エネルギーを割り当てていき、「測定領域」の総放射エネルギー (Bq) と放射線測定装置での計数率 (s^{-1}) との関係を放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) として整理する。



※実際の測定領域は左図のような扇型であり、右図の直方体は簡略図である。

(本文) 表-1 対象物の放射能濃度の測定結果 (浜岡 4 号炉)

(1) 放射化汚染

- ・ 浜岡 4 号炉の第 7 段翼 (主蒸気密度が最も高く主蒸気中の中性子源 ^{17}N の放射能濃度が最も高い主蒸気入口付近にあり, 主蒸気に直接曝される第 7 段翼の二次的な汚染を除去したもの) を代表サンプルとして, 放射化汚染による ^{60}Co の放射能濃度の測定結果を以下に示す。測定の結果, 汚染は検出されず, 検出限界値でも基準値の 1%未満であることから, 放射化汚染は無視できる程度である。

(令和 2 年 4 月 1 日時点)

試料採取箇所	放射能濃度 (Bq/g)	①検出限界値(D) (Bq/g)	②基準値(C) (Bq/g)	①/② (D/C) (-)
第 7 段翼(A)	検出限界値 未満	1.4×10^{-4}	0.1	1.4×10^{-3}

(2) 二次的な汚染

- ・ 除染前に汚染が顕著に確認された主蒸気入口付近 (第 7-8 段間) の除染後における二次的な汚染による ^{60}Co の放射能濃度は $2.7 \times 10^{-3} \text{Bq/g}$ であり, これを D/C に換算すると 2.7×10^{-2} となる。これは, 審査基準 (3.1 項) の但し書きにある $1/33$ (3.0×10^{-2}) 以下である。

(令和 2 年 4 月 1 日時点)

表面汚染密度 (Bq/cm ²)	比表面積 (cm ² /g)	①放射能濃度(D) (Bq/g)	②基準値(C) (Bq/g)	①/② (D/C) (-)
1.7×10^{-1}	1.6×10^{-2}	2.7×10^{-3}	0.1	2.7×10^{-2}

< 補足 >

- ・ 除染前に汚染が顕著に確認された主蒸気入口付近 (第 7-8 段間) の除染後の表面汚染密度 (当該箇所の平均値) を基に評価した値であり, 車軸全体で最も高い場所と評価した。
- ・ 実際の測定及び評価では, 本文「七 放射能濃度の決定を行う方法」に記載のとおり, 測定及び評価の保守性や不確かさを考慮して行い, 基準値 (D/C (^{60}Co)) が 1) 以下であることを確認する。

添付書類

- 一 放射能濃度確認対象物が生ずる施設に関する説明
- 二 放射能濃度確認対象物の種類，発生状況，汚染の状況及び推定される総重量に関する説明
- 三 評価に用いる放射性物質の選択に関する説明
- 四 評価単位に関する説明
- 五 放射能濃度の決定を行う方法に関する説明
- 六 放射線測定装置の選択及び測定条件の設定に関する説明
- 七 放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法に関する説明
- 八 放射能濃度の測定及び評価に係る品質マネジメントシステムに関する説明

添付書類 一

放射能濃度確認対象物が生ずる施設に関する説明

放射能濃度確認対象物が生ずる施設に関する説明

- ・対象物が生ずる施設は、昭和 61 年 11 月 15 日付け本原計発第 35 号をもって「浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（4 号原子炉の増設及び 1 号、2 号、3 号原子炉施設の変更）」を提出し、法第 26 条第 1 項（当時）の規定に基づき昭和 63 年 8 月 10 日付け 61 資庁第 15688 号により増設が許可された浜岡 4 号炉のタービン設備である。（参考文献 1）
- ・対象物は、熱出力 3,293 MW の濃縮ウラン燃料を用いた軽水減速・軽水冷却・沸騰水型原子炉である浜岡 4 号炉で使用した低圧タービンロータを構成する車軸（低圧車軸）である。
- ・浜岡 4 号炉の運転状況の概要を「(添付 1) 表-1」に示す。
- ・浜岡 4 号炉は、平成元年 2 月 22 日に着工し、平成 4 年 12 月 12 日に原子炉を初起動（以下、「原子炉初起動」という。）、平成 4 年 12 月 21 日に蒸気タービンを初起動し、平成 5 年 9 月 3 日に営業運転を開始した。
- ・平成 23 年 5 月 6 日付け要請書「浜岡原子力発電所の津波に対する防護対策の確実な実施とそれまでの間の運転の停止について」（平成 23・05・06 原第 1 号）への対応として、平成 23 年 5 月 13 日に原子炉を停止し（以下、「第 13 サイクル原子炉停止時」という。）、平成 24 年 1 月 25 日から浜岡 4 号炉第 13 回定期検査を開始した。
- ・タービン設備は、蒸気タービン、復水器、循環水系、復水・給水系、計測制御装置等で構成する。
- ・原子炉で発生した蒸気は、主蒸気管、主蒸気ヘッドを通り主蒸気止め弁及び蒸気加減弁を経て高圧タービンに入る。高圧タービンの排気は湿分分離加熱器、中間蒸気止め弁及びインタセプト弁を経て低圧タービンに入り復水器に導かれる。
- ・復水器で凝縮した復水は、復水ポンプ、復水浄化系及び給水加熱器を通り、原子炉給水ポンプにより給水として原子炉圧力容器に戻される。
- ・給水加熱器を通る復水、給水は、タービン抽気によって加熱される。低圧給水加熱器及び高圧給水加熱器で凝縮したドレンは復水器に戻される。
- ・原子炉で発生した蒸気を蒸気タービンに通さずに直接復水器へ導くタービンバイパス系を設けてある。
- ・タービン設備の概要を「(本文) 図-1」及び「(添付 1) 表-1」に示す。

参考文献

1. 浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（4 号炉の増設及び 1 号、2 号、3 号原子炉施設の変更）

添付書類 一 図表リスト

(添付 1) 表-1 浜岡 4 号炉の運転状況及びタービン設備の概要

(添付1) 表-1 浜岡4号炉の運転状況及びタービン設備の概要

(1) 運転状況の概要

炉型式	軽水減速, 軽水冷却, 沸騰水型
熱出力	3,293 MW
炉心形状	円柱 (炉心等価直径 約 4.8m, 炉心有効高さ 約 3.7m)
燃料	濃縮ウラン燃料
着工年月日	平成元年 2 月 22 日
初起動年月日	平成 4 年 12 月 12 日
蒸気タービン 起動年月日	平成 4 年 12 月 21 日
営業運転開始 年月日	平成 5 年 9 月 3 日
第 13 サイクル 原子炉停止日	平成 23 年 5 月 13 日

(2) タービン設備の概要

形式	くし形 6 流排気復水式 (再熱式)	
台数	高圧タービン 1 台, 低圧タービン 3 台	
電気出力	約 1,137 MW	
回転数	1,800 rpm	
蒸気条件	圧力	6.55MPa (gage) (66.8kg/cm ² g)
	温度	282℃
	湿り度	0.4%
蒸気流量	約 6,400 t/h (高圧タービン入口において)	
主蒸気止め弁閉止時間	約 0.1 秒	
蒸気加減弁閉止時間	約 0.2 秒	

<補足>

- ・浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書 (4 号原子炉の増設及び 1 号, 2 号, 3 号原子炉施設の変更) を基に作成

添付書類 二

放射能濃度確認対象物の種類，発生状況，
汚染の状況及び推定される総重量に関する説明

放射能濃度確認対象物の種類，発生状況，汚染の状況及び推定される総重量に関する説明

1. 対象物の種類

- ・対象物は，浜岡 4 号炉の低圧タービンロータ（A）～（C）の取り替えで発生した低圧車軸である。
- ・ 密度¹は 7.85 g/cm³である。

2. 対象物の発生状況

- ・対象物となる低圧車軸（A）～（C）は，原子炉初起動（平成 4 年 12 月 12 日）から第 13 サイクル原子炉停止時（平成 23 年 5 月 13 日）までの 5,246 日間（実効運転期間）使用した。第 13 回定期検査において，低圧タービン第 7 段～第 12 段の翼取付部（車軸側）の超音波探傷検査及び磁粉探傷検査の結果から，低圧タービンロータ（A）～（C）の取り替えを行った。このうちの低圧車軸が本申請の対象物である。対象物の概要を「(本文) 図-1」に示す。
- ・対象物は，取り外し後，平成 27 年 7 月に浜岡 5 号炉タービン建屋に運搬し，平成 29 年 1 月 17 日～平成 29 年 2 月 27 日にかけて除染（ブラスト除染）を行い，追加汚染防止の措置を講じて保管している。対象物の発生場所及び保管場所を「(本文) 図-2」に示す。

3. 対象物の汚染の状況

- ・対象物の汚染形態には，中性子の照射を受けて放射性物質が生成されることによる汚染（放射化汚染）と主蒸気中に含まれる放射性物質が付着することによる汚染（二次的な汚染）がある。
- ・汚染状況は主に二次的な汚染であり，放射化汚染は無視できる。
- ・福島第一原子力発電所事故に伴うフォールアウトの影響はみられない。
- ・対象物の汚染の形態及び汚染の程度を以下に示す。

3. 1 放射化汚染

- ・放射化汚染をもたらす中性子線としては，低圧車軸はタービン建屋で使用していたことから，原子炉からの直接線及びストリーミング線の影響は無く，主蒸気中に含まれる中性子源（¹⁷N：半減期 約 4 秒）がβ崩壊して¹⁶Oになる際

¹ 密度の測定は，JIS Z 8807：2012「固体の密度及び比重の測定方法」に準拠した。

に放出される中性子線（主蒸気中の ^{17}N 線）となる²。（参考文献 1, 2）

- ・ 浜岡 4 号炉の第 7 段翼（主蒸気密度が最も高く主蒸気中の中性子源 ^{17}N の放射能濃度が最も高い主蒸気入口付近にあり、主蒸気に直接曝される第 7 段翼の二次的な汚染を除去したもの）を代表サンプルとして、 ^{60}Co の放射能濃度を測定した結果、「(本文) 表-1」に示すとおり、汚染は検出されず検出限界値（ $1.4 \times 10^{-4} \text{ Bq/g}$ ）未満（令和 2 年 4 月 1 日時点）であり、検出限界値でも基準値（規則別表 2 欄の放射能濃度、この場合 ^{60}Co として 0.1 Bq/g ）の 1% 未満であることから、放射化汚染は無視できる程度である。
- ・ これは先行事例である浜岡 5 号炉低圧タービンロータでも同様であり、低圧タービンロータの主蒸気入口付近（第 8 段翼）から試料を採取して、二次的な汚染を除去して ^{60}Co の放射能濃度を測定した結果、「(添付 2) 表-1」に示すとおり、汚染は検出されず検出限界値（ $5.4 \times 10^{-4} \text{ Bq/g}$ ）未満（平成 25 年 4 月 1 日時点）であり、検出限界値でも基準値の 1% 未満である。（参考文献 3）

3. 2 二次的な汚染

- ・ 主蒸気に含まれる放射性物質が対象物に付着することによる二次的な汚染は、「(添付 2) 図-1」に示すとおり、「一次冷却設備から溶出した腐食生成物が炉心中性子で放射化されて生成した放射性腐食生成物」及び「一次冷却水が炉心中性子で放射化されて生成する放射性物質」（CP 核種）と「燃料集合体及び炉内の構造材の微量元素として存在するウランが炉心中性子で照射されて生成した核分裂生成物及び中性子捕獲生成物で系統水中に放出されたもの」（FP 核種）が、原子炉内で浄化されながら主蒸気に移行して低圧車軸に付着及び減衰することによって生ずる。
- ・ 二次的な汚染は、浜岡 5 号炉低圧タービンロータ車軸においても同様であるように、主蒸気が低圧車軸の中心部から入り下流側に向かって膨張しながら流れることから、主蒸気入口付近（車軸の中央部：第 7-8 段間）が高く、下流側である主蒸気出口付近（第 14 段方向）に向けて低くなる傾向を示す。また対象物は回転体であることから、周方向では基準値を下回るレベルで均一な汚染の傾向を示す。

² 主蒸気中の ^{17}N 線（ ^{17}N から放出される中性子線は、 $0.38 \text{ MeV} \sim 1.7 \text{ MeV}$ にわたり 4 本のモノピークの高速中性子）以外に「主蒸気中の高エネルギー γ 線放出核種（ ^{16}N , ^{19}O 等）による（ γ , n）反応による中性子」及び「主蒸気中に移行した遅発中性子先行核（ ^{139}I , ^{90}Br 等）の崩壊により放出される中性子」があるが、これらは僅かであり、また上記（ ^{17}N ）の測定値に含まれるため、「主蒸気中の ^{17}N 線」のみを想定することは妥当と判断した。

- ・対象物の表面汚染密度の調査結果を「(本文) 図-4」及び「(添付 2) 図-2」に示す。具体的には以下のとおりである。
- ・二次的な汚染が最も高い箇所は主蒸気入口付近(第 7-8 段間)となることから、除染前における低圧車軸(A)～(C)の主蒸気入口付近(第 7-8 段間の代表点)の表面汚染密度(^{60}Co 相当, 以下「 ^{60}Co 相当」の記載を省略する。)を測定した結果, 低圧車軸(A)は 1.2 Bq/cm^2 , 低圧車軸(B)は 1.5 Bq/cm^2 , 低圧車軸(C)は 1.0 Bq/cm^2 であった。
- ・表面汚染密度は 3 軸とも同程度であるが, 最も高い値を示した低圧車軸(B)を代表車軸として除染前における軸方向の表面汚染密度を測定した結果, 主蒸気入口付近(第 7-8 段間)が最も高い値を示し, 主蒸気の下流側に向けて低くなり, また低圧車軸の構造上, 主蒸気が触れない箇所では汚染は殆ど検出されなかった。
- ・除染後の汚染状態を確認するため, 除染前に汚染が顕著に確認された主蒸気入口付近(第 7-8 段間)における周方向の表面汚染密度を測定した結果, いずれの車軸も一定レベル以下で周方向には均一な汚染傾向を示し, 3 軸全体の平均値は $1.7 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^2$, 最大値は $4.4 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^2$ である(令和 2 年 4 月 1 日時点)。
- ・二次的な汚染は, 除染前に汚染が顕著に確認された箇所(第 7-8 段間)では, 表面汚染密度(当該部分の平均値で $1.7 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^2$)に「(添付 2) 表-2」に示す「評価単位」No. 12, 14 の比表面積(当該部分の平均値で $1.6 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$)を乗じることにより求めた結果, $2.7 \times 10^{-3} \text{ Bq/g}$ と評価した。
- ・対象物を使用していた期間, 放射性物質による汚染に影響を及ぼすような事故, トラブル及び燃料破損がなかったことから, FP 核種の影響は僅かであり, CP 核種が主である。CP 核種の中では, 材料の組成から ^{60}Co が主要な核種となる。これは, 以下の事例から明らかである。
- ・浜岡 4 号炉の運転中に原子炉水中で顕著に検出される核種は, 「(添付 2) 表-3」に示すとおり, ^{60}Co である。
- ・対象物の二次的な汚染の核種を確認するため, 低圧車軸と同じ使用環境で暴露している翼のうち, 主蒸気入口付近の翼(除染前の第 7 段翼(A)～(C))から代表試料を採取し, 二次的な汚染部分を用いて放射化学分析を行った。その結果, 「(添付 2) 表-4」に示すとおり, ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{90}Sr 及び ^{137}Cs を検出し, このうち ^{60}Co が最も高い値を示した。
- ・先行事例では, 浜岡 5 号炉低圧タービンロータの主蒸気入口付近にある低圧車軸の第 8 段及び第 8 段翼(いずれも除染前)から代表試料を採取し, 二次的な汚染部分を用いて放射化学分析を行った。その結果, 「(添付 2) 表-5」

に示すとおり、低圧車軸から ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs を検出し、翼から ^{60}Co 、 ^{90}Sr 及び ^{137}Cs を検出し、いずれも ^{60}Co が最も高い値を示した。

- ・先行事例である浜岡 5 号炉低圧タービンロータにおいて、規則 33 核種から ^3H を除いた規則 32 核種の核種組成比（基準核種を ^{60}Co とし、基準核種 (^{60}Co) の放射能濃度を 1 (Bq/g) として算出した規則 32 核種の放射能濃度) を評価した結果、「(添付 2) 表-6」に示すとおり、規則 32 核種の放射能濃度 (D) を規則別表 2 欄の放射能濃度 (C) (基準値) で除した比率 (D/C) の合計 (Σ D/C (規則 32 核種)) に対する D/C (^{60}Co) の割合は 94%であった。浜岡 5 号炉の代表サンプル (第 8 段翼) を用いて二次的な汚染部分の ^3H を分析した結果、検出限界値未満であったことから、規則 33 核種に対する ^3H の寄与割合は無視できると判断した結果、 Σ D/C (規則 33 核種) に対する D/C (^{60}Co) の割合は 90%以上と評価でき、従って、二次的な汚染の主要な核種は ^{60}Co である。

3. 3 フォールアウト

- ・福島第一原子力発電所事故に伴うフォールアウトは、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係るフォールアウトによる原子力施設における資材等の安全規制上の取扱いについて (内規)」(経済産業省原子力安全・保安院、平成 24・03・26 原院第 10 号) に基づき、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs を調査対象核種とする。(参考文献 4)
- ・フォールアウトの調査方法及び評価結果は、「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書」(平成 31 年 3 月 19 日付け原規規発第 1903191 号をもって認可) (浜岡 1, 2 号炉解体撤去物)³に示すとおり、対象物の発生場所 (浜岡 4 号炉) 及び現在の保管場所 (浜岡 5 号炉) において、全て理論検出限界計数率未満であった。(参考文献 5)
- ・以上より、フォールアウトの影響はみられないと評価した。

³ 調査は JNES-RE-2012-0014 「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴うフォールアウトの影響の有無を判断する測定方法の検討」に準拠し、61 箇所実施した (平成 29 年 5 月 26 日～平成 29 年 8 月 24 日)。本申請に関係する「浜岡 4 号炉タービン建屋給気フィルタ室」、「浜岡 5 号炉タービン建屋給気フィルタ室」及び「浜岡 5 号炉タービン建屋 3 階面 (対象物の保管場所、並びに測定エリア及び確認待ちエリアの候補地)」の全てにおいて理論検出限界計数率未満 (検出限界値： 3.6×10^{-2} Bq/cm² 以下、 ^{137}Cs 相当) であった。フォールアウトの調査対象核種は、上記 3.3 項に記載のとおり ^{134}Cs 及び ^{137}Cs であるが、 ^{134}Cs は核分裂収率が ^{137}Cs と同程度であることに加え半減期が ^{137}Cs より短いことから、 ^{137}Cs の影響が認められないことをもって、 ^{134}Cs の影響は無いと判断した。

4. 対象物の推定される総重量

4. 1 推定総重量の求め方

- ・対象物を軸方向に同一構造となる箇所を選定し、26 分割して体積及び比表面積を求める。
- ・対象物から代表試料を採取して密度を測定し、これに上記の体積を乗じることにより推定総重量とする。

4. 2 推定総重量

- ・対象物の密度は測定の結果 7.85 g/cm^3 である。
- ・「(添付 2) 表-2」に示すとおり、低圧車軸 (A) は 109 トン、低圧車軸 (B) は 111 トン、低圧車軸 (C) は 114 トンであり、本申請における対象物の推定総重量は合計 334 トン⁴である。
- ・比表面積は、「(添付 2) 表-2」に示すとおり、除染前に汚染が顕著に確認された第 7-8 段間 (「評価単位」No. 12, 14) で $1.6 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ 、最大 (「評価単位」No. 4, 5, 21, 22) で $2.0 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ 、3 軸全体の平均で $1.5 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ である。

参考文献

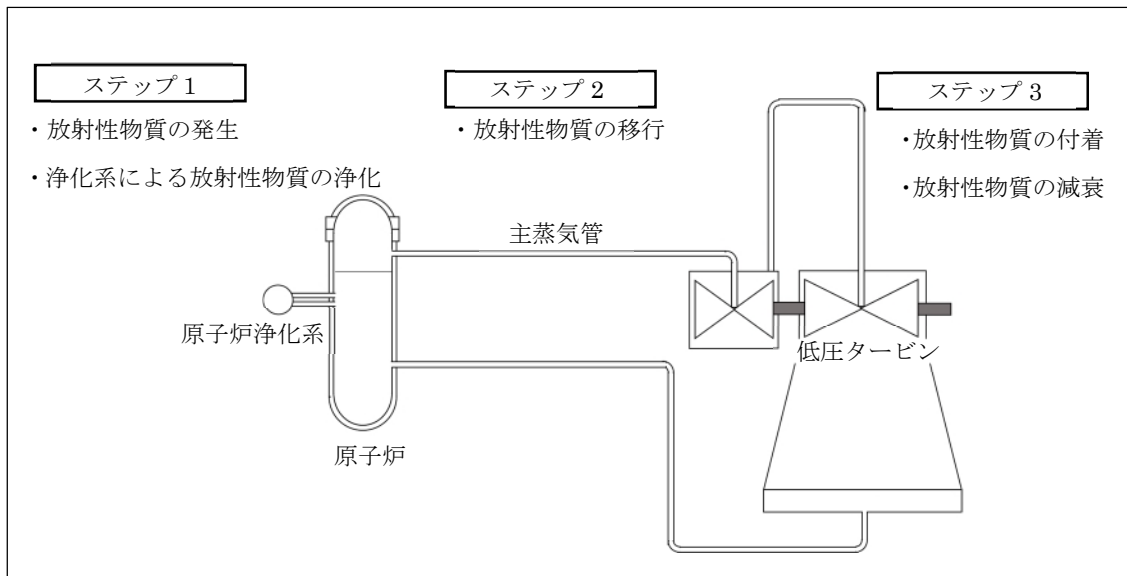
1. Richard B. Firestone, S. Y. Frank Chu, Coral M. Baglin et al., "Table of Isotopes EIGHTH EDITION", (1999)
2. K. Wakasugi, R. Tayama, K. Ikedo, T. Iimoto, "Measurement and Calculations of ^{17}N Concentration in the Main Steam System of the BWR Plant", Progress in NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 1, p.432-435 (2011)
3. 「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価方法の認可申請書」(平成 26 年 5 月 1 日付け原規規発 1404309 号をもって認可) (浜岡 5 号炉低圧タービンロータ)
4. 「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係るフォールアウトによる原子力施設における資材等の安全規制上の取扱いについて (内規)」(経済産業省原子力安全・保安院, 平成 24・03・26 原院第 10 号)
5. 「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書」(平成 31 年 3 月 19 日付け原規規発 第 1903191 号をもって認可) (浜岡 1, 2 号炉解体撤去物)

添付書類 二 図表リスト

- | | |
|------------|-----------------------------|
| (添付 2) 図-1 | 二次的な汚染の生成メカニズム |
| (添付 2) 図-2 | 対象物の表面汚染密度の調査結果 |
| (添付 2) 図-3 | 対象物の形状のモデル化 |
| (添付 2) 表-1 | 放射化汚染の放射能濃度の測定結果 (浜岡 5 号炉) |
| (添付 2) 表-2 | 対象物の推定総重量 |
| (添付 2) 表-3 | 原子炉水の放射化学分析結果 (浜岡 4 号炉) |
| (添付 2) 表-4 | 対象物表面の放射化学分析結果 (浜岡 4 号炉) |
| (添付 2) 表-5 | 対象物表面の放射化学分析結果 (浜岡 5 号炉) |
| (添付 2) 表-6 | 二次的な汚染の核種組成比の評価結果 (浜岡 5 号炉) |

(添付 2) 図-1 二次的な汚染の生成メカニズム

二次的な汚染は、一次冷却設備から溶出した腐食生成物、構造材に微量元素として存在するウラン等が炉心中性子により放射化されることによって放射性物質が生成され、下図のステップ 1, 2, 3 の順に、原子炉内で浄化されながら主蒸気に移行して低圧車軸に付着及び減衰することによって生ずる。



(添付 2) 図-2 対象物の表面汚染密度の調査結果(1/4)

1. 低圧車軸の汚染状況の確認 (除染前)

- ・二次的な汚染が最も高い箇所は、浜岡5号炉低圧タービンロータ車軸の測定実績より、主蒸気入口付近 (第7-8段間) である。除染前における低圧車軸 (A) ~ (C) の主蒸気入口付近 (第7-8段間の代表点) の表面汚染密度をプラスチックシンチレーション式サーベイメータを用いて測定した。
- ・各車軸の中で低圧車軸 (B) が最も高い値を示した。
- ・低圧車軸 (B) を代表車軸として軸方向の表面汚染密度を測定した結果、主蒸気入口付近が最も高く、下流に向けて低くなり、主蒸気が触れない箇所では汚染は殆ど検出されなかった。周方向には一定レベル以下で均一な汚染傾向を示した。
- ・測定結果を設定基準日 (令和2年4月1日) に補正した値を以下に示す。

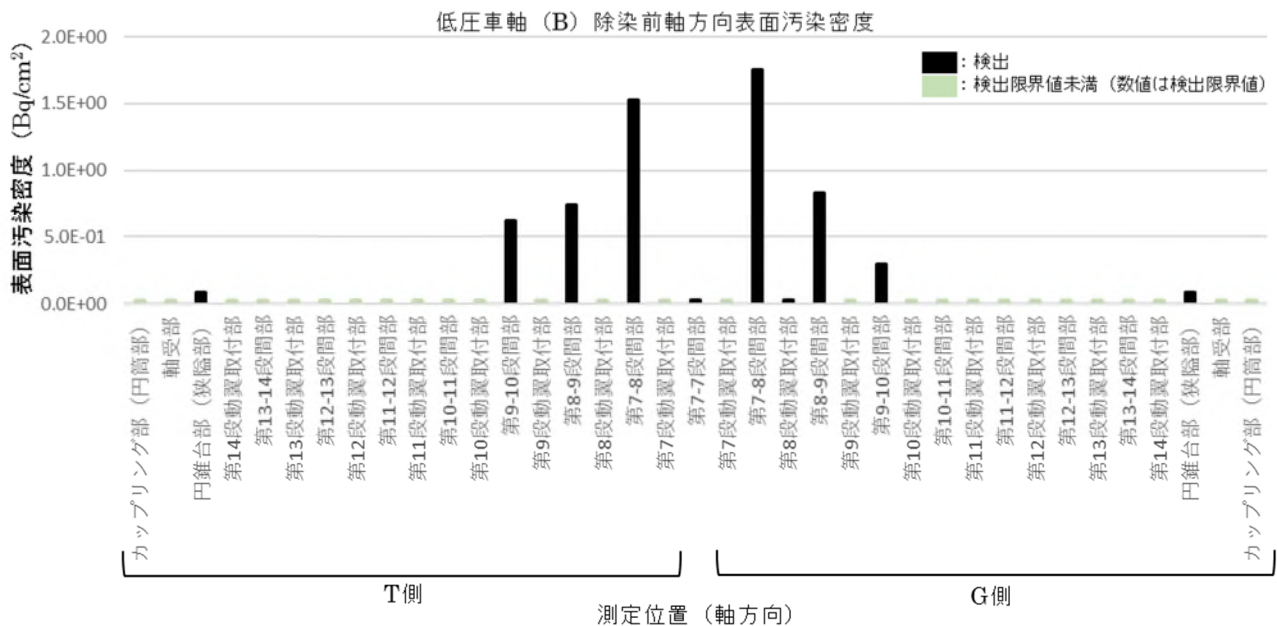
(1) 低圧車軸間の確認 (除染前)

- ・測定対象：低圧車軸 (A) ~ (C)
- ・測定箇所：第7-8段間の0° 位置
- ・測定結果は右表のとおりである。

対象物	表面汚染密度 (Bq/cm ²)
低圧車軸 (A)	1.2
低圧車軸 (B)	1.5
低圧車軸 (C)	1.0

(2) 低圧車軸 (B) 軸方向の確認 (除染前)

- ・測定対象：低圧車軸間の確認で表面汚染密度が最大であった低圧車軸 (B)
- ・測定箇所：軸方向の各部位の代表点 (0° 位置)
- ・測定結果は以下のとおりである。



添付図表 2-2

(添付 2) 図-2 対象物の表面汚染密度の調査結果(2/4)

低圧車軸 (B) 測定位置		表面汚染密度 (Bq/cm ²)
T側	カップリング部 (円筒部)	< 2.6×10 ⁻²
	軸受部	< 2.6×10 ⁻²
	円錐台部 (狹隘部)	8.3×10 ⁻²
	第14段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	第13-14段間部	< 2.6×10 ⁻²
	第13段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	第12-13段間部	< 2.6×10 ⁻²
	第12段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	第11-12段間部	< 2.6×10 ⁻²
	第11段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	第10-11段間部	< 2.6×10 ⁻²
	第10段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	第9-10段間部	6.2×10 ⁻¹
	第9段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	第8-9段間部	7.4×10 ⁻¹
	第8段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	第7-8段間部	1.5
	第7段翼取付部	< 2.6×10 ⁻²
	G側	第7-7段間部
第7段翼取付部		< 2.6×10 ⁻²
第7-8段間部		1.8
第8段翼取付部		2.7×10 ⁻²
第8-9段間部		8.3×10 ⁻¹
第9段翼取付部		< 2.6×10 ⁻²
第9-10段間部		2.9×10 ⁻¹
第10段翼取付部		< 2.6×10 ⁻²
第10-11段間部		< 2.6×10 ⁻²
第11段翼取付部		< 2.6×10 ⁻²
第11-12段間部		< 2.6×10 ⁻²
第12段翼取付部		< 2.6×10 ⁻²
第12-13段間部		< 2.6×10 ⁻²
第13段翼取付部		< 2.6×10 ⁻²
第13-14段間部		< 2.6×10 ⁻²
第14段翼取付部		< 2.6×10 ⁻²
円錐台部 (狹隘部)		8.2×10 ⁻²
軸受部		< 2.6×10 ⁻²
カップリング部 (円筒部)		< 2.6×10 ⁻²

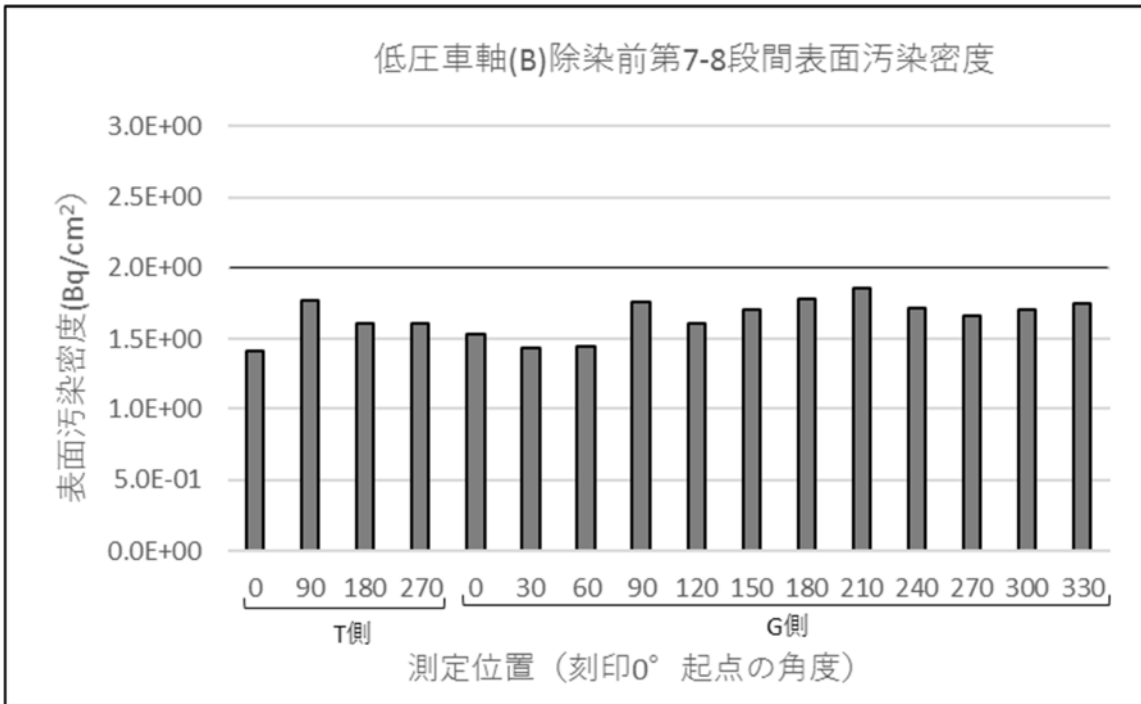
<補足>

・「<」は検出限界値未満を示す。

(添付 2) 図-2 対象物の表面汚染密度の調査結果(3/4)

(3) 低圧車軸 (B) 第7-8段間の周方向の確認 (除染前)

- ・測定対象：低圧車軸 (B) 軸方向の確認で表面汚染密度が最大であった第7-8段間。
- ・測定箇所：周方向の代表点。
- ・測定結果は以下のとおりである。



低圧車軸 (B) 第7-8段間	測定位置 (°)	表面汚染密度 (Bq/cm ²)
T側	0	1.4
	90	1.8
	180	1.6
	270	1.6
G側	0	1.5
	30	1.4
	60	1.4
	90	1.8
	120	1.6
	150	1.7
	180	1.8
	210	1.9
	240	1.7
	270	1.7
	300	1.7
	330	1.7

<補足>

- ・上記 (3) は (1) 及び (2) とは別の測定であるので同一箇所でも値は異なる。

(添付 2) 図-2 対象物の表面汚染密度の調査結果(4/4)

2. 低圧車軸の汚染状況の確認 (除染後)

- ・測定対象：低圧車軸 (A) ～ (C) の第7-8段間。
- ・測定箇所：周方向の代表点。
- ・測定結果は以下のとおりである。除染前に表面密度汚染が最も高い値を示した低圧車軸 (B) では $1.1 \times 10^{-1} \sim 4.4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ の範囲で分布し平均 $2.4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ である。各低圧車軸とも一定レベル以下で周方向には均一な汚染傾向を示し、3軸の平均は $1.7 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ である。

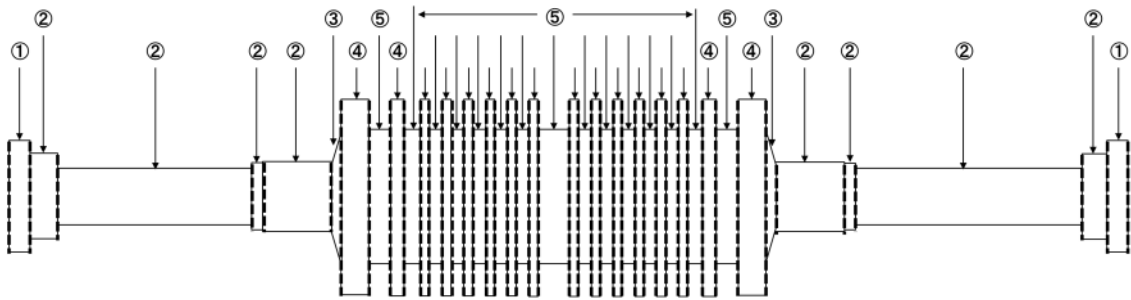
(令和2年4月1日時点)

測定位置 (°)		表面汚染密度 (Bq/cm ²)		
		低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
T側	0	1.8×10^{-1}	1.7×10^{-1}	5.6×10^{-2}
	30	1.0×10^{-1}	1.1×10^{-1}	6.2×10^{-2}
	60	2.1×10^{-1}	2.0×10^{-1}	4.2×10^{-2}
	90	2.8×10^{-1}	2.5×10^{-1}	3.5×10^{-2}
	120	3.6×10^{-2}	1.8×10^{-1}	7.0×10^{-2}
	150	1.7×10^{-1}	2.3×10^{-1}	7.9×10^{-2}
	180	2.3×10^{-1}	1.9×10^{-1}	6.7×10^{-2}
	210	1.1×10^{-1}	1.7×10^{-1}	1.1×10^{-1}
	240	2.3×10^{-1}	1.6×10^{-1}	5.2×10^{-2}
	270	1.6×10^{-1}	2.4×10^{-1}	1.1×10^{-1}
	300	2.2×10^{-1}	2.8×10^{-1}	1.8×10^{-1}
330	3.3×10^{-1}	2.8×10^{-1}	2.0×10^{-1}	
G側	0	2.1×10^{-1}	1.4×10^{-1}	6.4×10^{-2}
	30	6.5×10^{-2}	1.3×10^{-1}	1.1×10^{-1}
	60	2.0×10^{-1}	3.5×10^{-1}	1.2×10^{-1}
	90	2.4×10^{-1}	2.6×10^{-1}	6.0×10^{-2}
	120	8.3×10^{-2}	3.0×10^{-1}	1.8×10^{-1}
	150	2.0×10^{-1}	4.4×10^{-1}	1.7×10^{-1}
	180	2.0×10^{-1}	3.3×10^{-1}	1.5×10^{-1}
	210	8.4×10^{-2}	3.5×10^{-1}	1.2×10^{-1}
	240	1.7×10^{-1}	3.9×10^{-1}	7.6×10^{-2}
	270	7.9×10^{-2}	1.2×10^{-1}	1.6×10^{-1}
	300	2.1×10^{-1}	1.8×10^{-1}	1.2×10^{-1}
330	1.5×10^{-1}	2.2×10^{-1}	1.6×10^{-1}	
最大		3.3×10^{-1}	4.4×10^{-1}	2.0×10^{-1}
最小		3.6×10^{-2}	1.1×10^{-1}	3.5×10^{-2}
算術平均値		1.7×10^{-1}	2.4×10^{-1}	1.1×10^{-1}
標準偏差		1.7×10^{-1}		
		8.9×10^{-2}		

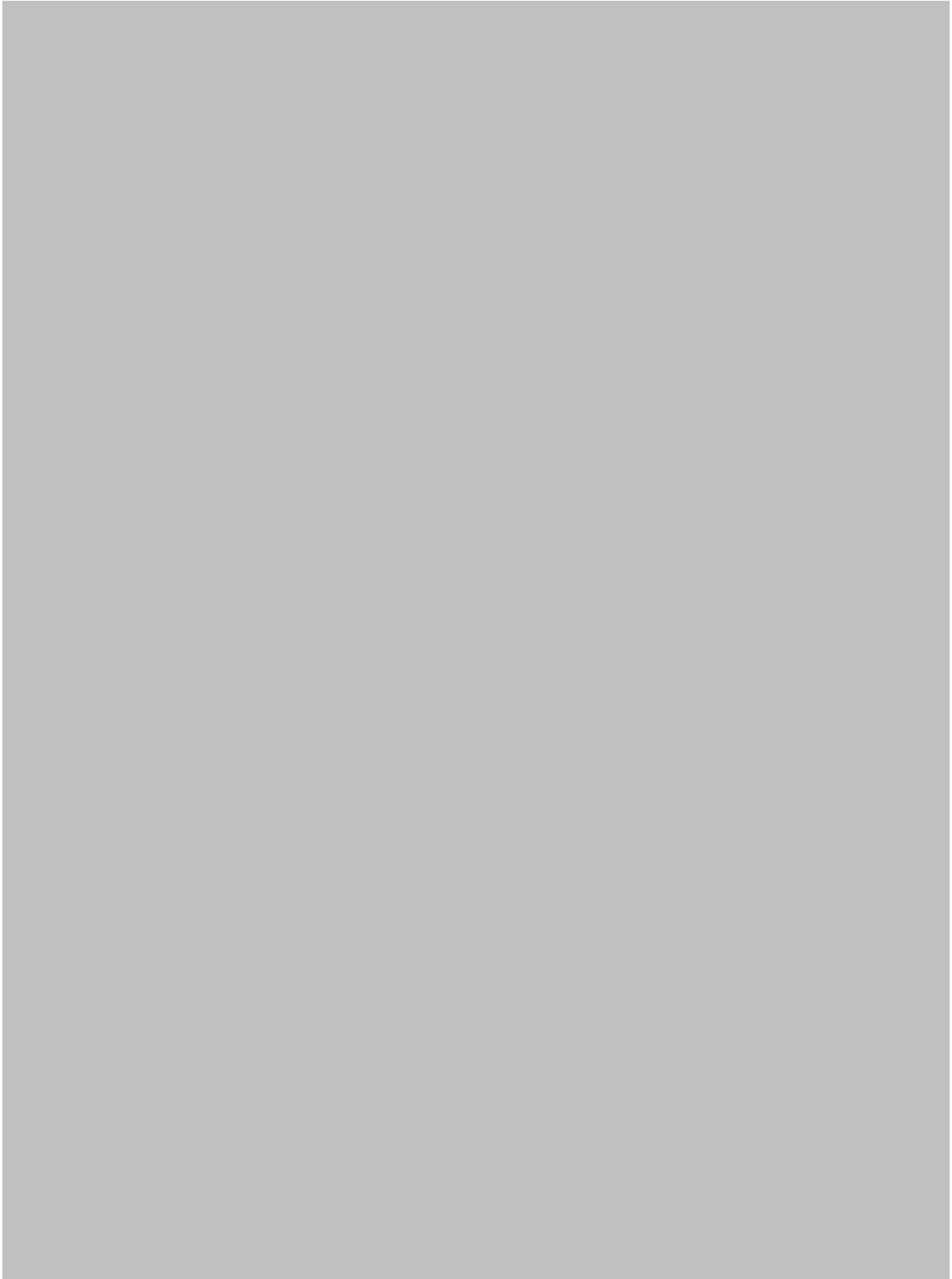
(添付 2) 図-3 対象物の形状のモデル化(1/3)

- ・対象物の推定総重量を算出するための形状のモデル化の手法を以下に示す。

【モデル図】



(添付 2) 図-3 対象物の形状のモデル化(2/3)



(添付 2) 図-3 対象物の形状のモデル化(3/3)



(添付 2) 表-1 放射化汚染の放射能濃度の測定結果 (浜岡 5 号炉)

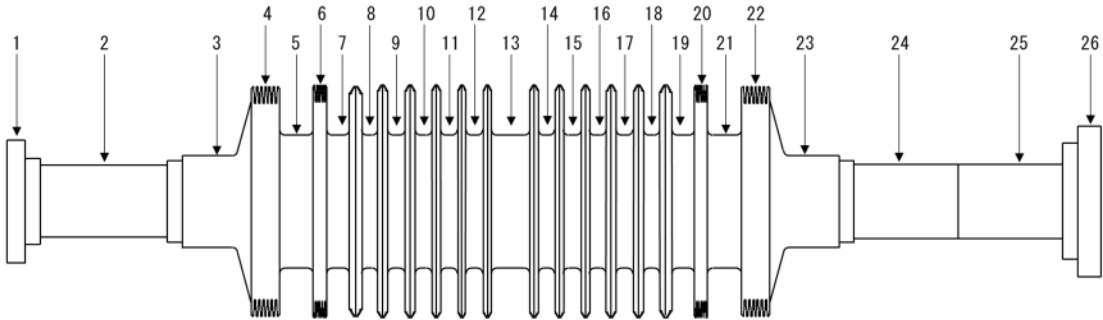
- ・ 浜岡 5 号炉低圧タービンロータにおいて、第 8 段翼 (主蒸気密度が最も高く主蒸気中の中性子源 ^{17}N の放射能濃度が最も高い主蒸気入口付近にあり、主蒸気に直接曝される第 8 段翼の二次的な汚染を除去したもの) を代表サンプルとして、放射化汚染による ^{60}Co の放射能濃度の測定結果を以下に示す。測定の結果、汚染は検出されず、検出限界値でも基準値の 1%未満であることから、放射化汚染は無視できる程度である。

(平成 25 年 4 月 1 日時点)

試料採取箇所	放射能濃度 (Bq/g)	①検出限界値(D) (Bq/g)	②基準値(C) (Bq/g)	①/② (D/C) (-)
第 8 段翼	検出限界値 未満	5.4×10^{-4}	0.1	5.4×10^{-3}

(添付 2) 表-2 対象物の推定総重量(1/2)

低圧車軸 (A) ~ (C) の部位毎の体積及び重量を以下に示す。対象物の推定総重量は 334 トンである。



「評価単位」 No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9									
体積 (m ³)	(A)																		
	(B)																		
	(C)																		
重量 (t)	(A)																		
	(B)																		
	(C)																		

「評価単位」 No.		10	11	12	13	14	15	16	17	18									
体積 (m ³)	(A)																		
	(B)																		
	(C)																		
重量 (t)	(A)																		
	(B)																		
	(C)																		

「評価単位」 No.		19	20	21	22	23	24	25	26	合計								
体積 (m ³)	(A)									13.89								
	(B)									14.14								
	(C)									14.48								
重量 (t)	(A)																	109.1
	(B)																	111.0
	(C)																	113.7

(添付 2) 表-2 対象物の推定総重量(2/2)

低圧車軸 (A) ~ (C) の部位毎の表面積及び比表面積を以下に示す。3 軸全体の比表面積の平均は $1.5 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{g}$ (算術平均), 部位毎にみると最大は $2.0 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{g}$ である。

「評価単位」 No.		1	2	3	4	5	6	7
表面積 (m^2)	(A)							
	(B)							
	(C)							
比表面積 (cm^2/g)	(A)							
	(B)							
	(C)							

「評価単位」 No.		8	9	10	11	12	13	14
表面積 (m^2)	(A)							
	(B)							
	(C)							
比表面積 (cm^2/g)	(A)							
	(B)							
	(C)							

「評価単位」 No.		15	16	17	18	19	20	21
表面積 (m^2)	(A)							
	(B)							
	(C)							
比表面積 (cm^2/g)	(A)							
	(B)							
	(C)							

「評価単位」 No.		22	23	24	25	26	全体
表面積 (m^2)	(A)						165.6
	(B)						168.1
	(C)						169.9
比表面積 (cm^2/g)	(A)						1.5 \times 10 ⁻²
	(B)						1.5 \times 10 ⁻²
	(C)						1.5 \times 10 ⁻²

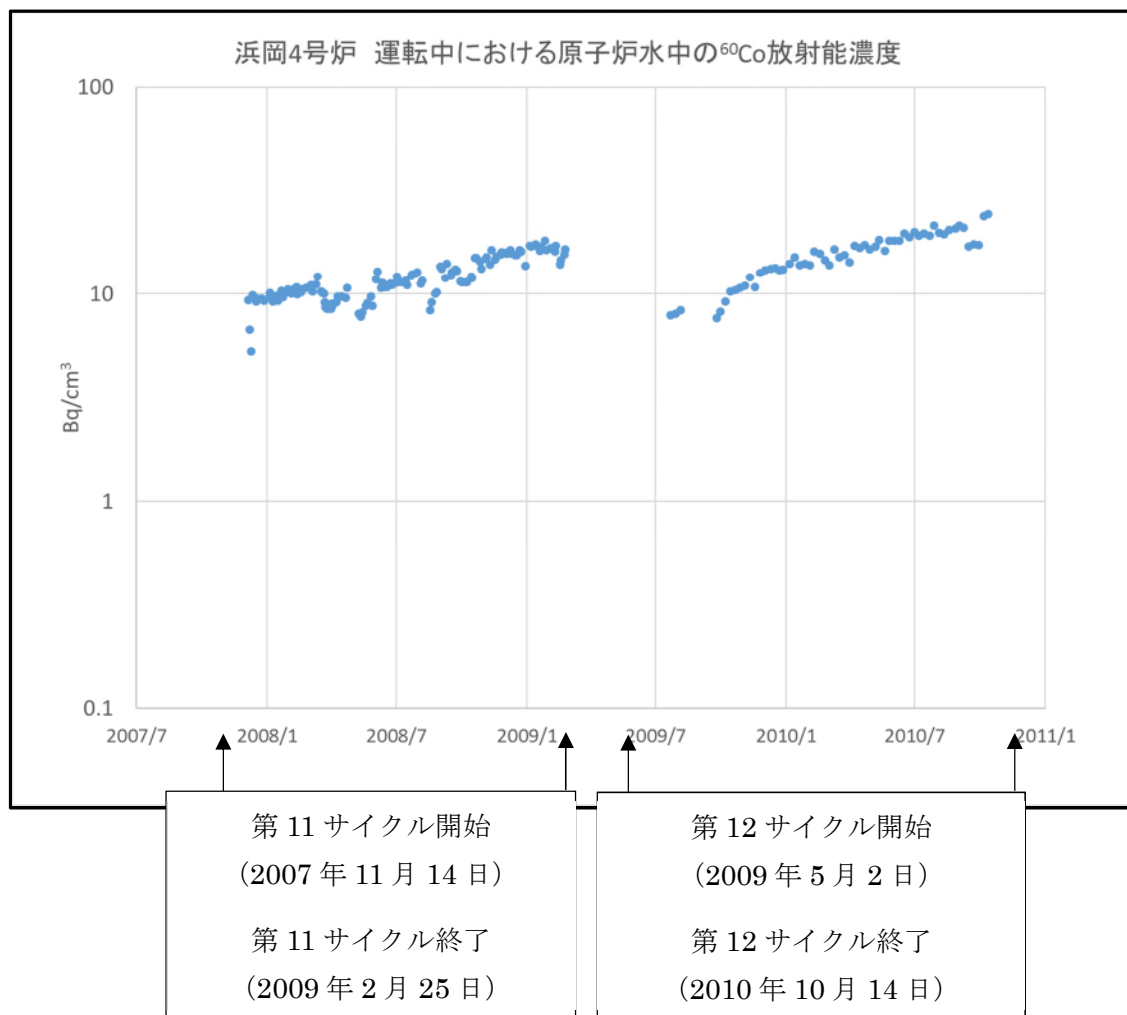
<補足>

- ・ 図中の番号は「評価単位」 No. を示す。
- ・ 「評価単位」の詳細は「添付書類四」に示すとおりである。
- ・ 表面積は狭隘部を除く値である。狭隘部の詳細は「(添付 4) 表-1」に示すとおりである。

(添付 2) 表-3 原子炉水の放射化学分析結果 (浜岡 4 号炉) (1/3)

(1) 原子炉運転中における原子炉水中の ^{60}Co 放射能濃度の測定結果

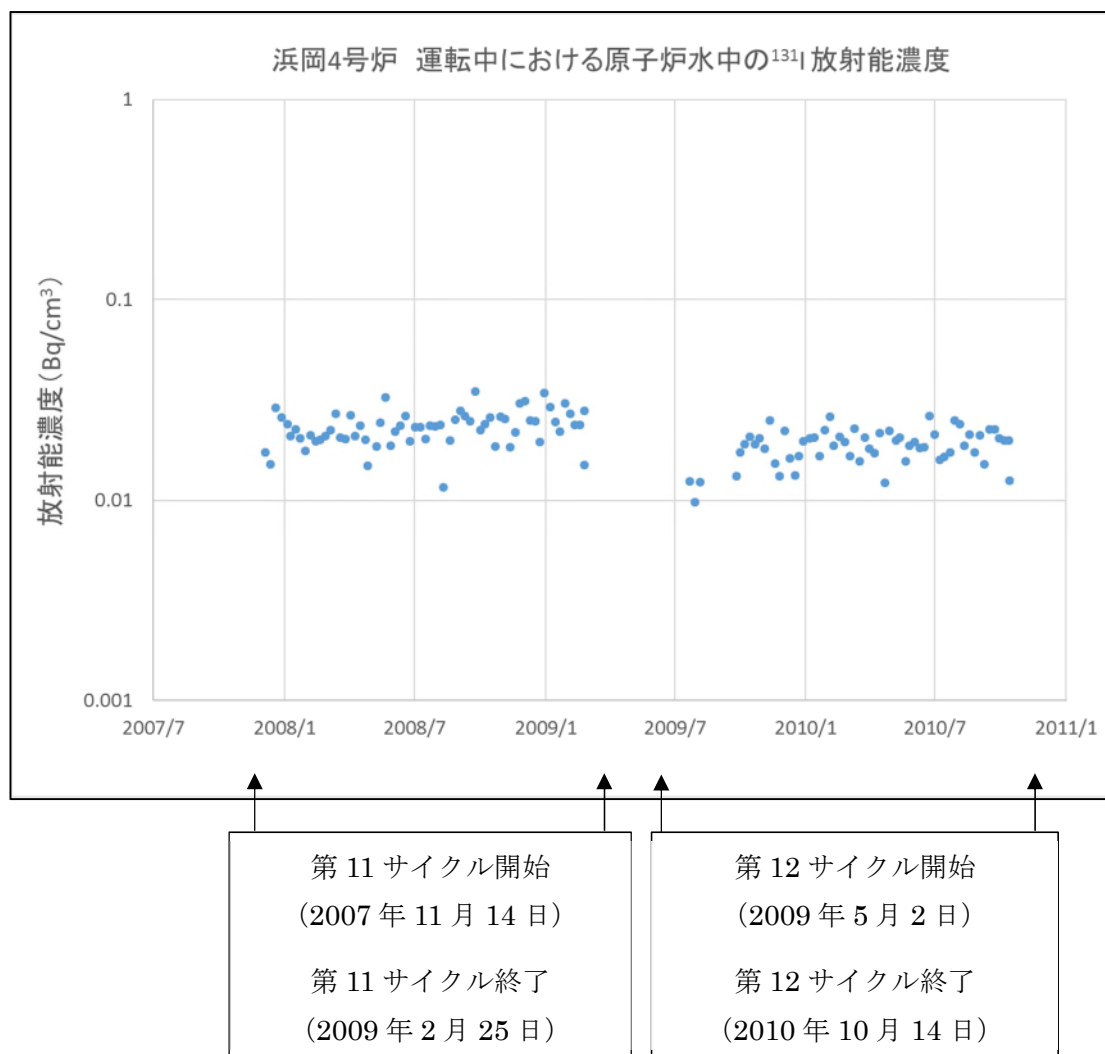
- 対象物を使用していた原子炉運転中の最後の 2 サイクル (第 11 サイクル及び第 12 サイクル。第 13 サイクルは運転期間が短いため除外した。) における, 原子炉水中の ^{60}Co 放射能濃度の推移を以下に示す。



(添付 2) 表-3 原子炉水の放射化学分析結果 (浜岡 4 号炉) (2/3)

(2) 原子炉運転中における原子炉水中の ^{131}I 放射能濃度の測定結果

- 対象物を使用していた原子炉運転中の最後の 2 サイクル (第 11 サイクル及び第 12 サイクル。第 13 サイクルは運転期間が短いため除外した。) における, 原子炉水中の ^{131}I 放射能濃度の推移を以下に示す (測定結果は原子炉水 1g あたりの放射エネルギーであるが, 原子炉水の比重を $1\text{g}/\text{cm}^3$ とし, 原子炉水 1cm^3 あたりの放射エネルギーで整理した。)
- 原子炉水中の ^{60}Co (CP 核種) に対する ^{131}I (FP 核種) の比は 1/100 程度である。



(添付 2) 表-3 原子炉水の放射化学分析結果 (浜岡 4 号炉) (3/3)

(3) 原子炉水の核種分析結果

- 分析値①を基準値②で除した値に整理すると、浜岡 4 号炉の運転中に原子炉水中で顕著に検出される核種は ^{60}Co である。

(第 12 サイクル原子炉運転時：平成 22 年 9 月 21 日時点)

核種	分析値① (Bq/g)	基準値② (Bq/g)	①/② (-)	①/②の ^{60}Co に対する比
^3H	2.3×10^2	100	2.3	1.1×10^{-2}
^{14}C	9.4×10^{-5}	1	9.4×10^{-5}	4.5×10^{-7}
^{60}Co	2.1×10^1	0.1	2.1×10^2	1
^{63}Ni	2.7	100	2.7×10^{-2}	1.3×10^{-4}
^{90}Sr	1.4×10^{-5}	1	1.4×10^{-5}	6.7×10^{-8}
^{94}Nb	$<1.7 \times 10^{-5}$	0.1	$<1.7 \times 10^{-4}$	8.1×10^{-7}
^{99}Tc	$<1.8 \times 10^{-5}$	1	$<1.8 \times 10^{-5}$	8.6×10^{-8}
^{129}I	$<1.5 \times 10^{-5}$	0.01	$<1.5 \times 10^{-3}$	7.1×10^{-6}
^{131}I	2.3×10^{-2}	—	—	—
^{137}Cs	7.7×10^{-5}	0.1	7.7×10^{-4}	3.7×10^{-6}
全 α	$<1.2 \times 10^{-6}$	0.1	$<1.2 \times 10^{-5}$	5.7×10^{-8}

<補足>

- 全 α は ^{239}Pu として ^{60}Co に対する比を計算した。
- ^{131}I は平成 22 年 9 月 22 日時点の値である。
- ^{131}I は規則 33 核種でないため、「—」とした。

(添付 2) 表-4 対象物表面の放射化学分析結果 (浜岡 4 号炉) (1/2)

(1) 放射化汚染

- 放射化汚染の調査結果は、「(本文) 表-1」に記載のとおり、汚染は検出されず、検出限界値でも基準値の 1%未満であることから、放射化汚染は無視できる程度である。

(令和 2 年 4 月 1 日時点)

試料採取箇所	放射能濃度 (Bq/g)	①検出限界値(D) (Bq/g)	②基準値(C) (Bq/g)	①/② (D/C) (-)
第 7 段翼(A)	検出限界値 未満	1.4×10^{-4}	0.1	1.4×10^{-3}

(添付 2) 表-4 対象物表面の放射化学分析結果 (浜岡 4 号炉) (2/2)

(2) 二次的な汚染

- 対象物の二次的な汚染の核種を確認するため、低圧車軸と同じ使用環境で暴露している翼のうち、主蒸気入口付近の翼 (除染前の第 7 段翼 (A) ~ (C)) から代表試料を採取し、二次的な汚染部分を用いて放射化学分析を行った。その結果、 ^{60}Co が最も高い値を示した。

(令和 2 年 4 月 1 日時点)

試料採取 箇所	分析値① (Bq/cm ²)					
	³ H	¹⁴ C	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
第 7 段翼(A)	$<4.0 \times 10^{-2}$	$<2.1 \times 10^{-3}$	4.8×10^{-1}	2.6×10^{-1}	3.2×10^{-2}	7.4×10^{-3}
第 7 段翼(B)	$<4.0 \times 10^{-2}$	$<2.1 \times 10^{-3}$	5.7×10^{-1}	3.6×10^{-1}	3.0×10^{-2}	7.3×10^{-3}
第 7 段翼(C)	$<6.0 \times 10^{-2}$	$<3.6 \times 10^{-3}$	4.2×10^{-1}	2.3×10^{-1}	3.9×10^{-2}	7.2×10^{-3}
算術平均値	—	—	4.9×10^{-1}	2.8×10^{-1}	3.4×10^{-2}	7.3×10^{-3}



試料採取 箇所	分析値/基準値 (①/②)					
	³ H	¹⁴ C	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
基準値② (Bq/g)	100	1	0.1	100	1	0.1
第 7 段翼(A)	$<4.0 \times 10^{-4}$	$<2.1 \times 10^{-3}$	4.8	2.6×10^{-3}	3.2×10^{-2}	7.4×10^{-2}
第 7 段翼(B)	$<4.0 \times 10^{-4}$	$<2.1 \times 10^{-3}$	5.7	3.6×10^{-3}	3.0×10^{-2}	7.3×10^{-2}
第 7 段翼(C)	$<6.0 \times 10^{-4}$	$<3.6 \times 10^{-3}$	4.2	2.3×10^{-3}	3.9×10^{-2}	7.2×10^{-2}
算術平均値	—	—	4.9	2.8×10^{-3}	3.4×10^{-2}	7.3×10^{-2}

< 捕足 >

- ・「<」は検出限界値未満を示す。



試料採取箇所	①/②の ⁶⁰ Coに対する比					
	³ H/ ⁶⁰ Co	¹⁴ C/ ⁶⁰ Co	⁶⁰ Co	⁶³ Ni/ ⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr/ ⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs/ ⁶⁰ Co
第 7 段翼(A)	$<8.3 \times 10^{-5}$	$<4.4 \times 10^{-4}$	1	5.4×10^{-4}	6.7×10^{-3}	1.5×10^{-2}
第 7 段翼(B)	$<7.0 \times 10^{-5}$	$<3.7 \times 10^{-4}$	1	6.3×10^{-4}	5.3×10^{-3}	1.3×10^{-2}
第 7 段翼(C)	$<1.4 \times 10^{-4}$	$<8.6 \times 10^{-4}$	1	5.5×10^{-4}	9.3×10^{-3}	1.7×10^{-2}
算術平均値	—	—	1	5.7×10^{-4}	6.9×10^{-3}	1.5×10^{-2}

(添付 2) 表-5 対象物表面の放射化学分析結果 (浜岡 5 号炉)

- ・浜岡 5 号炉低圧タービンロータの主蒸気入口付近にある低圧車軸の第 8 段及び第 8 段翼 (いずれも除染前) から代表試料を採取し、二次的な汚染部分を用いて放射化学分析を行った。その結果、いずれも ^{60}Co が最も高い値を示した。

(平成 25 年 4 月 1 日時点)

試料採取箇所 (除染前)	分析値① (Bq/g)			
	^{60}Co	^{90}Sr	^{134}Cs	^{137}Cs
基準値②(Bq/g)	0.1	1	0.1	0.1
第 8 段(A)表面研磨粉	3.4	2.5×10^{-1}	$< 2.2 \times 10^{-3}$	3.6×10^{-2}
第 8 段(B)表面研磨粉	4.1	3.5×10^{-1}	$< 6.1 \times 10^{-4}$	3.4×10^{-2}
第 8 段(C)表面研磨粉	2.3	1.4×10^{-1}	1.2×10^{-3}	2.7×10^{-2}
第 8 段翼(C)	1.5×10^{-1}	8.7×10^{-3}	$< 3.5 \times 10^{-5}$	1.3×10^{-3}



試料採取箇所 (除染前)	分析値/基準値 (①/②)			
	^{60}Co	^{90}Sr	^{134}Cs	^{137}Cs
第 8 段(A)表面研磨粉	3.4×10^1	2.5×10^{-1}	$< 2.2 \times 10^{-2}$	3.6×10^{-1}
第 8 段(B)表面研磨粉	4.1×10^1	3.5×10^{-1}	$< 6.1 \times 10^{-3}$	3.4×10^{-1}
第 8 段(C)表面研磨粉	2.3×10^1	1.4×10^{-1}	1.2×10^{-2}	2.7×10^{-1}
第 8 段翼(C)	1.5	8.7×10^{-3}	$< 3.5 \times 10^{-4}$	1.3×10^{-2}



試料採取箇所 (除染前)	①/②の ^{60}Co に対する比			
	^{60}Co	^{90}Sr	^{134}Cs	^{137}Cs
第 8 段(A)表面研磨粉	1	7.4×10^{-3}	6.5×10^{-4}	1.1×10^{-2}
第 8 段(B)表面研磨粉	1	8.5×10^{-3}	1.5×10^{-4}	8.3×10^{-3}
第 8 段(C)表面研磨粉	1	6.1×10^{-3}	5.2×10^{-4}	1.2×10^{-2}
第 8 段翼(C)	1	5.8×10^{-3}	2.3×10^{-4}	8.7×10^{-3}

(添付 2) 表-6 二次的な汚染の核種組成比の評価結果 (浜岡 5 号炉)

・浜岡 5 号炉低圧タービンロータにおいて, 規則 33 核種から ^3H を除いた規則 32 核種の核種組成比を評価した結果を以下に示す。規則 32 核種の $\Sigma\text{D/C}$ に対する ^{60}Co の寄与割合は 94%であった。

(平成25年4月1日時点)

	核種 ¹⁾	設定結果 (D) (Bq/g)	基準値 (C) (Bq/g)	D/C (-)
1	^3H	—	100	—
2	^{14}C	1.9×10^{-2}	1	1.9×10^{-2}
3	^{36}Cl	2.1×10^{-6}	1	2.1×10^{-6}
4	^{41}Ca	2.2×10^{-8}	100	2.2×10^{-10}
5	^{46}Sc	2.7×10^{-9}	0.1	2.7×10^{-8}
6	^{54}Mn	2.5×10^{-2}	0.1	2.5×10^{-1}
7	^{55}Fe	1.2×10^0	1000	1.2×10^{-3}
8	^{59}Fe	2.0×10^{-10}	1	2.0×10^{-10}
9	^{58}Co	2.2×10^{-6}	1	2.2×10^{-6}
10	^{60}Co	1.0×10^0	0.1	1.0×10^1
11	^{59}Ni	5.5×10^{-4}	100	5.5×10^{-6}
12	^{63}Ni	8.2×10^{-2}	100	8.2×10^{-4}
13	^{65}Zn	2.0×10^{-4}	0.1	2.0×10^{-3}
14	^{90}Sr	1.5×10^{-1}	1	1.5×10^{-1}
15	^{94}Nb	1.6×10^{-6}	0.1	1.6×10^{-5}
16	^{95}Nb	2.0×10^{-13}	1	2.0×10^{-13}
17	^{99}Tc	2.2×10^{-6}	1	2.2×10^{-6}
18	^{106}Ru	5.8×10^{-3}	0.1	5.8×10^{-2}
19	$^{106\text{m}}\text{Ag}$	8.7×10^{-7}	0.1	8.7×10^{-6}
20	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	1.9×10^{-5}	0.1	1.9×10^{-4}
21	^{124}Sb	8.8×10^{-10}	1	8.8×10^{-10}
22	$^{123\text{m}}\text{Te}$	3.4×10^{-8}	1	3.4×10^{-8}
23	^{129}I	3.2×10^{-8}	0.01	3.2×10^{-6}
24	^{134}Cs	9.5×10^{-4}	0.1	9.5×10^{-3}
25	^{137}Cs	1.5×10^{-2}	0.1	1.5×10^{-1}
26	^{133}Ba	3.8×10^{-5}	0.1	3.8×10^{-4}
27	^{152}Eu	2.7×10^{-6}	0.1	2.7×10^{-5}
28	^{154}Eu	6.2×10^{-4}	0.1	6.2×10^{-3}
29	^{160}Tb	2.9×10^{-9}	1	2.9×10^{-9}
30	^{182}Ta	3.4×10^{-5}	0.1	3.4×10^{-4}
31	^{239}Pu	9.5×10^{-5}	0.1	9.5×10^{-4}
32	^{241}Pu	3.5×10^{-2}	10	3.5×10^{-3}
33	^{241}Am	3.4×10^{-4}	0.1	3.4×10^{-3}
			規則 32 核種の $\Sigma\text{D/C}$ ²⁾	1.1×10^1
			^3H を除く重要 10 核種の合計 ²⁾	1.1×10^1
			^3H を除く重要 10 核種の割合 ²⁾	99%

1) 重要 10 核種は網掛けしている。

2) $\Sigma\text{D/C}$ の計算にあたり設定結果 (D) の値は端数処理前の値を用いたので, 各 D/C を合計しても合計値が合わないことがある。

出典: 「浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価方法の認可申請書」(平成 26 年 5 月 1 日付け原規規発第 1404309 号をもって認可)(浜岡 5 号炉低圧タービンロータ) 添付図表 3-16 頁

添付書類 三

評価に用いる放射性物質の選択に関する説明

評価に用いる放射性物質の選択に関する説明

1. 評価に用いる放射性物質の選択方法

- 対象物の放射能濃度の評価に用いる放射性物質（評価対象核種）は、規則 33 核種の中で重要度の大きい順に選択し、重要度の和が 90%以上となる核種を評価対象核種として選択する。
- 対象物の汚染形態は、「添付書類二」（3. 項 対象物の汚染の状況）に記載のとおり、主に二次的な汚染であり、放射化汚染は無視できることから、二次的な汚染の中で放射性物質の放射能濃度を評価するうえで重要となるものを選択する。
- 二次的な汚染の規則 33 核種の放射能濃度（D）を基準値（C）で除した比率（D/C）が大きい順に核種を選択し、選択した核種の合計（ $\Sigma D/C$ （選択核種））を $\Sigma D/C$ （規則 33 核種）で除した比率が 0.9（90%）以上となる核種を評価対象核種として選択する。
- ただし、審査基準に記載されているとおり、比率（D/C）が最大となる核種の D/C の値が $1/33$ (3.0×10^{-2}) 以下であることが明らかな場合は、比率（D/C）が最大となる 1 核種のみを評価対象核種として選択する。

2. 評価対象核種の選択結果

- 二次的な汚染の規則 33 核種のうち D/C が最も高い主要核種（以下、「主要核種」という。）は、「添付書類二」（3. 項 対象物の汚染の状況）に記載のとおり ^{60}Co であり、主に以下のとおりである。
- 浜岡 4 号炉の運転中に原子炉水中で顕著に検出される核種は ^{60}Co である。また、対象物の二次的な汚染を確認するため代表試料を採取し、二次的な汚染部分の放射化学分析を行った結果、 ^{60}Co が最も高い値を示した。
 - 先行事例では、浜岡 5 号炉低圧タービンロータから代表試料を採取し、放射化学分析を行った結果、 ^{60}Co が最も高い値を示した。また、規則 33 核種の中で重要度が最も高い核種は ^{60}Co であり、D/C (^{60}Co) を $\Sigma D/C$ （規則 33 核種）で除した比率は 0.9（90%）以上である。
 - 以上より、浜岡 4 号炉の今回の対象物においても、主要核種は ^{60}Co と判断した。
- 主要核種 ^{60}Co の放射能濃度（Bq/g）は、「添付書類二」（3. 項 対象物の汚染の状況）に記載のとおり、事前調査に基づき、対象物の表面汚染密度（Bq/cm²）に比表面積（cm²/g）を乗じて求めた結果、「（添付 3）表-1」に示すとおり、除染前に汚染が顕著に確認された箇所でも 2.7×10^{-3} Bq/g と評価した。

- この値は、D/C (^{60}Co) に換算すると 2.7×10^{-2} となり、上記 1. 項の但し書きにある $1/33$ (3.0×10^{-2}) 以下である⁵。
- 以上より、評価対象核種は ^{60}Co の 1 核種となり、その他の核種は評価対象核種の選択において考慮する必要はないと判断した。

- 以上より、評価対象核種は ^{60}Co の 1 核種とする。
- 法第 61 条の 2 第 1 項に基づく放射能濃度の確認(以下、「国の確認」という。)の申請は、評価対象核種が ^{60}Co の 1 核種であることを前提に、測定及び評価にかかる期間を浜岡 5 号炉タービンロータの確認実績を基に設定基準日(令和 2 年 4 月 1 日)から 3 年とし、これに余裕を見て令和 12 年 4 月 1 日までに行う⁶。

⁵ この値は、事前調査に基づき、除染前に汚染が顕著に確認された主蒸気入口付近(第 7-8 段間)の除染後の表面汚染密度(当該箇所)の平均値)を基に評価した値であり、車軸全体で最も高い場所と評価した。

⁶ 実際の測定及び評価では、「添付書類五」に記載のとおり、測定及び評価の保守性や不確かさを考慮して行い、基準値(D/C (^{60}Co))が 1) 以下であることを確認する。

添付書類 三 図表リスト

(添付 3) 表-1 二次的な汚染の放射能濃度の評価結果

(添付 3) 表-1 二次的な汚染の放射能濃度の評価結果(1/3)

- ・ 事前調査において、対象物の表面汚染密度 (Bq/cm²) を測定し、これに比表面積 (cm²/g) を乗じて放射能濃度 (Bq/g) を求めた結果、3 軸全体の平均で 9.6×10⁻⁴Bq/g、最大で 2.7×10⁻³Bq/g (「評価単位」 No. 11,12,14,15) であった。
- ・ これは D/C (⁶⁰Co) に換算すると、いずれも 1/33 (3.0×10⁻²) 以下である。

「評価単位」 No.	1	2	3	4	
部位名称	カップリング部	軸受段間	第 14 段間	第 14 段翼取付部	
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	2.6×10 ⁻²	2.6×10 ⁻²	8.3×10 ⁻²	2.6×10 ⁻²	
比表面積 (cm ² /g)	(A)				
	(B)				
	(C)				
放射能濃度 (Bq/g)	(A)	4.9×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻⁴	9.1×10 ⁻⁴	5.2×10 ⁻⁴
	(B)	4.2×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻⁴	9.1×10 ⁻⁴	5.2×10 ⁻⁴
	(C)	3.9×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻⁴	9.1×10 ⁻⁴	5.2×10 ⁻⁴

「評価単位」 No.	5	6	7	8	
部位名称	第 13-14 段間	第 13 段翼取付部	第 12-13 段間	第 11-12 段間	
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	2.6×10 ⁻²	2.6×10 ⁻²	2.6×10 ⁻²	2.6×10 ⁻²	
比表面積 (cm ² /g)	(A)				
	(B)				
	(C)				
放射能濃度 (Bq/g)	(A)	5.2×10 ⁻⁴	4.9×10 ⁻⁴	4.2×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁴
	(B)	5.2×10 ⁻⁴	4.9×10 ⁻⁴	4.2×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁴
	(C)	5.2×10 ⁻⁴	4.9×10 ⁻⁴	4.2×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁴

「評価単位」 No.	9	10	11	12	
部位名称	第 10-11 段間	第 9-10 段間	第 8-9 段間	第 7-8 段間	
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	2.6×10 ⁻²	1.7×10 ⁻¹	1.7×10 ⁻¹	1.7×10 ⁻¹	
比表面積 (cm ² /g)	(A)				
	(B)				
	(C)				
放射能濃度 (Bq/g)	(A)	3.6×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻³	2.7×10 ⁻³	2.7×10 ⁻³
	(B)	3.6×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻³	2.7×10 ⁻³	2.7×10 ⁻³
	(C)	3.6×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻³	2.7×10 ⁻³	2.7×10 ⁻³

(添付 3) 表-1 二次的な汚染の放射能濃度の評価結果(2/3)

「評価単位」 No.		13	14	15	16
部位名称		第 7-7 段間	第 7-8 段間	第 8-9 段間	第 9-10 段間
表面汚染密度 (Bq/cm ²)		2.9×10^{-2}	1.7×10^{-1}	1.7×10^{-1}	1.7×10^{-1}
比表面積 (cm ² /g)	(A)				
	(B)				
	(C)				
放射能 濃度 (Bq/g)	(A)	3.5×10^{-4}	2.7×10^{-3}	2.7×10^{-3}	2.6×10^{-3}
	(B)	3.5×10^{-4}	2.7×10^{-3}	2.7×10^{-3}	2.6×10^{-3}
	(C)	3.5×10^{-4}	2.7×10^{-3}	2.7×10^{-3}	2.6×10^{-3}

「評価単位」 No.		17	18	19	20
部位名称		第 10-11 段間	第 11-12 段間	第 12-13 段間	第 13 段翼取付部
表面汚染密度 (Bq/cm ²)		2.6×10^{-2}	2.6×10^{-2}	2.6×10^{-2}	2.6×10^{-2}
比表面積 (cm ² /g)	(A)				
	(B)				
	(C)				
放射能 濃度 (Bq/g)	(A)	3.6×10^{-4}	3.6×10^{-4}	4.2×10^{-4}	4.9×10^{-4}
	(B)	3.6×10^{-4}	3.6×10^{-4}	4.2×10^{-4}	4.9×10^{-4}
	(C)	3.6×10^{-4}	3.6×10^{-4}	4.2×10^{-4}	4.9×10^{-4}

「評価単位」 No.		21	22	23	24
部位名称		第 13-14 段間	第 14 段翼取付部	第 14 段間	軸受段間
表面汚染密度 (Bq/cm ²)		2.6×10^{-2}	2.6×10^{-2}	8.2×10^{-2}	2.6×10^{-2}
比表面積 (cm ² /g)	(A)				
	(B)				
	(C)				
放射能 濃度 (Bq/g)	(A)	5.2×10^{-4}	5.2×10^{-4}	9.0×10^{-4}	2.3×10^{-4}
	(B)	5.2×10^{-4}	5.2×10^{-4}	9.0×10^{-4}	2.3×10^{-4}
	(C)	5.2×10^{-4}	5.2×10^{-4}	9.0×10^{-4}	2.2×10^{-4}

(添付 3) 表-1 二次的な汚染の放射能濃度の評価結果(3/3)

「評価単位」No.	25	26	算術平均値	
部位名称	軸受段間	カップリング部		
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	2.6×10^{-2}	2.6×10^{-2}	6.4×10^{-2}	
比表面積 (cm ² /g)	(A)		1.5×10^{-2}	
	(B)			
	(C)			
放射能 濃度 (Bq/g)	(A)	2.6×10^{-4}	3.9×10^{-4}	9.6×10^{-4}
	(B)	2.6×10^{-4}	3.9×10^{-4}	
	(C)	2.4×10^{-4}	3.6×10^{-4}	

<補足>

- ・「評価単位」の詳細は「添付書類四」に示すとおりである。
- ・表中の(A)～(C)は低圧車軸(A)～(C)を示す。
- ・表面汚染密度の値は、「(添付 2) 図-2」に示すとおり、除染前に汚染が確認された箇所のうち第7-8段間、第8-9段間及び第9-10段間(評価単位 No.10~12, 14~16)では除染後の第7-8段間の平均値($1.7 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$)で代表し、その他の箇所は除染前の各箇所の測定結果を用いた。
- ・表面汚染密度の測定結果が検出限界値未満の場合、検出限界値を用いて放射能濃度を算出した。
- ・表面汚染密度は、測定時における計数率の統計的誤差は考慮しない値である。
- ・比表面積は、対象物の形状のモデル化における不確かさは考慮しない値である。
- ・放射能濃度は、⁶⁰Co 相当の値である。

添付書類 四

評価単位に関する説明

評価単位に関する説明

1. 「評価単位」の設定の考え方

- ・「評価単位」は評価対象核種 (^{60}Co) の放射能濃度が基準値 (D/C (^{60}Co) で 1) 以下であることを判断する重量単位である。
- ・対象物の汚染は、本文「四 放射能濃度確認対象物の種類, 発生及び汚染の状況並びに推定される総重量」に記載のとおり, 主蒸気入口付近 (低圧車軸の中心部) が高く, 下流側に向けて低くなる傾向を示し, 周方向には基準値を下回るレベルで均一な汚染の傾向を示す。
- ・これを踏まえ, 「評価単位」は低圧車軸を軸方向に同一構造となる箇所を分割して設定する。
- ・「評価単位」は, 下記に示すとおり, 「測定単位」及び「測定領域」に分割する。
- ・「評価単位」, 「測定単位」及び「測定領域」は, 低圧車軸の表面を必要に応じてマーキングすることにより識別する。

2. 「評価単位」の設定

- ・「評価単位」の重量は 10 トン以下とする。
- ・「評価単位」は, 「(添付 4) 図-1」に示すとおり, 低圧車軸を軸方向に同一構造となる箇所を 26 分割して設定する。
- ・「評価単位」の重量は, 「(添付 2) 図-3」に示すとおり, 対象物を寸法測定して求めた形状を基に求める。「評価単位」の設定結果を「(添付 2) 表-2」及び「(添付 4) 図-1」に示す。

3. 「測定単位」の設定

- ・「測定単位」は測定により放射能濃度を求める最小単位である。
- ・「測定単位」は汚染の均一性を考慮して低圧車軸を周方向に分割して設定する。
- ・「測定単位」は, 「(本文) 図-3」に示すとおり, 放射線測定装置と「測定単位」の相対位置を考慮して, 重量が 1 トン以下となるよう, 「評価単位」を周方向に分割 (60° 又は 30°) して設定する。
- ・「測定単位」の重量は, 対象物を寸法測定して求めた形状を基に求める。「測定単位」の設定結果を「(添付 4) 図-1」に示す。
- ・対象物の汚染は, いずれの「測定単位」においても事前調査の結果「(本文) 図-4」に示すとおり, D/C (^{60}Co) は 1 を下回るレベルで均一な汚染であり 10 は超えない。

4. 「測定領域」の設定

- ・「測定単位」は、「添付書類五」(3. 項 放射能濃度の決定方法)に記載のとおり、その中での測定方法の違いにより更に「測定領域」に分割する。
- ・「測定領域」は、原則として単一の放射線測定装置で1回の測定で放射エネルギーを測定する領域とし、「測定単位」を分割して設定する。
- ・「測定領域」は、「測定単位」の形状により複数になる場合がある。「評価単位」,
「測定単位」及び「測定領域」の設定結果を「(添付4) 図-1」に示す。

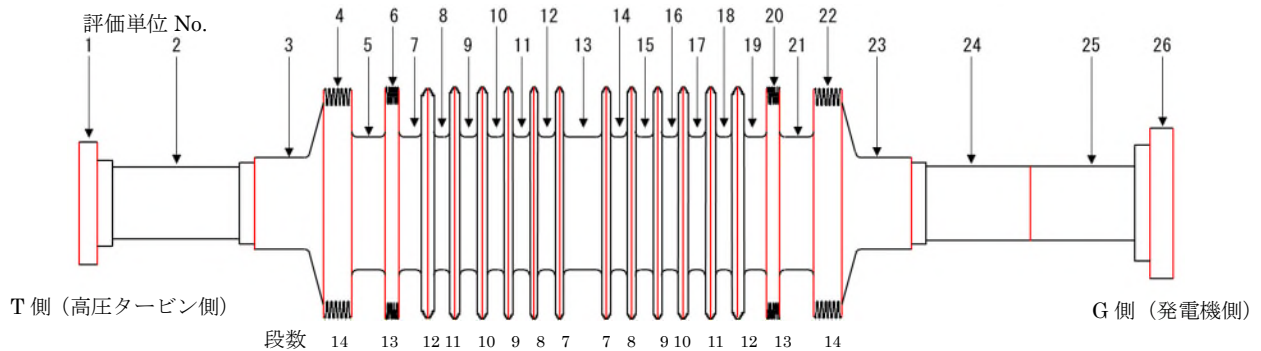
添付書類 四 図表リスト

- (添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」及び「測定領域」の設定
- (添付 4) 表-1 対象物の狭隘部の割合

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(1/21)

1. 「評価単位」 の設定

- ・「(添付 2) 表-2」と同じく低圧車軸を軸方向に分割し, 26 の「評価単位」を設定する。低圧車軸 (A) の例を以下に示す。
- ・図中上部の数字は「評価単位」 No., 下部の数字は翼取付部の段数を示す。



2. 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

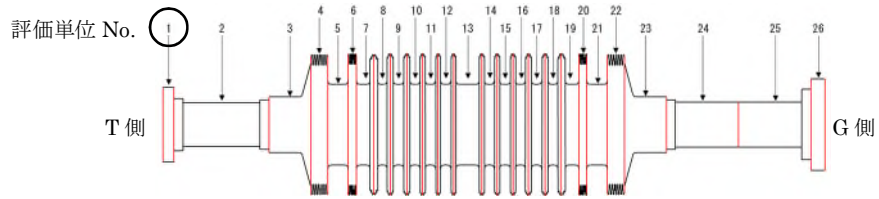
- ・「評価単位」を周方向に分割 (60° 又は 30°) し, 6 又は 12 の「測定単位」を設定する。
- ・「測定領域」は単一の放射線測定装置 (Ge 半導体検出器又は NaI シンチレーションサーベイメータ) で 1 回の測定で放射エネルギーを測定する領域である。「測定単位」の形状により複数の「測定領域」を設定する場合がある。
- ・低圧車軸 (A) を例に各「評価単位」毎の「測定単位」及び「測定領域」の設定を次頁以降に示す。このうち, 「評価単位」 No.1 及び No.26 は車軸毎に形状が異なるため低圧車軸 (B) 及び (C) の設定も示す。

【共通事項】

- ・図及び表中の太枠は代表「測定単位」を示す。
- ・代表「測定単位」は「添付書類五」に示すとおり, 以下の条件で設定する。
条件①: 「測定領域」の数が最大の「測定単位」とする*。
条件②: 条件①を満たす「測定単位」が複数ある場合は低圧車軸の 0° 位置に最も近い (「測定単位」 No. の小さい) 「測定単位」とする。
- ※各「評価単位」を構成する「測定単位」の重量は概ね同じであり, 重量の僅かな違いを考慮しても, 代表「測定単位」の選択に影響しない。
- ・「添付書類五」に示すとおり, 測定領域 (1) は Ge 半導体検出器を用いて測定する「測定領域」の数である。測定領域 (2) は NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定する「測定領域」の数である。
- ・測定領域数は測定単位毎の測定領域数である。ただし (狭隘部) は数に含めない。
- ・図及び表中の「フォーク部」は第 13, 14 段の翼取付部を指す。
- ・「(添付 4) 図-1」は, 今後の除染作業等により, 国の確認の申請で変わる場合がある。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(2/21)

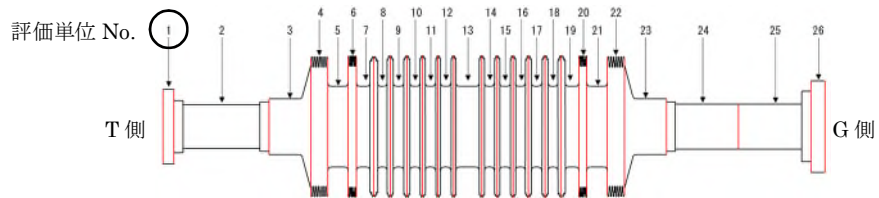
(1-1) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.1 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(3/21)

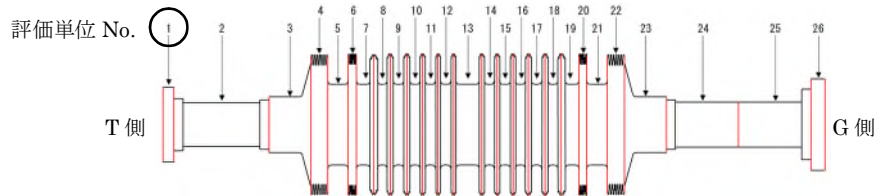
(1-2) 低圧車軸 (B) の 「評価単位」 No.1 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(4/21)

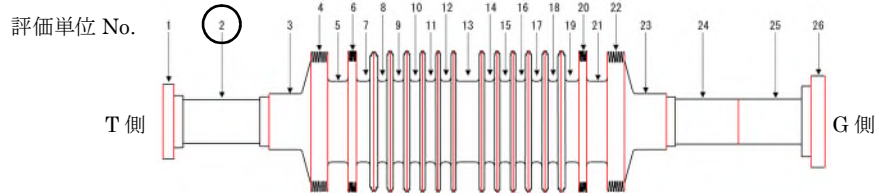
(1-3) 低圧車軸 (C) の 「評価単位」 No.1 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(5/21)

(2) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.2 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

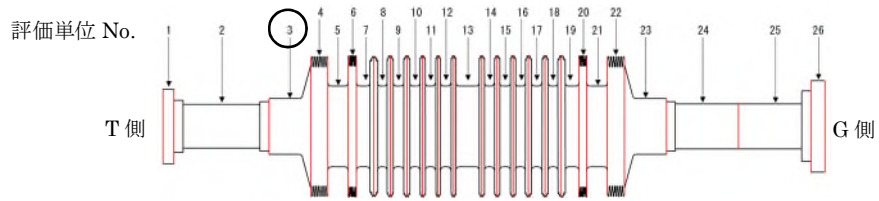


「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。



(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(6/21)

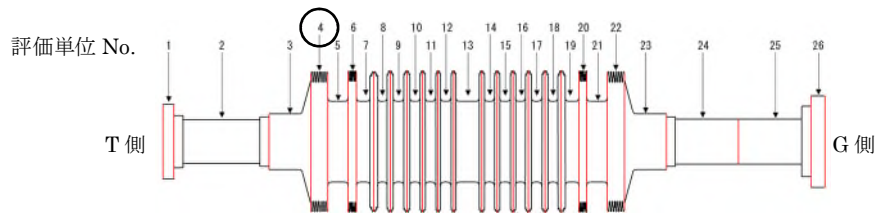
(3) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.3 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(7/21)

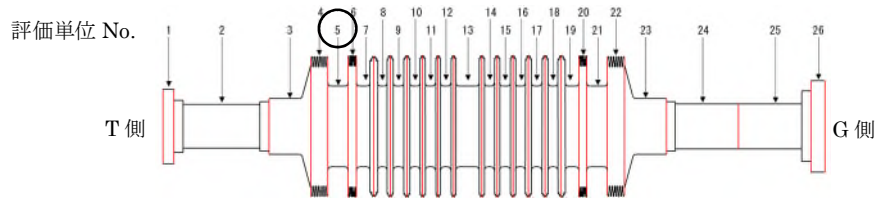
(4) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 の No.4 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (30°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(8/21)

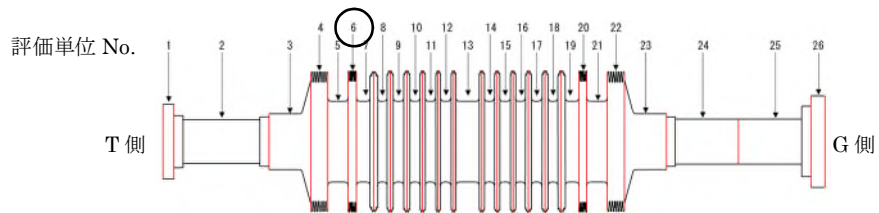
(5) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.5 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(9/21)

(6) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.6 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

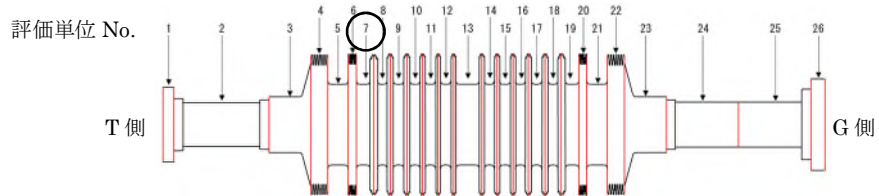


「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。



(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(10/21)

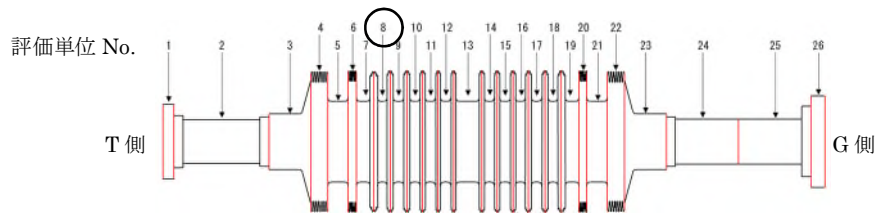
(7) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.7 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(11/21)

(8) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.8 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

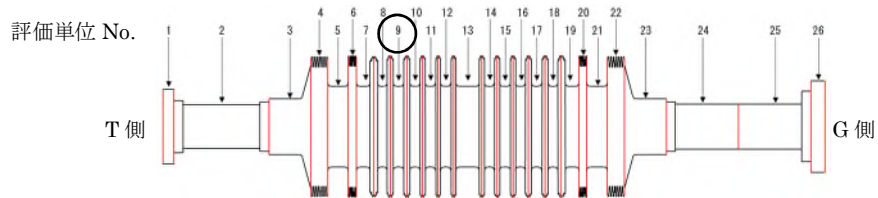


「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。



(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(12/21)

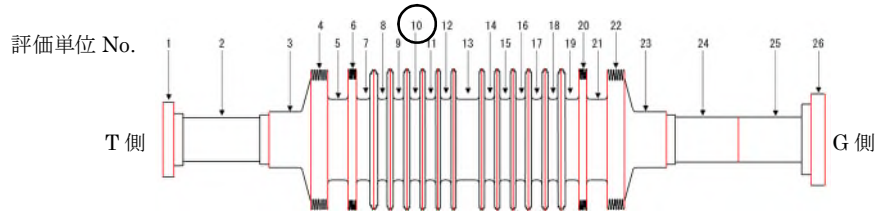
(9) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.9 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(13/21)

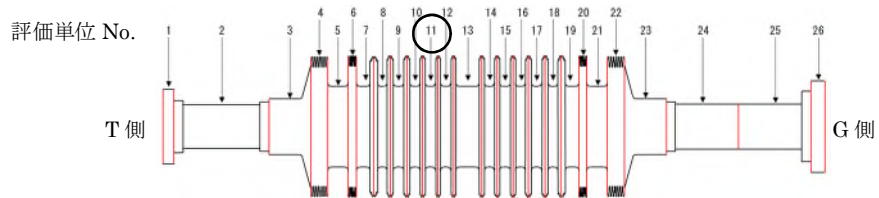
(10) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.10 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(14/21)

(1 1) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.11 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

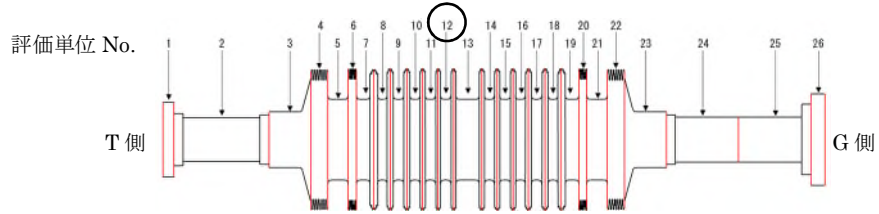


「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。



(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(15/21)

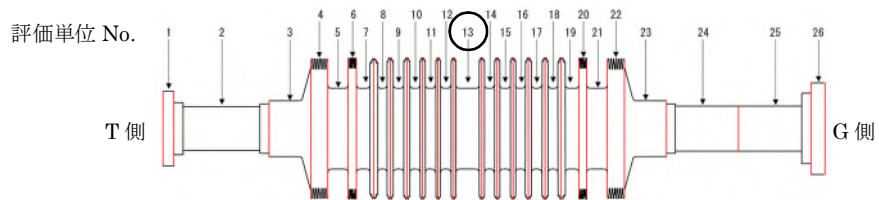
(1 2) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.12 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(16/21)

(1 3) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.13 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

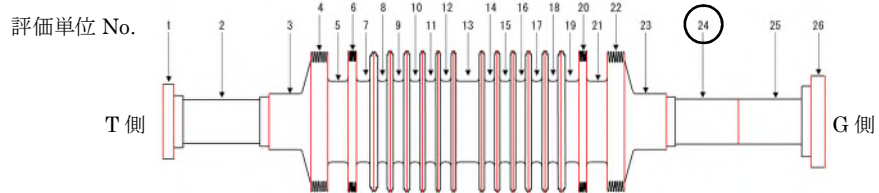


「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (30°) して設定する。



(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(17/21)

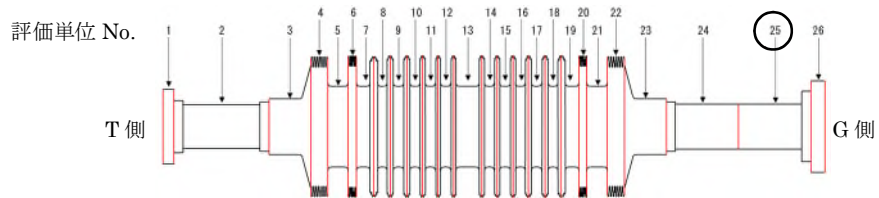
(1 4) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.24 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(18/21)

(1 5) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.25 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

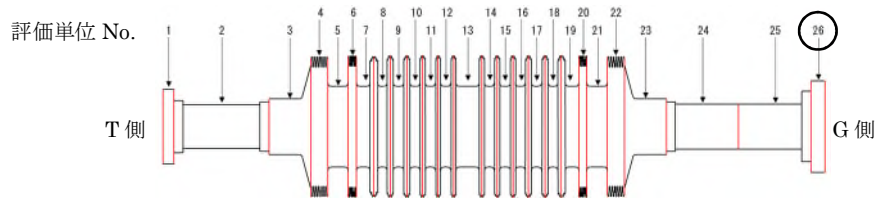


「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。



(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(19/21)

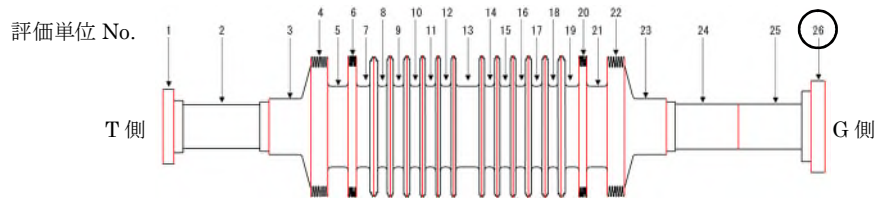
(1 6 - 1) 低圧車軸 (A) の 「評価単位」 No.26 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(20/21)

(1 6 - 2) 低圧車軸 (B) の 「評価単位」 No.26 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定

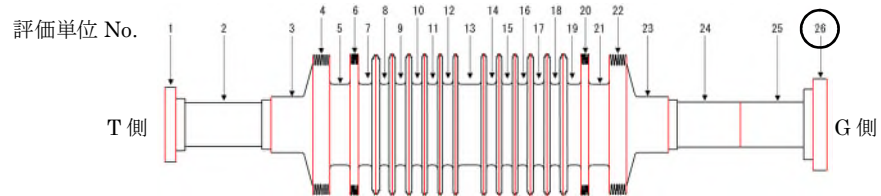


「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。



(添付 4) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定(21/21)

(1 6 - 3) 低圧車軸 (C) の 「評価単位」 No.26 の 「測定単位」 及び 「測定領域」 の設定



「測定単位」 は, 「評価単位」 を周方向に分割 (60°) して設定する。

(添付 4) 表-1 対象物の狭隘部の割合 (1/2)

- 放射能濃度の測定において、放射線測定装置 (Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータ) が近接できない狭隘部の割合を以下に示す。
- 狭隘部のある「評価単位」は全 26「評価単位」のうち低圧車軸 (A) 及び低圧車軸 (B) は 5「評価単位」、低圧車軸 (C) は 6「評価単位」である。
- 狭隘部が車軸全体に占める面積割合は各車軸とも [] であり、「評価単位」毎の面積割合は [] である。
- 放射能濃度の評価において、狭隘部は、「評価単位」及び「測定単位」全体に占める面積が僅かであること、Ge 半導体検出器による「測定領域」の中にあることから、Ge 半導体検出器に対応する「測定領域」の放射能量評価に含めて取り扱う。

(1) 低圧車軸 1 軸 (全体)

項目	低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
[]	[]	[]	[]
④ 狭隘部割合	[]	[]	[]

(2) 評価単位

「評価単位」No.1 (カップリング部)

項目	低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
[]	[]	[]	[]
④ 狭隘部割合	[]	[]	[]

「評価単位」No.3 (円錐台部)

項目	低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
[]	[]	[]	[]
④ 狭隘部割合	[]	[]	[]

(添付 4) 表-1 対象物の狭隘部の割合 (2/2)

「評価単位」 No.13 (第 7-7 段間部)

項目	低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
④ 狭隘部割合			

「評価単位」 No.23 (円錐台部)

項目	低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
④ 狭隘部割合			

「評価単位」 No.25 (軸受部)

項目	低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
④ 狭隘部割合			

「評価単位」 No.26 (カップリング部)

項目	低圧車軸 (A)	低圧車軸 (B)	低圧車軸 (C)
④ 狭隘部割合			

添付書類 五

放射能濃度の決定を行う方法に関する説明

放射能濃度の決定を行う方法に関する説明

1. 放射能濃度の決定方法の基本的考え方

- ・評価対象核種は、本文「五 評価に用いる放射性物質の種類」に記載のとおり、二次的な汚染の ^{60}Co の 1 核種である。従って、二次的な汚染の ^{60}Co を測定することによって放射能濃度を決定する。
- ・評価対象核種 (^{60}Co) は γ 線を放出する核種であり、 γ 線を測定すること及び対象物が複雑な形状でないことから、放射線測定装置は直接表面汚染を測定できる汎用の Ge 半導体検出器又は NaI シンチレーションサーベイメータを用いる。
- ・放射能濃度は、放射線測定法によって求める評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーを重量で除して決定する。
- ・対象物は回転体構造であり、「(本文) 図-4, 5」に示すとおり、周方向で基準値を下回るレベルで均一な汚染の傾向を示すことから、「評価単位」毎に「測定単位」の一つを代表「測定単位」として測定し、その結果を基に「評価単位」の放射能濃度を決定する (サンプリング測定)。
- ・「評価単位」の放射能濃度 (Bq/g) は、「評価単位」に対応する代表「測定単位」の放射能濃度 (Bq/g) とする。
- ・その際、測定及び評価における不確かさを考慮する。
- ・放射能濃度の評価日は、「評価単位」に対応する代表「測定単位」の測定日とする。
- ・測定の結果、「評価単位」の D/C (^{60}Co) が 1 以下となることを確認し、国の確認を受ける。

2. サンプリング測定

- ・「評価単位」は、「(添付 5) 図-1」に示すとおり、複数の「測定単位」で構成し、「測定単位」は 1 つ又は複数の「測定領域」で構成する。
- ・代表「測定単位」は、放射エネルギーを保守的に評価することを考慮し、「評価単位」を構成する「測定単位」のうち「測定領域」の数が最大の「測定単位」とする。最大となる「測定領域」が複数ある場合は、測定管理の観点より、低圧車軸の 0° 位置に最も近い「測定単位」を代表「測定単位」とする⁷。
- ・サンプリング測定の対象となる各「評価単位」に対応する代表「測定単位」の詳細は「(添付 4) 図-1」に示すとおりである。

⁷ 「測定単位」の放射能濃度は、放射エネルギーと重量により求まる。各「評価単位」を構成する「測定単位」の重量は概ね同じであり、重量の僅かな違いを考慮しても、代表「測定単位」の選択に影響しない。

3. 放射能濃度の決定方法

3. 1 放射能濃度の決定方法の考え方

- ・放射能濃度は、放射線測定法によって求めた評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーを代表「測定単位」の重量で除して求める⁸。
- ・放射線測定装置は、原則として評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線測定によく用いられる汎用の Ge 半導体検出器を用いて代表「測定単位」毎に 1 回で測定することを原則とするが、「測定単位」の構造上、1 回で測定できない代表「測定単位」⁹は複数回に分けて測定する。また、Ge 半導体検出器が近接できない箇所¹⁰は、原則として NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定するが、NaI シンチレーションサーベイメータが近接できない狭隘部¹¹は表面汚染密度の代表値を用いて当該箇所の放射エネルギーとする。
- ・「評価単位」、「測定単位」及び「測定領域」の詳細は「(添付 4) 図-1」及び「(添付 5) 図-1」に示すとおりである。
- ・代表「測定単位」における評価対象核種 (^{60}Co) の放射能濃度は、各「測定領域」における評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーを、放射線測定装置 (Ge 半導体検出器又は NaI シンチレーションサーベイメータ) で測定し、これらを合計して代表「測定単位」の放射エネルギーとし、これを代表「測定単位」の重量で除して求める。
- ・Ge 半導体検出器の「測定領域」を「測定領域 (1)」, NaI シンチレーションサーベイメータの「測定領域」を「測定領域 (2)」とする。その際、表面汚染密度の代表値を用いて放射エネルギーを求める狭隘部は、「(添付 4) 表-1」に記載のとおり、「測定単位」全体に占める面積が僅かであること¹²及び Ge 半導体検出器で測定する「測定領域」の中にあることから、当該箇所の放射エネルギーは Ge 半導体検出器で測定する「測定領域 (1)」に含めて計算する。
- ・放射能濃度の評価日は、代表「測定単位」を構成する「測定領域」のうち、Ge 半導体検出器を用いて測定した「測定領域」の最初の測定日とする。

- ・サンプリング測定を採用することを考慮し、代表「測定単位」の放射能濃度は

⁸ 「審査基準 3.3 (3) イ」への適合：本申請の対象物である低圧車軸は、二次的な汚染（表面汚染）が有意な部位だけを分離して扱うことはなく、既認可（浜岡 5 号炉低圧タービンロータの車軸）と同様に 1 体ものとして取り扱うため、二次的な汚染の放射エネルギーを対象物の重量で除して放射能濃度を決定する方法は、過小評価となることはない。

⁹ 例：「(添付 4) 図-1」に示すカップリング部（「評価単位」No.1）

¹⁰ 例：「(添付 4) 図-1」に示すカップリング穴（「評価単位」No.1）

¹¹ 例：「(添付 4) 図-1」に示す狭隘部（バランスウェイト溝）（「評価単位」No.1）

¹² 狭隘部が車軸全体に占める面積割合は各車軸とも 1.6% である。また、狭隘部のある「評価単位」は全 26 「評価単位」のうち低圧車軸 (A) 及び低圧車軸 (B) は 5 「評価単位」、低圧車軸 (C) は 6 「評価単位」であり、面積割合は 0.12%～14% である。

「測定領域(1)」の測定日で整理し、「評価単位」の評価日は「測定領域(1)」の測定日とする。同一「測定単位」に「測定領域(1)」が2カ所以上ある場合は、最初に測定する「測定領域(1)」の測定日を評価日とする。その他の日に測定を行った「測定領域」の放射エネルギーは、評価日まで減衰補正をしたうえで合計する。

3. 2 放射能濃度の決定方法

- ・「測定領域」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーは、計数率及び放射能換算係数を基に求め、これを(5-1)式により評価日まで減衰補正を行うことにより、評価日における放射エネルギーとする。その際、「測定領域(1)」に狭隘部が存在する場合、(5-2)式によりその面積に応じた放射エネルギーを加算して当該「測定領域(1)」の放射エネルギーとする。放射エネルギーの求め方は下記4.項に示すとおりである。

$$q_{\text{測定領域, 評価日}} = q_{\text{測定領域, 測定日}} \times e^{-\lambda_{\text{Co}} t_1} + q_{s, \text{評価日}} \quad (5-1)$$

ここで、

- $q_{\text{測定領域, 評価日}}$: 評価日における「測定領域(1)」又は「測定領域(2)」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq)。
- $q_{\text{測定領域, 測定日}}$: 測定日における「測定領域(1)」又は「測定領域(2)」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq)。具体的には下記4.項に示すとおりである。
- λ_{Co} : 評価対象核種 (^{60}Co) の崩壊定数 $3.6 \times 10^{-4} \text{ (d}^{-1}\text{)}$ 。半減期を5.2714年、1年間を365.2422日と設定。(参考文献1,2)
- t_1 : 測定日から評価日までの経過日数 (d)。代表「測定単位」を構成する「測定領域」のうち、最初に測定対象となる「測定領域(1)」は測定日が評価日となることから、この場合、 $t_1 = 0$ とする。
- $q_{s, \text{評価日}}$: 評価日における「測定領域(1)」にある狭隘部の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq) であり、(5-2)式によって求める。狭隘部がない「測定領域(1)」は、 $q_{s, \text{評価日}} = 0$ とする。

- ・代表「測定単位」の放射エネルギーは、(5-3) 式により上記の「測定領域 (1)」及び「測定領域 (2)」の放射エネルギーを合計して求める。

$$Q_{\text{代表測定単位,評価日}} = \sum_{k=1}^{N_k} q_{\text{測定領域,評価日,k}} \quad (5-3)$$

ここで、

- $Q_{\text{代表測定単位,評価日}}$: 評価日における代表「測定単位」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq)。
- N_k : 「測定単位」における「測定領域」の数 (—)。
- $q_{\text{測定領域,評価日,k}}$: 評価日における「測定領域」 k の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq) で、(5-1) 式によって求まる値。

- ・「測定領域 (1)」の測定において、狭隘部又は「測定領域 (2)」からの放射線を弁別して測定することはできないため、測定値の全てを「測定領域 (1)」からの放射線によるものとして扱う。

- ・代表「測定単位」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射能濃度は、(5-4) 式により放射エネルギーを重量で除して求める。

$$C_{\text{代表測定単位,評価日}} = Q_{\text{代表測定単位,評価日}} / W \quad (5-4)$$

ここで、

- $C_{\text{代表測定単位,評価日}}$: 評価日における代表「測定単位」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射能濃度 (Bq/g)。
- $Q_{\text{代表測定単位,評価日}}$: 評価日における代表「測定単位」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq) で、(5-3) 式によって求まる値。
- W : 放射能濃度を求めるために用いる不確かさを考慮した代表「測定単位」の重量 (g)。
 ここでの重量は、「(添付 4) 図-1」に示す寸法の実測結果に基づく「測定単位」の重量と実態との差異を考慮して、設定する。

- ・以上で求めた代表「測定単位」の放射能濃度を当該「評価単位」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射能濃度とする。

¹⁴ 「評価単位」(10 トン以下) 及び「測定単位」(1 トン以下) を管理する重量は「(添付 2) 表-2」及び「(添付 4) 図-1」の値である。

4. 測定条件の抽出と設定

- 測定条件とは、代表「測定単位」の D/C（評価対象核種（ ^{60}Co ））が 1 以下であることの判断を可能にするための条件であり、評価対象核種（ ^{60}Co ）の放射能換算係数及び計数率を考慮する。

4. 1 放射能換算係数

- 評価対象核種（ ^{60}Co ）の放射能換算係数（ Bq/s^{-1} ）は、放射線測定装置で測定した評価対象核種（ ^{60}Co ）の計数率（ s^{-1} ）と放射エネルギー（ Bq ）を対応づける換算係数である。
- 「測定領域（1）」及び「測定領域（2）」の放射エネルギー（ Bq ）は、「測定領域」内の放射エネルギーの分布（ Bq/cm^3 ）から求める。
- この分布を保守的に設定し、「測定領域」の放射エネルギー（ Bq ）と計数率（ s^{-1} ）の関係を遮へい計算で求め、これを放射能換算係数（ Bq/s^{-1} ）として整理する。
- 「測定領域」内の放射エネルギーの分布は、「測定領域」の放射エネルギーが保守的となるよう、以下のように設定する。
- 放射能換算係数は、放射線測定装置と「測定領域」との間に遮へいとなる部分が存在しない場合（ケース A）と存在する場合（ケース B）の 2 ケース設定する。
- 「測定領域（1）」（Ge 半導体検出器を用いて測定）にはケース A 及びケース B があり、「測定領域（2）」（NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定）はケース A である。「(添付 4) 図-1」及び「(添付 5) 図-2」に示すとおり、「評価単位」によって評価に用いる放射能換算係数が異なり、翼取付部のうち「評価単位」No.4, 6, 20, 22 はケース B, それ以外はケース A である。

(1) 放射能換算係数（ケース A）の設定

- 放射線測定装置と「測定領域」との間に遮へいとなる部分が存在しない場合（ケース A）の放射能換算係数の設定方法を以下に述べる。
- ケース A で使用する放射線測定装置は、Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータである。
- ケース A では、「測定領域」内で応答関数（ s^{-1}/Bq ）が最も小さい位置に放射エネルギー全てがあるものとして、放射能換算係数（ Bq/s^{-1} ）を設定する。設定の具体的な方法を下記に示す。
- 評価対象核種（ ^{60}Co ）の計数率 P （ s^{-1} ）と放射エネルギー A （ Bq ）の関係を放射能換算係数（ Bq/s^{-1} ）として用意しておき、放射線測定装置で測定した評価対象核種（ ^{60}Co ）の計数率 P （ s^{-1} ）を基に放射エネルギー A （ Bq ）を求める。

- 放射線測定装置と「測定領域」との間に遮へいとなる部分が無いことを考慮し、応答関数が最も小さい位置での応答関数 RF (s^{-1}/Bq) を (5-5) 式を用いて計算し、放射能換算係数 CF (Bq/s^{-1}) を設定する。

$$CF = RF^{-1} = \left(g(\theta) \cdot \frac{\eta}{4\pi} \cdot \frac{1}{r^2} \right)^{-1} \quad (5-5)$$

ここで、

- CF : ケース A の放射能換算係数 (Bq/s^{-1})
 応答関数 RF (s^{-1}/Bq) の逆数で設定する。
- RF : 応答関数が最も小さい位置での応答関数 (s^{-1}/Bq)
 γ 線遮へい計算で単位放射エネルギーに対する 1.333MeV の γ 線の計数率を求め、これを応答関数とする。

- $g(\theta)$: γ 線入射角度 θ における角度依存性の効率 (—)。

- $1/\frac{\eta}{4\pi}$: 距離補正係数 ($Bq \cdot mm^{-2}/s^{-1}$)。

- r : 検出器から応答関数が最も小さい位置までの距離 (mm)。

- 「測定領域」の形状及び γ 線源を評価体系にモデル化し、点減衰核法に基づく遮へい計算の方法で、単位放射エネルギー (Bq) に対する計数率 (s^{-1}) を計算する。
- γ 線源と放射線測定装置の位置関係の設定にあたり、放射線測定装置側は検出器の中心位置を基準点とする。
- 点減衰核法に使用する放射線測定装置の幾何学的効率は参考文献に準拠して設定する。具体的には、「対象物と検出器の距離」及び「放射線の入射角度による感度変化」を、Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータのそれぞれに対して幾何学的効率を包含する保守的な代表値を設定する。具体的には「(添付 6) 表-2」に示すとおりである。(参考文献 3, 4)
- NaI シンチレーションサーベイメータを用いた測定では、当該「測定領域」の測定において測定対象以外の「測定領域」にある放射性物質からの寄与はあるが、当該「測定領域」に放射性物質があるものとして扱うことで、当該「測定

領域」の放射エネルギーを保守的に評価する。

- ・放射能換算係数に関するパラメータを「(添付 5) 図-3」に示す。
- ・ケース (A) として、「測定領域 (1)」は「評価単位」No. 13 (このうち第 7-7 段間部分)、「測定領域 (2)」は「評価単位」No. 13 (このうち第 7 段の通気穴部分) の放射能換算係数の設定例を「(添付 5) 図-4」に示す。

(2) 放射能換算係数 (ケース B) の設定

- ・放射線測定装置と「測定領域」との間に遮へいとなる部分が存在する場合 (ケース B) の放射能換算係数の設定方法を以下に述べる。
- ・ケース B で使用する放射線測定装置は、Ge 半導体検出器である。
- ・ケース B では、「(添付 5) 図-5」に示すとおり、「測定領域」内を小領域に分割し、小領域あたりの放射エネルギーを保守的に設定する。設定の具体的な方法は、下記 a) 項に示すとおりである。
- ・「(添付 5) 図-2」に示すとおり、放射能換算係数が極端に保守的とならず適度な保守性を持たせるよう、「測定領域」内において計数率が最も小さくなる小領域位置から順に各小領域に下記 a) 項にて設定する小領域あたりの放射エネルギーを割り当てていき、「測定領域」の総放射エネルギー (Bq) と放射線測定装置での計数率 (s⁻¹) との関係性を「(添付 5) 図-5」に示すような放射能換算係数 CF (Bq/s⁻¹) として整理する。
- ・このようにすることで、測定した計数率 (s⁻¹) に対応する総放射エネルギー (Bq) を保守的に評価することができる。
- ・放射能換算係数に関するパラメータを「(添付 5) 図-3」に示す。
- ・ケース (B) として、「評価単位」No. 22 (第 14 段の翼取付部) の放射能換算係数の設定例を「(添付 5) 図-5」に示す。

a) 小領域あたりの放射エネルギーの設定

- ・小領域あたりの放射エネルギーは、事前調査と管理により設定する小領域内に存在する評価対象核種 (⁶⁰Co) の放射エネルギーを保守的に設定する値であり、2つのパラメータ (表面汚染密度、小領域中の面積) に基づいて設定する。

x : 表面汚染密度 (Bq/cm²)

除染前に汚染が顕著に確認された主蒸気入口付近 (第 7-8 段間) の除染後の表面汚染密度は、「(添付 2) 図-2」に示すとおり、3 軸の平均値は $1.7 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ 、最大値は $4.4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ である (令和 2 年 4 月 1 日時点)。小領域あたりの放射エネルギーの設定にあたっては、これに余裕を見て保守的に 2.0Bq/cm^2 (令和 2 年 4 月 1 日時点) を代表値として設定する。

これは「(添付2) 図-2」に示す測定データの95%上限値¹⁵である $3.2 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ に対して十分余裕のある設定になっている。

現在、対象物は汚染のおそれのある管理区域において汚染防止措置を施して保管している。測定及び評価にあたり、対象物を保管している場所を汚染のおそれのない管理区域に変更する際、この設定値が適用できることを確認する。

y：小領域中の面積 (cm^2)

小領域は、その中に含まれる対象物の表面積が、放射線測定装置の検出器として使用する GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータのうち窓面積のより大きいプラスチックシンチレーション式サーベイメータの窓面積 (100cm^2) 以上となるように小領域の体積 (cm^3) を設定する。小領域の面積 (cm^2) は、小領域の体積 (cm^3) に対応する面積 (cm^2) とする。

上記 $x \cdot y$ の積を小領域あたりの最大放射エネルギー (Bq) として設定する。

b) 放射能換算係数の設定

- 放射能換算係数は、「測定領域」の放射能分布及び形状に依存する。

¹⁵ 「(添付2) 図-2」に示す算術平均値 ($1.7 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$) に標準偏差 ($8.9 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^2$) の1.645倍 ($1.5 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$) を加えた値。

- 「測定領域」内の放射能分布を考慮できるよう「測定領域」を複数の小領域に分割する。
- 小領域は、放射能分布を考慮する最小単位とする。
- 「測定領域」内を小領域に分割し、小領域あたりの放射エネルギーを保守的に設定する。設定の具体的な方法は上記 a) 項に示すとおりである。

- 各小領域の単位放射エネルギーに対する放射線測定装置での応答関数 RF_i (s^{-1}/Bq)を以下の(5-7)式を用いて求める。

$$RF_i = g(\theta) \cdot \frac{\eta}{4\pi} \cdot \frac{1}{r_i^2} \cdot \exp(-\mu\rho d) \quad (5-7)$$

ここで、

RF_i : 小領域 i の応答関数 (s^{-1}/Bq)。

$g(\theta)$: γ 線入射角度 θ における角度依存性の効率 (—)。

$1/\frac{\eta}{4\pi}$: 距離補正係数 ($Bq \cdot mm^{-2}/s^{-1}$)。

r_i : 検出器から小領域 i までの距離 (mm)。

μ : 遮へい補正係数 (mm^{-1})。

ρ : 「測定領域」の嵩密度に応じた補正係数 (—)。

d : γ 線が通過する放射能濃度確認対象物の厚み (mm)。

c) 「測定領域」内の放射能分布の設定方法

- 「測定領域」を構成する小領域の放射エネルギーを合計して「測定領域」の放射エネルギーを求める。

- ・「測定領域」内の各小領域の放射エネルギー分布は、保守的に設定する。
- ・「測定領域」内の放射エネルギー分布 $\{a_i\}$ は、小領域毎にゼロ又は小領域あたりの放射エネルギー ($a_{max,i}$) のいずれかとする。
- ・最初に放射エネルギー分布 $\{a_i\}$ を全てゼロとし、小領域の応答関数が小さい小領域から順に a_i を小領域あたりの放射エネルギーに置き換えていき、「測定領域」における検出器の計数率を計算する。

- ・測定時間が短く検出限界計数率が大きい場合又は測定時のバックグラウンドレベルが高い場合、 $P > P_N$ となることがある。この場合、測定条件を見直して再測定を行うか、再除染し再測定を行う。

4. 2 計数率の設定方法

(1) Ge 半導体検出器を用いた測定

- 放射能濃度の評価に用いる計数率は、計数率の統計的誤差を考慮して保守的に設定する。
- Ge 半導体検出器を用いて評価対象核種 (^{60}Co) の γ 線スペクトル解析を行って「測定領域 (1)」の計数率を求める。(参考文献 5)
- 計数率の統計的誤差は、下表のとおり計数率を設定し、下記 (5-9) 式で用いる計数率とする。
- 測定した計数率が検出限界計数率以上であった場合、計数率の統計的誤差を加えた値¹⁷を測定値とする。
- 測定した計数率が検出限界計数率未満であった場合、検出限界計数率を測定値とする。

評価対象核種 (^{60}Co) の測定結果	評価に用いる計数率 (s^{-1})
検出	検出値 + 1.645 σ
検出限界計数率未満	検出限界計数率

注) σ は検出値の標準偏差。

- (5-9) 式により、「測定領域 (1)」の評価対象核種 (^{60}Co) の計数率に対応する放射エネルギーを求める。

$$q_{\text{測定領域,測定日}} = CF_{\text{Ge}} \times (N_{\text{Ge}} - m_{\text{Co}}) \quad (5-9)$$

ここで、

- $q_{\text{測定領域,測定日}}$: 測定日における「測定領域 (1)」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq)。
- CF_{Ge} : 評価対象核種 (^{60}Co) の放射能換算係数 (Bq/s^{-1})。計数率(s^{-1})を放射エネルギー (Bq) に換算するための関数として定義する。放射能換算係数の設定方法は、4. 1 項及び「(添付 5) 図-2, 3」に示すとおりである。
- N_{Ge} : 測定時における評価対象核種 (^{60}Co) が放出する 1.333MeV の γ 線の計数率 (s^{-1})。測定した計数率が検出限界計数率未満であった場合、検出限界計数率を用いる。
この場合、 m_{Co} はゼロとする。(参考文献 4)

¹⁷ 検出値に統計的誤差として標準偏差 (σ) の 1.645 倍を加えた値 (95%上限値)。信頼の水準を片側 95 %としたときの上限値を「95%上限値」という。(参考文献 6, 7)

m_{Co} : 「測定領域」以外から放出される評価対象核種 (^{60}Co) の 1.333MeV の γ 線の計数率 (s^{-1})。
 m_{Co} は, 測定した計数率 (N_{Ge}) が検出限界計数率以上の場合, 対象物と検出器の間を遮へいして評価対象核種 (^{60}Co) が放出する 1.333MeV の γ 線の計数率 (s^{-1}) を測定し, 遮へいを透過した γ 線を補正して「測定領域」以外からの γ 線の計数率 m_{Co} (s^{-1}) として求める¹⁸。
 対象物を測定した結果, N_{Ge} が検出限界未満であった場合, $m_{Co}=0$ とする (参考文献 4)。
 具体的には「(添付 5) 表-1」に示すとおりである¹⁹。

- ・「測定領域 (1)」に Ge 半導体検出器が近接できない狭隘部がある場合, 当該部の放射エネルギーは, (5-9) 式で求まる値に (5-2) 式で求まる値を (5-1) 式で加算し, 評価日の値として整理する。

(2) NaI シンチレーションサーベイメータを用いた測定

- ・ NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定する場合, 測定した計数率がバックグラウンドを含め全て「測定領域」の評価対象核種 (^{60}Co) からの計数率として放射エネルギーを求める。従って, NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定する場合, 検出限界計数率は設定しない。
- ・ NaI シンチレーションサーベイメータでは計数率にバックグラウンドが含まれ, 「(添付 5) 表-2」に示すとおり, バックグラウンドが占める割合は評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線の割合を上回り, 評価対象核種 (^{60}Co) からの γ 線の統計的誤差はバックグラウンドに包含されると評価することから, 測定した計数率の統計的誤差は考慮せず, 測定した計数率がバックグラウン

¹⁸ m_{Co} の測定結果が検出値の場合の評価に用いる計数率の統計的誤差は, N_{Ge} の標準偏差及び m_{Co} の標準偏差を考慮し, その標準偏差は誤差伝播式より $\sigma_{net} = \sqrt{\sigma_{NGe}^2 + \sigma_{mCo}^2}$ となり, (5-9) 式での統計的誤差は 95% 片側上限値 (標準偏差 σ_{net} の 1.645 倍) とする (「(添付 5) 表-1」参照)。ここで,

σ_{net} : 評価に用いる計数率 ($N_{Ge} - m_{Co}$) の標準偏差。
 σ_{NGe} : 測定時における評価対象核種 (^{60}Co) が放出する 1.333MeV の γ 線の計数率 (N_{Ge}) の標準偏差。
 σ_{mCo} : 「測定領域」以外から放出される評価対象核種 (^{60}Co) の 1.333MeV の γ 線の計数率 (m_{Co}) の標準偏差。

¹⁹ 遮へい体 (鉛) を検出器の前面に設置に要する時間は 5 分程度であるため, 評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線を測定後, 「測定領域」外からの γ 線を測定するまでの時間は短時間であり, 測定場所周辺の放射線環境は変わらないものとして扱う。

- ドを含め全て評価対象核種 (^{60}Co) からのものとして放射エネルギーを求める。
- ・ (5-10) 式により、「測定領域 (2)」の評価対象核種 (^{60}Co) の計数率に対応する放射エネルギーを求める。

$$q_{\text{測定領域,測定日}} = CF_{\text{NaI}} \times N_{\text{NaI}} \quad (5-10)$$

ここで、

- $q_{\text{測定領域,測定日}}$: 測定日における「測定領域 (2)」の評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギー (Bq)。
- CF_{NaI} : 評価対象核種 (^{60}Co) の放射能換算係数 (Bq/ s⁻¹)。計数率(s⁻¹)を放射エネルギー (Bq) に換算するための関数として定義する。
放射能換算係数の設定方法は、4. 1 項及び「(添付 5) 図-2, 3」に示すとおりである。
- N_{NaI} : 測定時における評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線の計数率 (s⁻¹)。

4. 3 放射エネルギーの測定方法の妥当性の確認

- ・基準値を下回ることの判断ができる測定ができること、放射エネルギーの測定方法の妥当性及び放射線測定装置の性能を確認するため、表面汚染密度の代表値を考慮した ^{60}Co 標準線源を対象物 (放射線測定装置から「測定領域」の遠方に設置して、放射線測定装置 (Ge 半導体検出器, NaI シンチレーションサーベイメータ) を用いて計数率を測定した。
- ・測定対象、放射能換算係数及び測定結果のまとめを下表に示す。

No.	1		2	3
測定箇所	第 7-7 段間		第 7 段の 通気穴	第 14 段の 翼取付部
「測定単位」	13-2		13-2	22-1
「測定領域」	(1)		(2)	(1)
放射線測定器	Ge 半導体検出器		NaI シンチレーション サーベイメータ	Ge 半導体検出器
放射能換算係数	ケース A			ケース B
放射能換算係数 設定パラメータ	「(添付 5) 図-3, 4」			「(添付 5) 図-3, 5」
測定値 X (Bq)	3.6×10^3	8.5×10^3	4.7×10^3	1.6×10^4
標準線源 Y (Bq)	1.2×10^3	4.9×10^3	1.2×10^3	6.1×10^3
X/Y (-)	3.0	1.7	3.9	2.6
測定値 X に基づく D/C (^{60}Co) (-)	7.8×10^{-2}	1.9×10^{-1}	1.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}
測定結果詳細	「(添付 5) 図-6」			「(添付 5) 図-7」

(1) 基準値を下回ることの判断ができる測定ができることの確認

- ・ ケース A は、「(本文) 図-6」に示すとおり、応答関数が最も小さい位置に汚染が集中している評価モデルであり、「(添付 5) 図-4」に示すとおり、計数率と放射エネルギーは一次関数の比例関係であり、D/C が 1 付近においても放射能濃度を評価することができるかと評価した。
- ・ ケース B は、「(本文) 図-6」に示すとおり、「測定領域」内を小領域に分割し、小領域に割り当てる放射エネルギーを一定値に設定する評価モデルであり、「(添付 5) 図-5」に示すとおり、計数率と放射エネルギーの関係は曲線になる。妥当性確認 (No. 3, 第 14 段の翼取付部) の放射能換算係数の設定グラフは、D/C の最大値が 4.4×10^{-1} であり評価上の最大 D/C は 1 に満たないが、これは基準値近傍までの測定及び評価ができないということではなく、対象物の比表面積が小さいため、表面汚染密度の値を保守的に設定しても D/C は 1 に満たないということであり、それ以上は測定不要ということになる。

(2) 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認

- ・測定で得られた計数率に基づき放射エネルギーを算出し、標準線源の放射エネルギーと比較した結果、「(添付 5) 図-6, 7」に示すとおり、測定における不確かさを考慮しても測定結果は標準線源の放射エネルギーを上回ることを確認し、放射エネルギーの測定方法は妥当と評価した。

5. 放射能濃度の決定における不確かさの考慮

- ・放射能濃度の決定においては以下とおり不確かさを考慮する。
- ・サンプリング測定の代表「測定単位」は、放射エネルギーを保守的に評価することを考慮し、上記 2. 項に示すとおり、「評価単位」を構成する「測定単位」のうち「測定領域」の数が最大の「測定単位」とする。

- ・測定条件の不確かさの要因として、上記 4. 項に示すとおり、放射能換算係数及び計数率の設定において以下の保守性を見込む。

- ・「測定領域(1)」で整理する狭隘部の放射エネルギー設定に必要な表面汚染密度と面積のうち、表面汚染密度は実測値に裕度を持たせて設定する。

- ・不確かさの考慮に関する詳細を「(添付 5) 表-4」に示す。

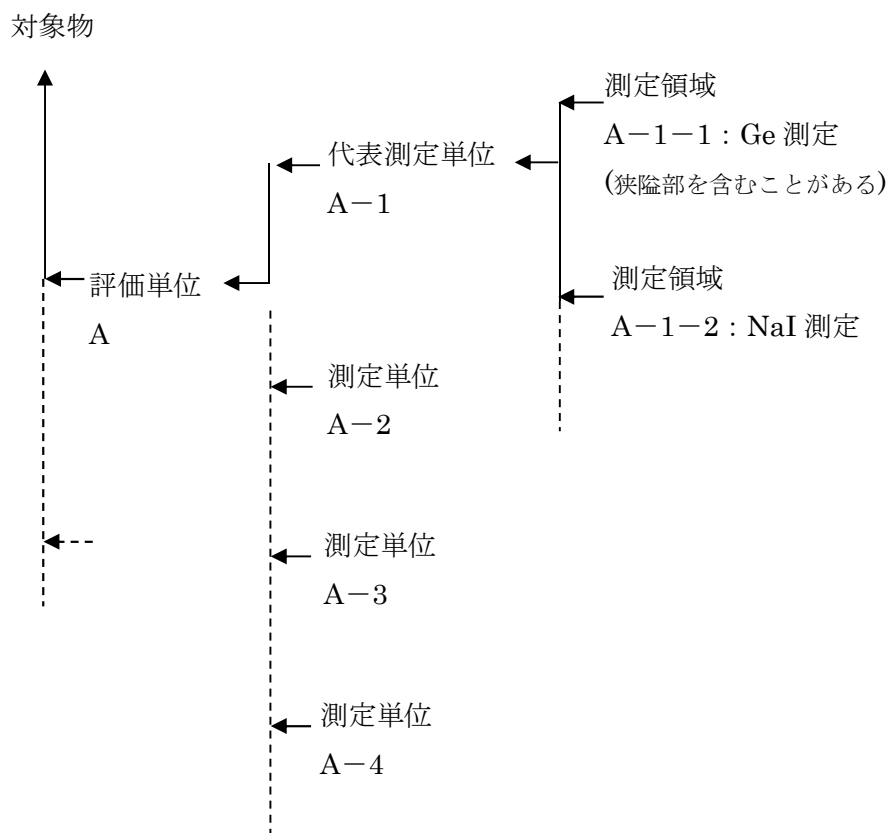
参考文献

1. Richard B. Firestone, S. Y. Frank Chu, Coral M. Baglin et al., "Table of Isotopes EIGHTH EDITION", (1999)
2. 日本アイソトープ協会, 11 版 アイソトープ手帳, 丸善出版株式会社
3. 「原子力教科書 放射線遮蔽」(著者:小佐古 敏荘, 笹本 宣雄/オーム社)
4. 日本原子力学会標準「ウラン取扱施設におけるクリアランスの判断方法: 2010」
5. 文部科学省放射能測定法シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(平成4年改訂)
6. 低濃度放射能測定における ISO 11929 に従った測定の不確かさと特性値の導出(酒井宏隆, 吉居大樹, 川崎 智)
7. 「放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」(令和2年8月13日施行, 原規規発第2007294号, 原子力規制委員会決定。)

添付書類 五 図表リスト

- (添付 5) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」及び「測定領域」の関係
- (添付 5) 図-2 放射エネルギーの測定・評価方法の概要
- (添付 5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ
- (添付 5) 図-4 放射能換算係数の設定例 (ケース A)
- (添付 5) 図-5 放射能換算係数の設定例 (ケース B)
- (添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A)
- (添付 5) 図-7 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース B)
- (添付 5) 表-1 Ge 半導体検出器の計数率の BG 補正
- (添付 5) 表-2 NaI シンチレーションサーベイメータの計数率
- (添付 5) 表-3 対象物のモデル化による不確かさ
- (添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ

(添付5) 図-1 「評価単位」, 「測定単位」及び「測定領域」の関係



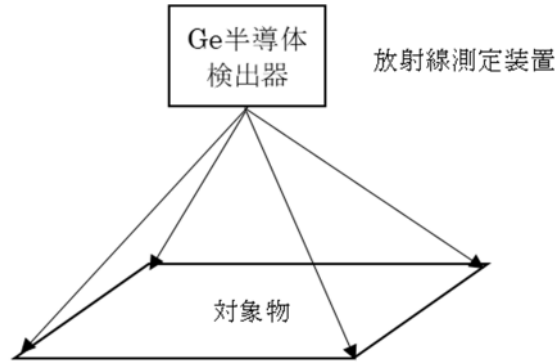
(添付 5) 図-2 放射エネルギーの測定・評価方法の概要(1/2)

放射エネルギーの測定・評価方法の概要を以下に示す。

- ・放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) は、放射線測定装置を用いて対象物を測定する前に設定する。その際、放射能換算係数の設定パラメータ(放射能分布、対象物と放射線測定装置との位置関係による測定感度等)を保守的に設定する。
- ・放射能換算係数は、「(本文) 図-6」に示すとおり、総放射エネルギー (Bq) と放射線測定装置での計数率 (s^{-1}) との関係として整理する。
- ・放射能換算係数は、放射線測定装置と「測定領域」との間に遮へいとなる部分が存在しない場合(ケース A)と存在する場合(ケース B)の2ケースを採用する。各ケースの概要は以下のとおりである。
- ・ケース A は、最低感度の場所(放射能換算係数が最も大きい場所)に全ての汚染があるものとして計数率を放射エネルギーに換算するモデルであり、過大評価になる。
- ・ケース B は、ケース A より放射エネルギーの過大評価を緩和する一方、対象物の実際の汚染分布に近いと推定する均一分布として計数率を放射エネルギーに換算するモデル(以下、「ケース C」という。)より適度な保守性をもたせて評価できるように放射能分布を設定する。
- ・ケース B は、「測定領域」内を小領域に分割し、対象物の表面汚染密度がある値以下であるという条件を利用することで、小領域に割り当てる放射エネルギーを一定値に設定する。
- ・次に各小領域に小領域あたりの放射エネルギーがあった場合の放射線測定装置での計数率(応答関数： s^{-1}/Bq)を遮へい計算で求める。
- ・放射線測定装置を用いて対象物の計数率を測定するとともに、計算で「測定領域」内において計数率が最も小さい小領域(低感度位置：応答関数が小さい場所)から順に小領域あたりの放射エネルギーを割り当てていき、計算値(計数率)が測定値(計数率)と等しくなる又は超える時までの累積放射エネルギーを「測定領域」の総放射エネルギー (Bq) とする。
- ・小領域内の放射能分布は、低圧車軸が回転体であること、除染(ブラスト除染)を施してあり除染後の汚染は均一であるとみなすことができると評価するが、更なる裕度の観点から、応答関数が最も小さい位置(低感度位置)に放射エネルギーが集中しているとして応答関数 (s^{-1}/Bq) を設定する。
- ・これにより、測定した計数率に対応する放射エネルギーを求めることができる。
- ・実際には、計算で割り当てた全ての小領域にそれだけの放射エネルギーが有るとは限らないので、保守的に放射エネルギーを評価することになる。

(添付 5) 図-2 放射エネルギーの測定・評価方法の概要(2/2)

簡易的に 2 次元体系で示した測定体系 (イメージ) を下図に示す。



上記測定体系における各評価モデルの放射能分布を下表に示す。
各セルが小領域、ハッチングが放射能の有無 (濃度) を表している。

表 放射能分布の種類

ケース A	ケース B	ケース C (本申請外)
適用評価単位 ケース B 以外	適用評価単位 No.4, 6, 20, 22	適用評価単位 (なし)
<ul style="list-style-type: none"> • 応答関数が最も小さい位置に汚染が集中していると設定する。 • 過大評価である。 	<ul style="list-style-type: none"> • 計算で測定値 (s⁻¹) を再現するまで、応答関数が小さい位置 (過大評価となる位置) から順に小領域あたりの放射エネルギーを割り当てていき、計算値 (s⁻¹) が測定値 (s⁻¹) と同じか上回るまで割り当て、そこまでの累積放射エネルギーを「測定単位」の放射エネルギーとする。 • 適度な保守性をもった評価になる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 均一な汚染分布を設定する。 • 実際の汚染分布はこれに近いと推定するので現実的な評価に近いと考えられるが、均一であることの確認が困難である。

(添付 5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (1/9)

放射能換算係数の設定に必要なパラメータを以下に示す。

1. 放射線測定装置毎の共通事項を以下に示す。

(1) Ge 半導体検出器

項目	設定内容
検出器の距離	<ul style="list-style-type: none">・ 検出器の位置は、測定領域が$\pm 60^\circ$ 以内の検出器の視野に含まれるように設定する。・ 距離は検出器中心で定義するため、Ge 半導体検出器保護ケース表面と検出器中心までの距離 44mm を含む。

(2) NaI シンチレーションサーベイメータ

項目	設定内容
検出器の距離	<ul style="list-style-type: none">・ 検出器の位置は、測定領域が$\pm 135^\circ$ 以内の検出器の視野に含まれるように設定する。・ 距離は検出器中心で定義するため、NaI シンチレーションサーベイメータ表面と検出器中心までの距離 20mm を含む。

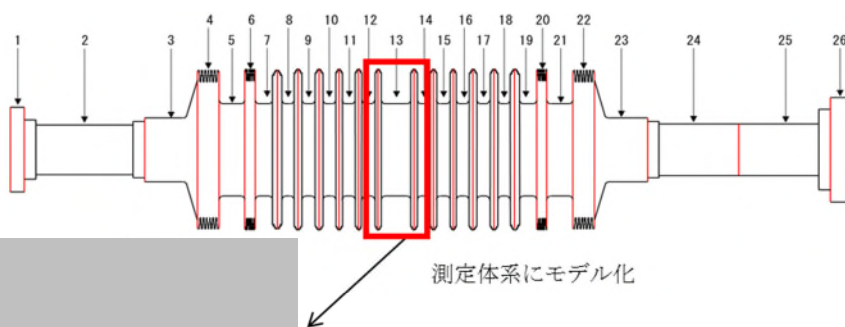
2. 「測定領域」の形状に応じて下記 8 種類に分類し、パラメータの設定例を次頁以降に示す。

- (1) 段間 (第 7-7 段間の例)
- (2) 軸受部 (カップリング部の例)
- (3) カップリング平坦部
- (4) 中心孔
- (5) 翼取付部 (第 14 段フォーク部の例)
- (6) 小穴 (押しボルト用穴の例)
- (7) 大穴 (第 7 段通気穴の例)
- (8) 切り溝 (カップリング部の切り溝の例)

(添付 5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (2/9)

(1) 段間 (第 7-7 段間の例)

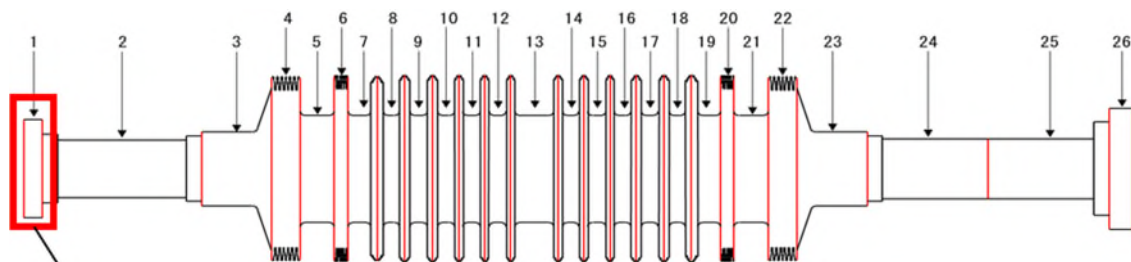
Ge 半導体検出器を用いて段間を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合の例 (「評価単位」 No.13) を以下に示す。



(添付5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (3/9)

(2) 軸受部 (カップリング部の例)

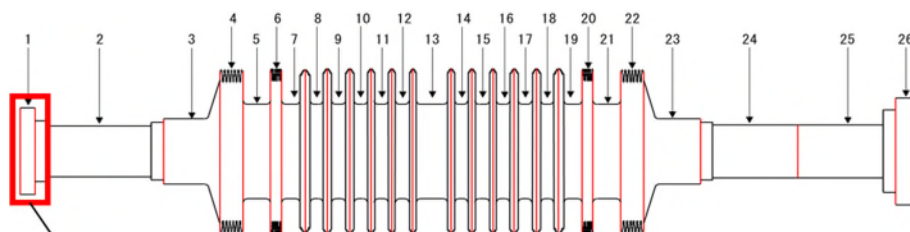
Ge 半導体検出器を用いて軸受部 (カップリング部) を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合の軸受部の例 (「評価単位」 No.1) を以下に示す。



(添付5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (4/9)

(3) カップリング平坦部

Ge 半導体検出器を用いてカップリング平坦部を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合のカップリング平坦部の例(「評価単位」No.1)を以下に示す。

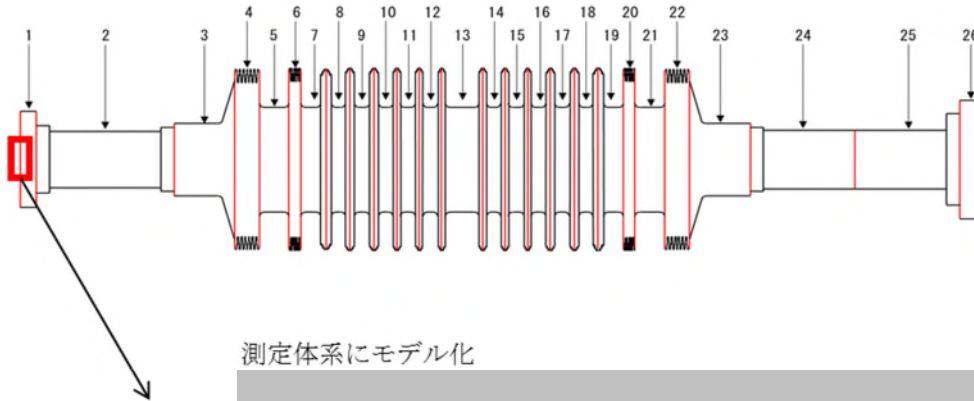


測定体系にモデル化

(添付5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (5/9)

(4) 中心孔

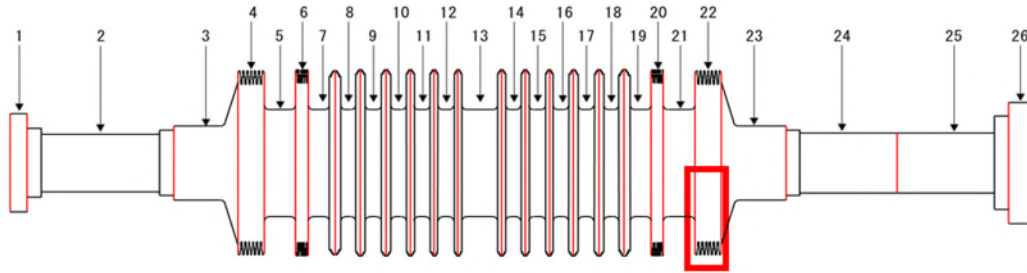
Ge 半導体検出器を用いて中心孔を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合の中心孔の例 (「評価単位」 No.1) を以下に示す。



(添付5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (6/9)

(5) 翼取付部 (第14段フォーク部の例)

Ge 半導体検出器を用いて低圧車軸を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合の翼取付部の例 (第14段フォーク部, 「評価単位」No.22) を以下に示す。

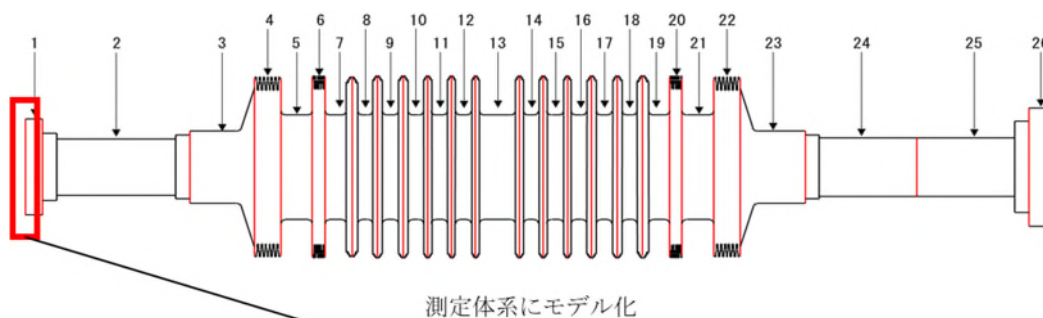


測定体系にモデル化

(添付5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (7/9)

(6) 小穴 (押しボルト用穴の例)

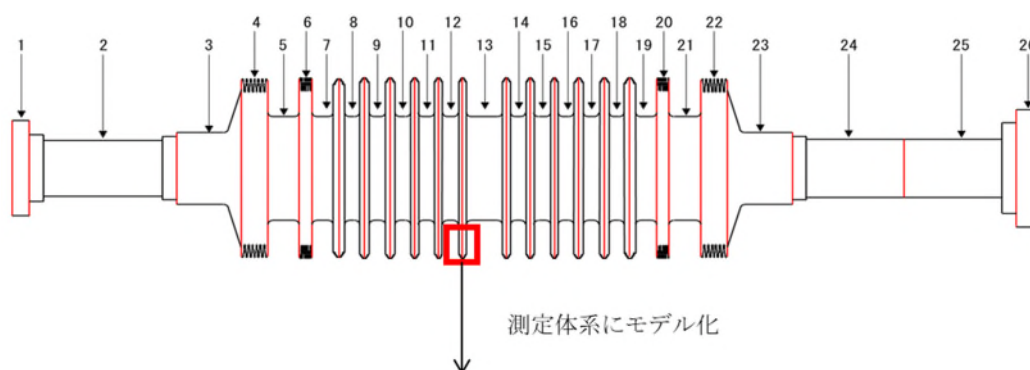
NaI シンチレーションサーベイメータを用いて低圧車軸を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合の小穴 (押しボルト用穴) の例 (「評価単位」 No.1) を以下に示す。



(添付5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (8/9)

(7) 大穴 (第7段通気穴の例)

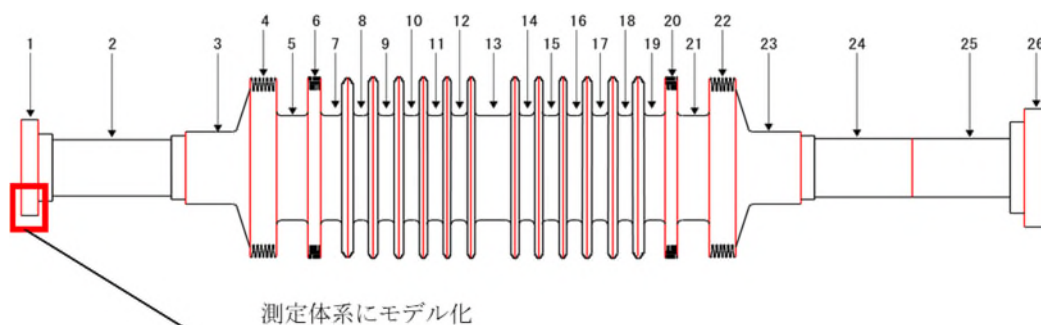
NaI シンチレーションサーベイメータを用いて低圧車軸を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合の大穴 (第7段通気穴) の例 (「評価単位」No.13) を以下に示す。



(添付5) 図-3 放射能換算係数の設定に必要なパラメータ (9/9)

(8) 切り溝 (カップリング部の切り溝の例)

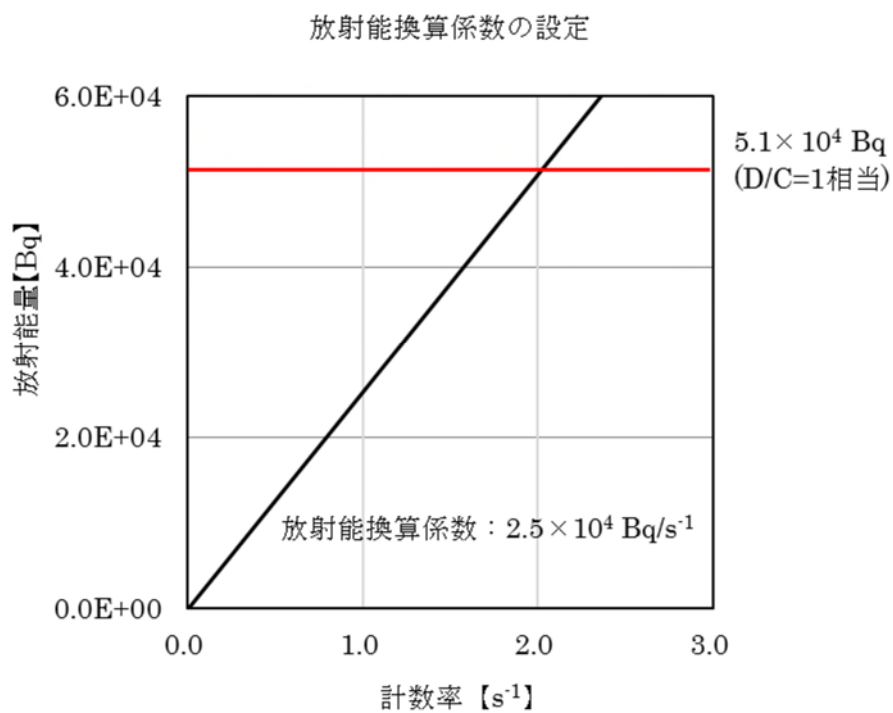
NaI シンチレーションサーベイメータを用いて切り溝を測定する場合の対象物と検出器の間の形状を評価体系にモデル化する場合の切り溝の例 (「評価単位」 No.1) を以下に示す。



(添付 5) 図-4 放射能換算係数の設定例 (ケース A) (1/2)

(1) 放射能換算係数 (ケース A) の設定例 (Ge 半導体検出器)

このケースの例として、「評価単位」No. 13 (このうち第 7-7 段間部分) の条件設定及び放射エネルギーと計数率との関係図を以下に示す (「(添付 5) 図-3」参照)。



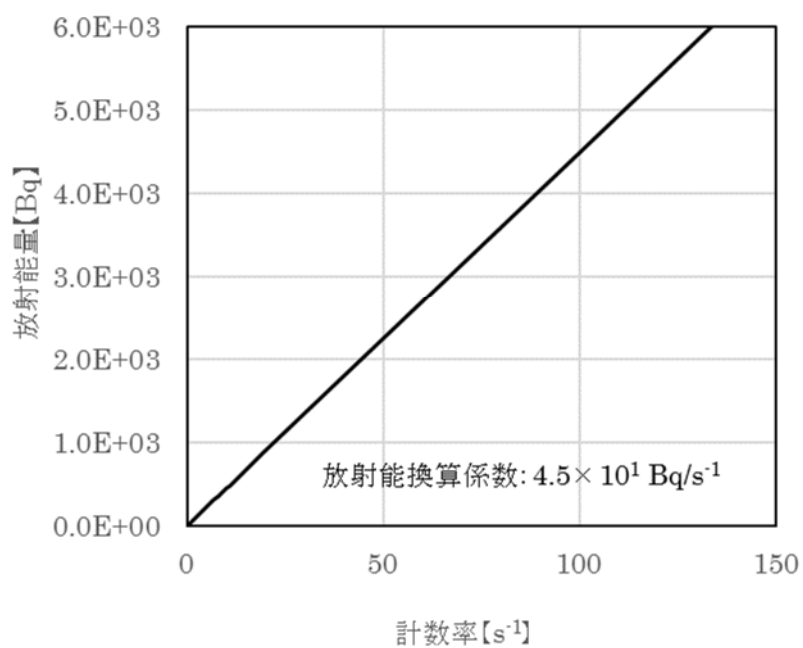
(添付 5) 図-4 放射能換算係数の設定例 (ケース A) (2/2)

(2) 放射能換算係数 (ケース A) の設定例 (NaI シンチレーションサーベイメータ)

このケースの例として, 「評価単位」 No. 13 (このうち第 7 段の通気穴部分) の条件設定及び放射エネルギーと計数率との関係図を以下に示す (「添付 5) 図-3」参照)。



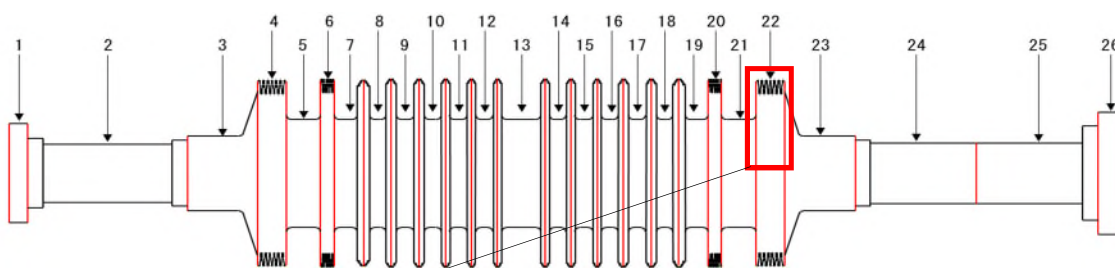
放射能換算係数の設定



(添付 5) 図-5 放射能換算係数の設定例 (ケース B) (1/4)

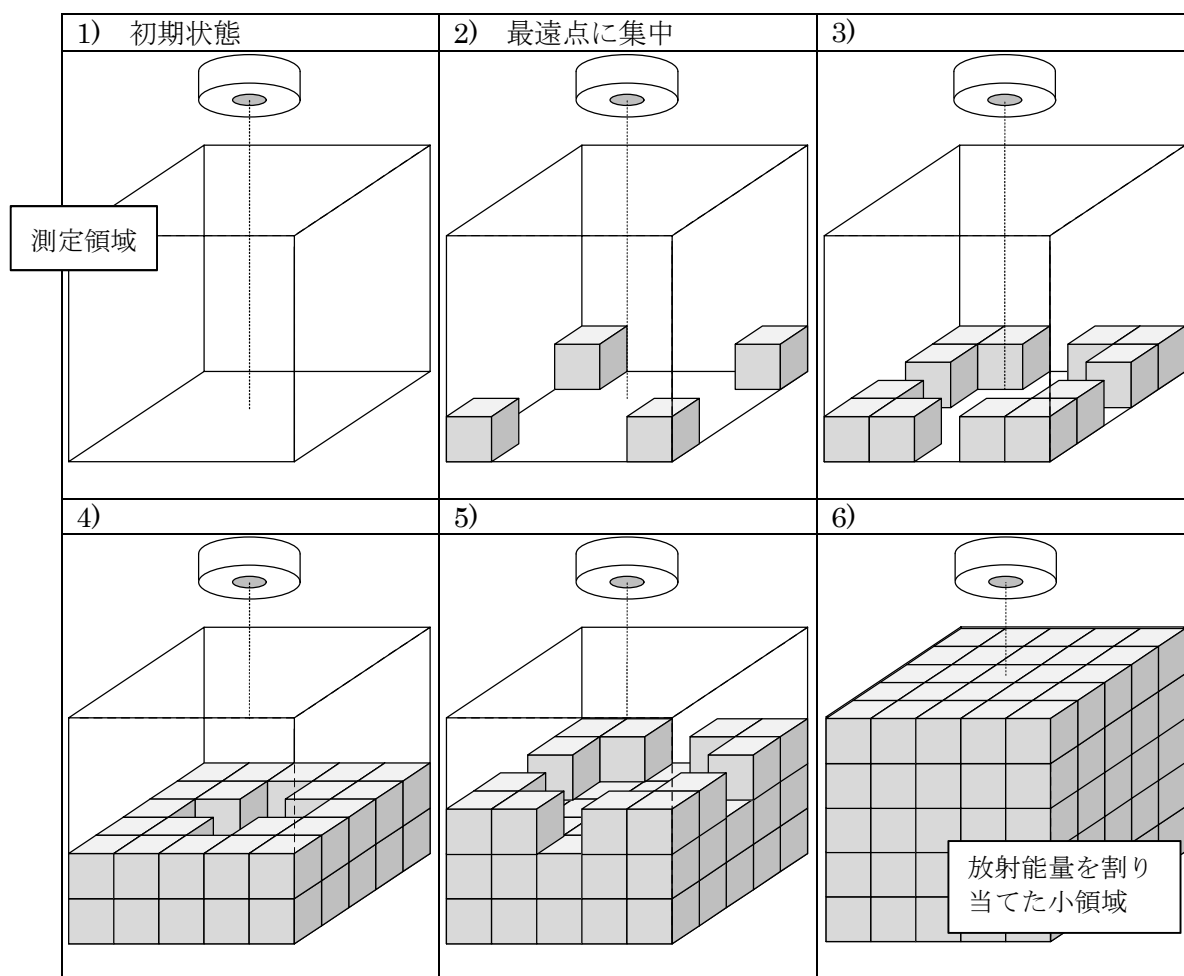
放射能換算係数 (ケース B) の設定例 (Ge 半導体検出器)

- このケースの例として、「評価単位」No. 22 (第 14 段の翼取付部) の条件設定及び放射能換算係数の設定例を示す (「(添付 5) 図-3」参照)。
- 汚染部位の翼取付部 (フォーク部先端) である「測定領域」内を小領域に分割する。その際の「測定領域」の比表面積は下表のとおり。



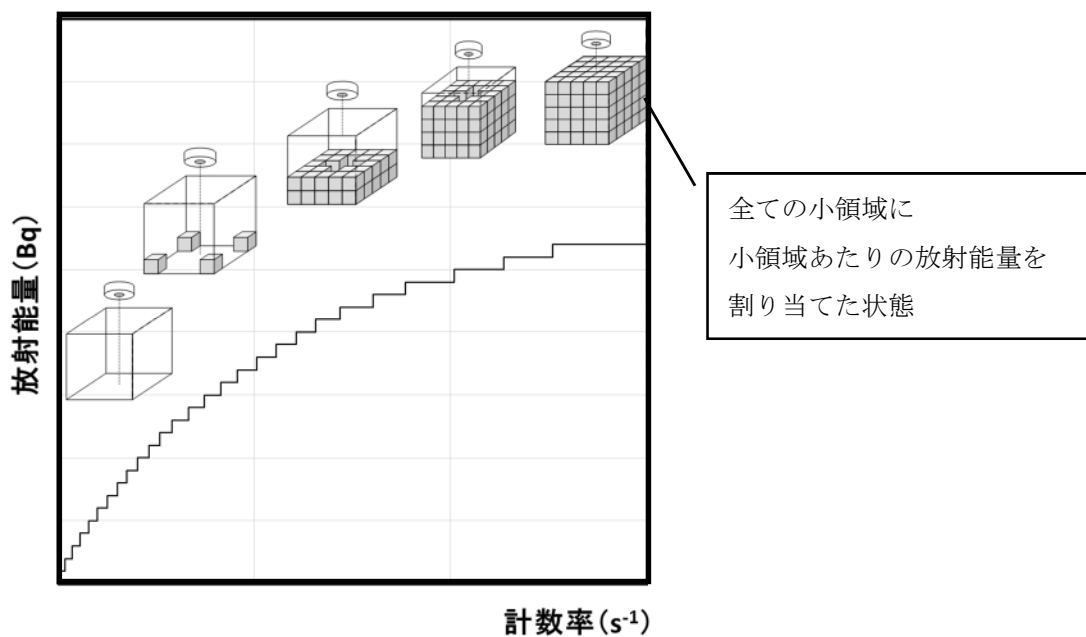
(添付5) 図-5 放射能換算係数の設定例 (ケース B) (2/4)

- ・「測定領域」内における放射能分布の設定イメージを以下に示す。
- ・「測定領域」内における放射能分布は、小領域の応答関数 (s^{-1}/Bq) が小さい順 (検出器からの距離が遠い順) に設定する。下図のイメージは立方体の「測定領域」を図示しているが、放射能換算係数 (ケース B) が対象となる「測定単位」の形状はいずれも扇形である。



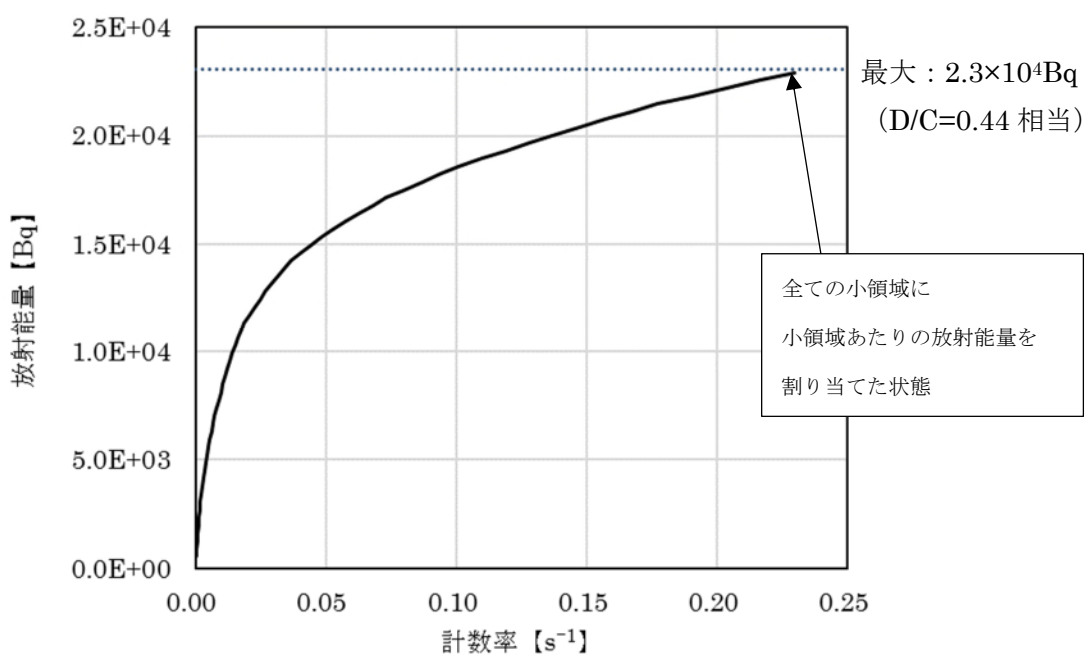
(添付 5) 図-5 放射能換算係数の設定例 (ケース B) (3/4)

- ・「測定領域」内における放射能分布の設定及び放射能換算係数のイメージを以下に示す。
- ・応答関数 (s^{-1}/Bq) が小さい小領域から小領域あたりの放射エネルギーを順次配置した場合の計算値の計数率の変化である。



(添付 5) 図-5 放射能換算係数の設定例 (ケース B) (4/4)

- 放射能換算係数 (ケース B) の設定例 (Ge 半導体検出器) の例として, 「評価単位」 No. 22 (第 14 段の翼取付部) の条件設定及び放射エネルギーと計数率との関係図を以下に示す (「(添付 5) 図-3」参照)。

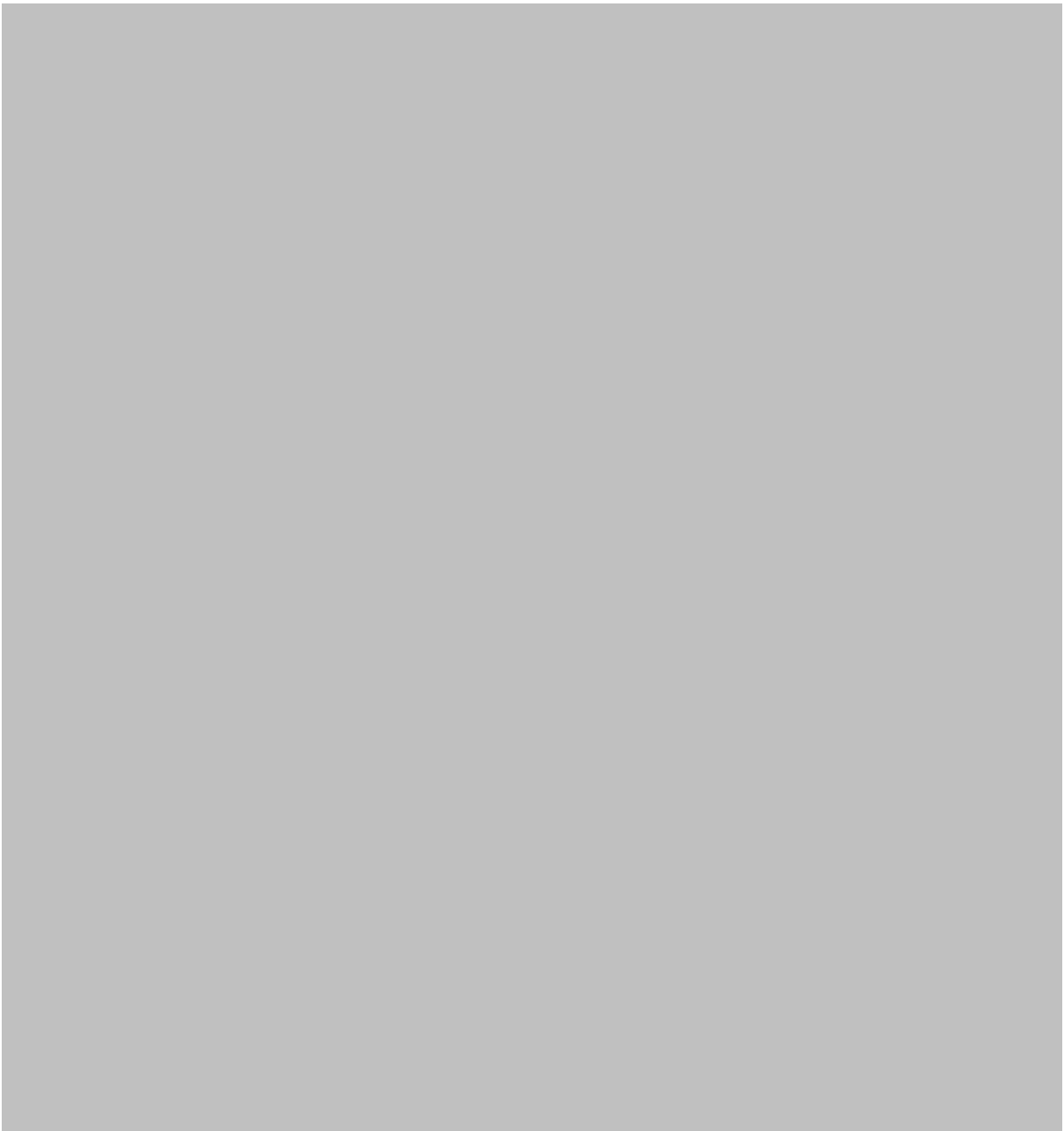


(添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (1/8)

(1) 放射能換算係数 (ケース A) の設定例 (Ge 半導体検出器)

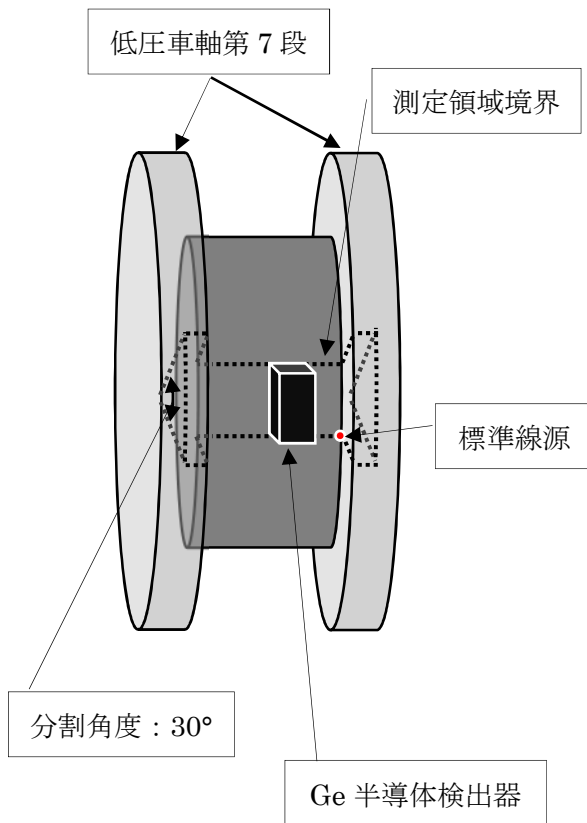
<目的>

- ・「評価単位」No. 13 を構成する「測定領域 (1)」の最遠点に標準線源を設置し、放射エネルギー (Bq) と放射線測定装置の計数率 (s^{-1}) との関係を測定し評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーの測定方法の妥当性を確認する。



(添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (2/8)

<線源試験概略図>



①測定領域の中央と Ge 半導体検出器中心との距離が 844mm となるよう設置。

②測定領域の中で、検出器中心から最も遠い点に標準線源を設置(距離 899mm)。

- ・最遠点に標準線源を配置した放射線測定装置による測定結果(計数率)は最小となり、逆に最近点に標準線源を配置すると測定結果(計数率)は最大となる。

- ・放射能濃度 (Bq/g) は、計数率 (s^{-1}) に放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) を乗じて放射エネルギー (Bq) を算出し、「測定単位」の重量 (g) で除すことにより求める。したがって、計数率が最小となる配置での放射能濃度は最小となる。

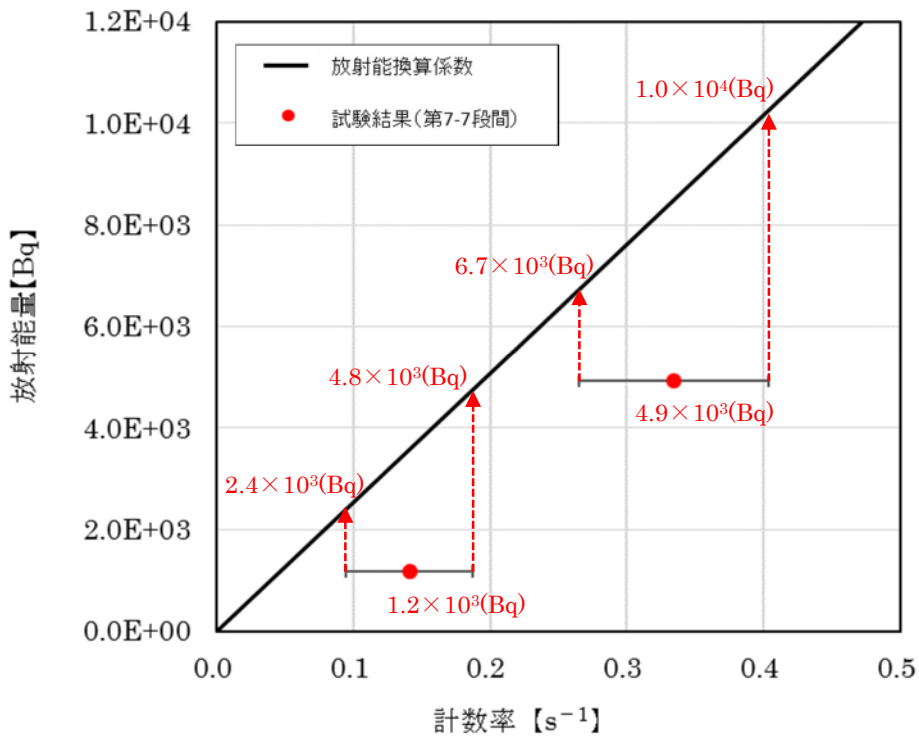
- ・したがって、最遠点に標準線源を配置することは、放射能濃度測定値が最小となるような線源配置である。本申請書に記載したその他の線源試験も同様である。

(添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (3/8)

<結果>

- ・「評価単位」No.13 を構成する「測定領域 (1)」の最遠点に標準線源を配置して Ge 半導体検出器で測定した結果を図-1 に示す。
- ・測定値 (計数率) は, 標準線源の放射エネルギー (Bq) の位置 (●印) を中心に計数率の不確かさ ($\pm 2\sigma$) を横軸方向にエラーバーで表記してある。

図-1 試験結果 (第 7-7 段間)



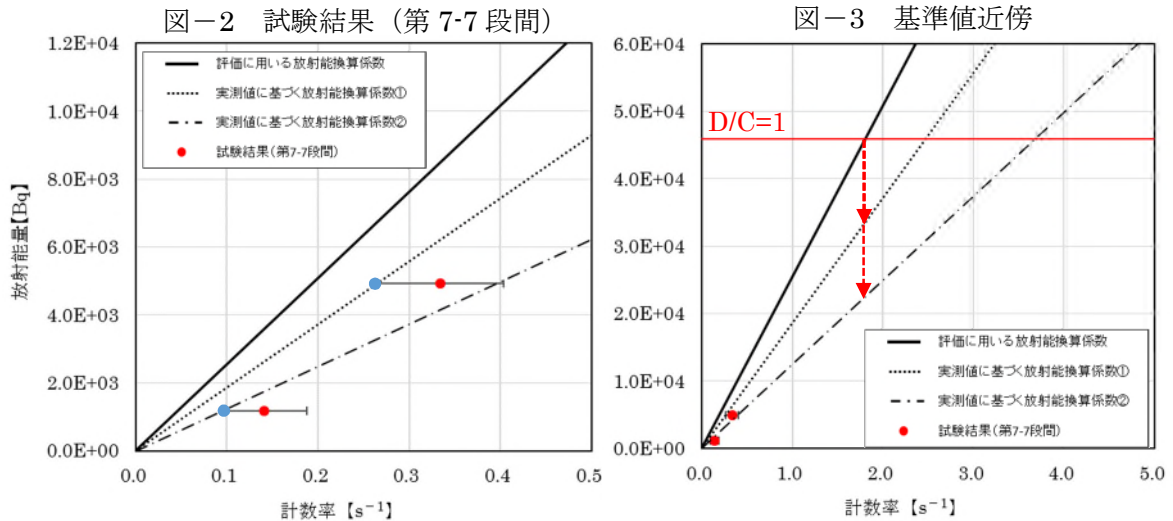
<計数率の不確かさを考慮しても保守的な評価になることの確認>

- ・放射能換算係数は, エラーバーの両端を上回る位置にあることから, 測定値 (計数率) に相当する放射エネルギーを放射能換算係数から求めて標準線源の放射エネルギーと比較すると, エラーバーを含めても標準線源の放射エネルギーを測定結果が上回ることを確認した。

(添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (4/8)

<基準値近傍においても適切に測定評価できることの確認>

- 放射能換算係数 (ケース A) は、応答関数が最も小さい位置に汚染が集中するとして評価モデルであり、計数率と放射エネルギーは一次関数の比例関係である。基準値近傍の放射エネルギーに相当する計数率であれば、放射線測定装置の測定性能の範囲内であり、測定可能であることから、計数率と放射エネルギーの一次関数の比例関係は維持すると判断した。
- したがって、上記より基準値近傍においても放射エネルギーを適切に評価できるが、基準値近傍においても、上記と同様な評価結果となるか、以下のとおり評価した。
- 計数率の不確かさを考慮し、測定した計数率から 2σ 小さい値 (図-2 の●印) を用いて「実測値に基づく放射能換算係数①及び②」(「標準線源の強度」/「測定した計数率から 2σ 小さい値」, Bq/s^{-1}) を算出した。



- 試験結果 (図-2) を基に、基準値近傍における測定性能を表現したグラフを図-3 に示す。
- 基準値 ($D/C=1$) に相当する放射エネルギーは $4.6 \times 10^4 \text{ Bq}$ であり、計数率は「評価に用いる放射能換算係数」から 1.8 s^{-1} となる。
- 1.8 s^{-1} に対応する「放射能換算係数①, ②」から算出した放射エネルギーは、 $3.4 \times 10^4 \text{ Bq}$, $2.3 \times 10^4 \text{ Bq}$ であり、いずれも $4.6 \times 10^4 \text{ Bq}$ よりも小さい。
- 以上より、基準値近傍においても適切に評価できるものであることを確認した。

(添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (5/8)

(2) 放射能換算係数 (ケース A) の設定例 (NaI シンチレーションサーベイメータ)

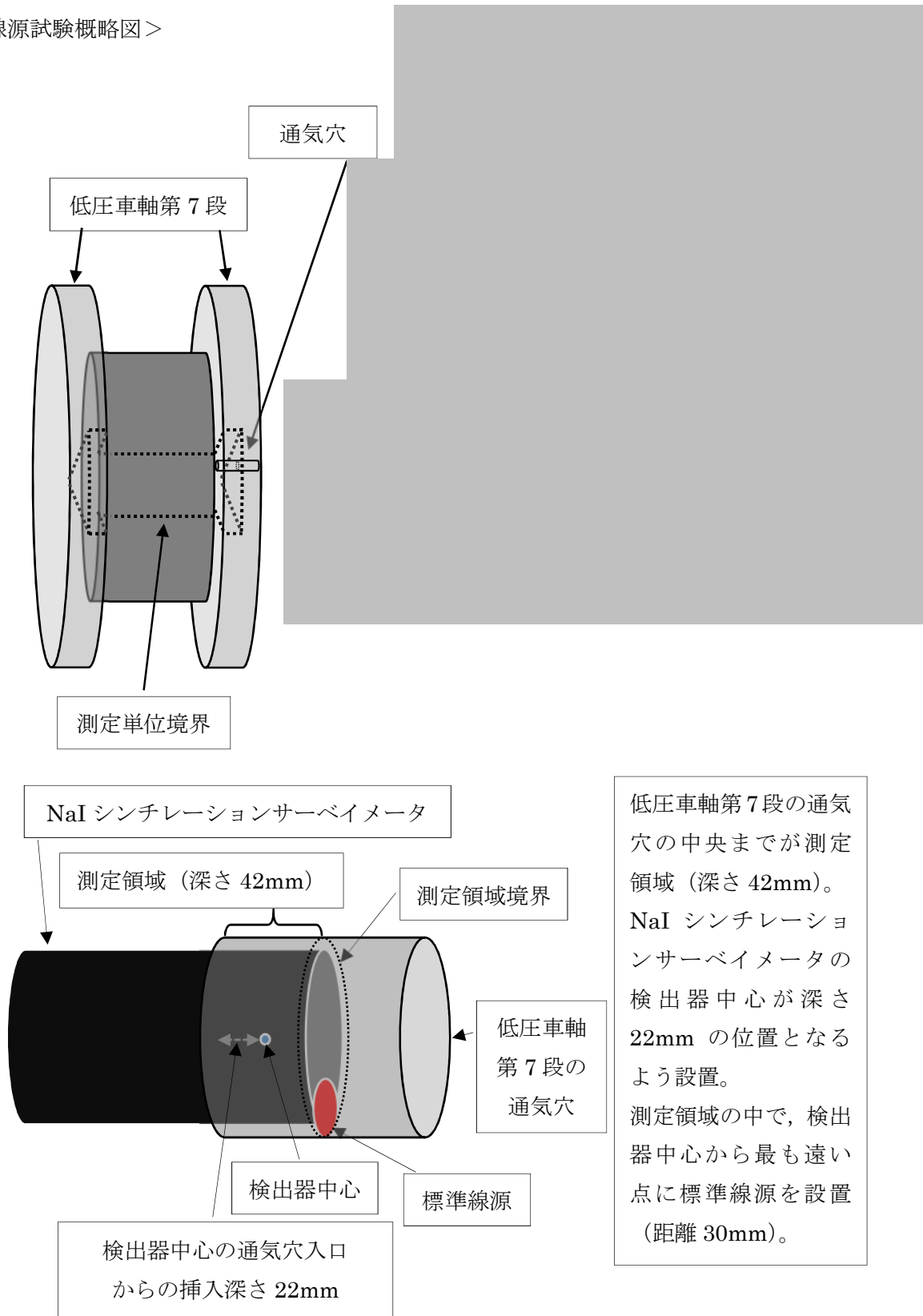
<目的>

- ・「評価単位」 No. 13 を構成する「測定領域 (2)」の最遠点に標準線源を設置し、放射エネルギー (Bq) と放射線測定装置での計数率 (s^{-1}) との関係を測定し評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーの測定方法の妥当性を確認する。



(添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (6/8)

<線源試験概略図>

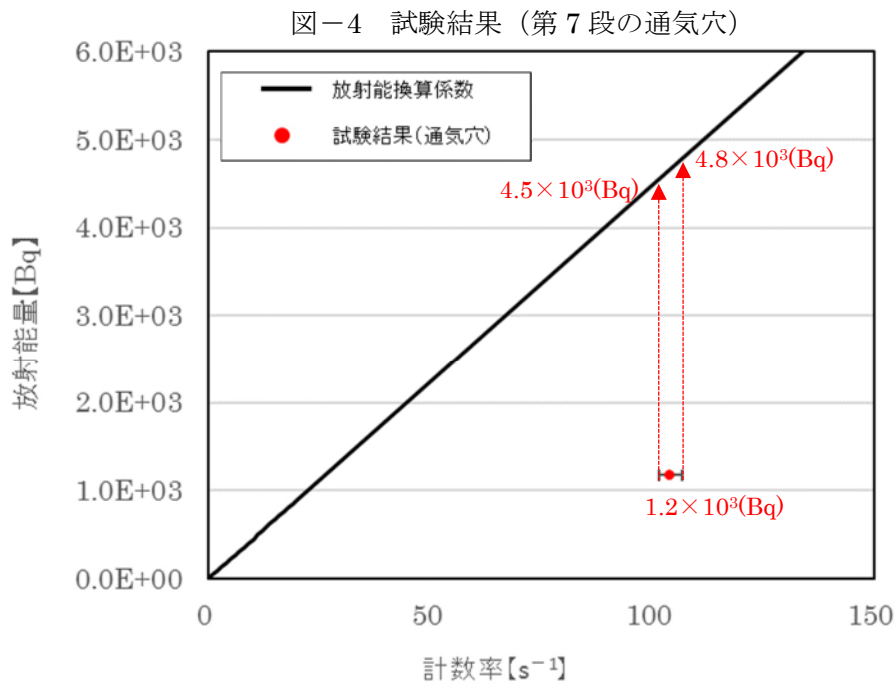


低圧車軸第 7 段の通気穴の中央までが測定領域 (深さ 42mm)。NaI シンチレーションサーベイメータの検出器中心が深さ 22mm の位置となるよう設置。測定領域の中で、検出器中心から最も遠い点に標準線源を設置 (距離 30mm)。

(添付5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (7/8)

<結果>

- ・「評価単位」No.13を構成する「測定領域(2)」の最遠点に標準線源を配置してNaIシンチレーションサーベイメータで測定した結果を図-4に示す。
- ・測定値(計数率)は、標準線源の放射エネルギー(Bq)の位置(●印)を中心に計数率の不確かさ($\pm 2\sigma$)を横軸方向にエラーバーで表記してある。



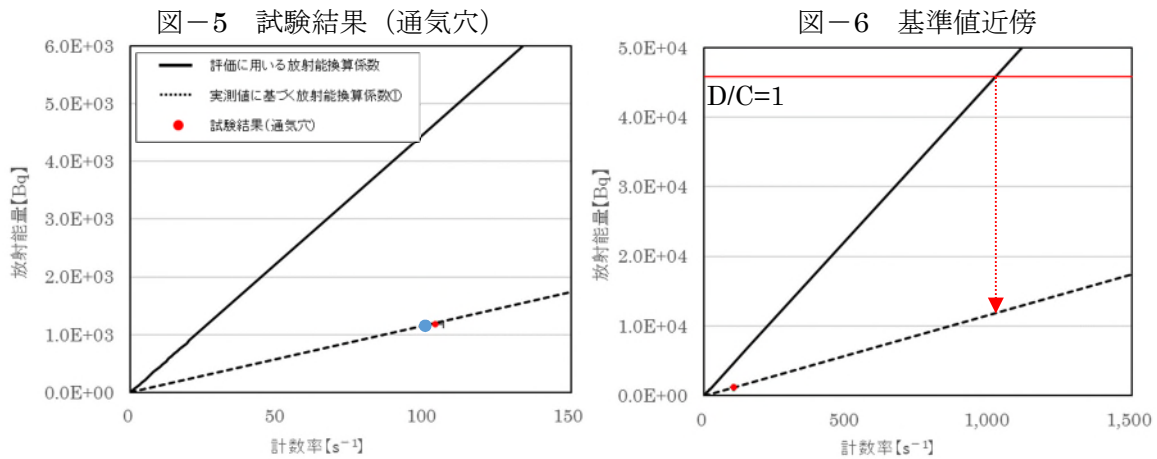
<計数率の不確かさを考慮しても保守的な評価になることの確認>

- ・放射能換算係数は、エラーバーの両端を上回る位置にあることから、測定値(計数率)に相当する放射エネルギーを放射能換算係数から求めて標準線源の放射エネルギーと比較すると、エラーバーを含めても標準線源の放射エネルギーを測定結果が上回ることを確認した。

(添付 5) 図-6 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース A) (8/8)

<基準値近傍においても適切に測定評価できることの確認>

- ・放射能換算係数 (ケース A) は、応答関数が最も小さい位置に汚染が集中しているとした評価モデルであり、計数率と放射エネルギーは一次関数の比例関係である。
- ・したがって、上記より基準値近傍においても放射エネルギーを適切に評価できるが、基準値近傍においても、上記と同様な評価結果となるか、以下のとおり評価した。
- ・計数率の不確かさを考慮し、測定した計数率から 2σ 小さい値 (図-5 の●印) を用いて「実測値に基づく放射能換算係数①」(「標準線源の強度」/「測定した計数率から 2σ 小さい値」, Bq/s^{-1}) を算出した。



- ・試験結果 (図-5) を基に、基準値近傍における測定性能を表現したグラフを図-6 に示す。
- ・基準値 ($D/C=1$) に相当する放射エネルギーは $4.6 \times 10^4 \text{ Bq}$ であり、計数率は「評価に用いる放射能換算係数」から $1.0 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ となる。
- ・ $1.0 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ における「実測値に基づく放射能換算係数①」から算出した放射エネルギーは、 $1.2 \times 10^4 \text{ Bq}$ であり、 $4.6 \times 10^4 \text{ Bq}$ よりも小さい。
- ・以上より、基準値近傍においても適切に評価できるものであることを確認した。

(添付 5) 図-7 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース B) (1/3)

(1) 放射能換算係数 (ケース B) の設定例 (Ge 半導体検出器)

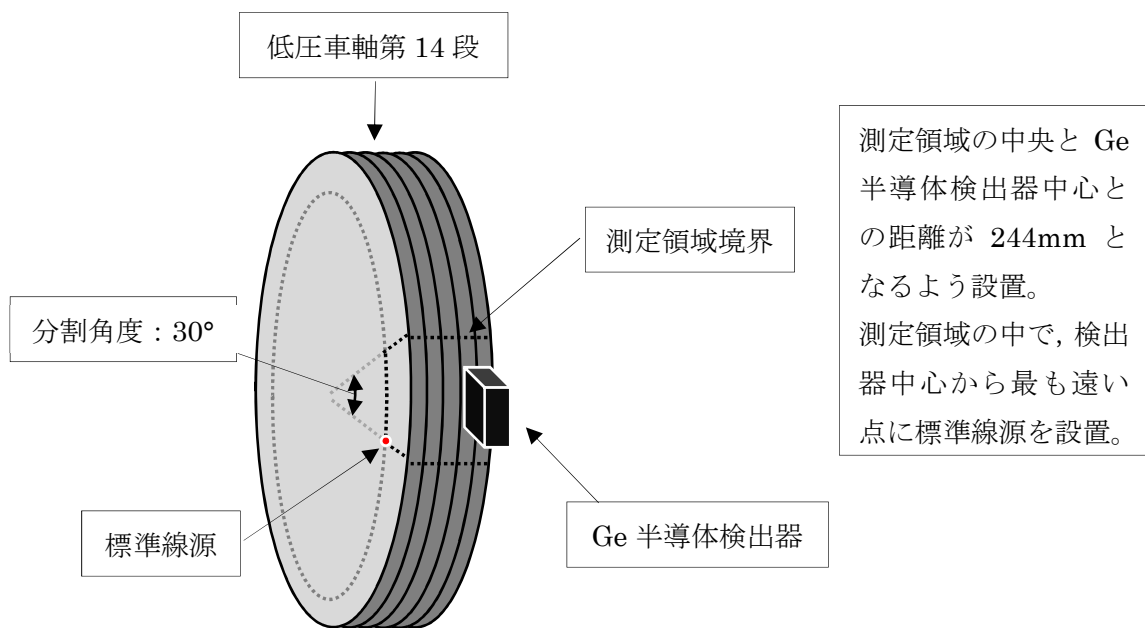
<目的>

- ・「評価単位」 No. 22 を構成する「測定領域 (1)」の各小領域と Ge 半導体検出器との遮蔽関係を検討した位置に標準線源を設置し、放射エネルギー (Bq) と放射線測定装置での計数率 (s^{-1}) との関係を確認し、評価対象核種 (^{60}Co) の放射エネルギーの測定方法の妥当性を確認する。



(添付 5) 図-7 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース B) (2/3)

<線源試験概略図>

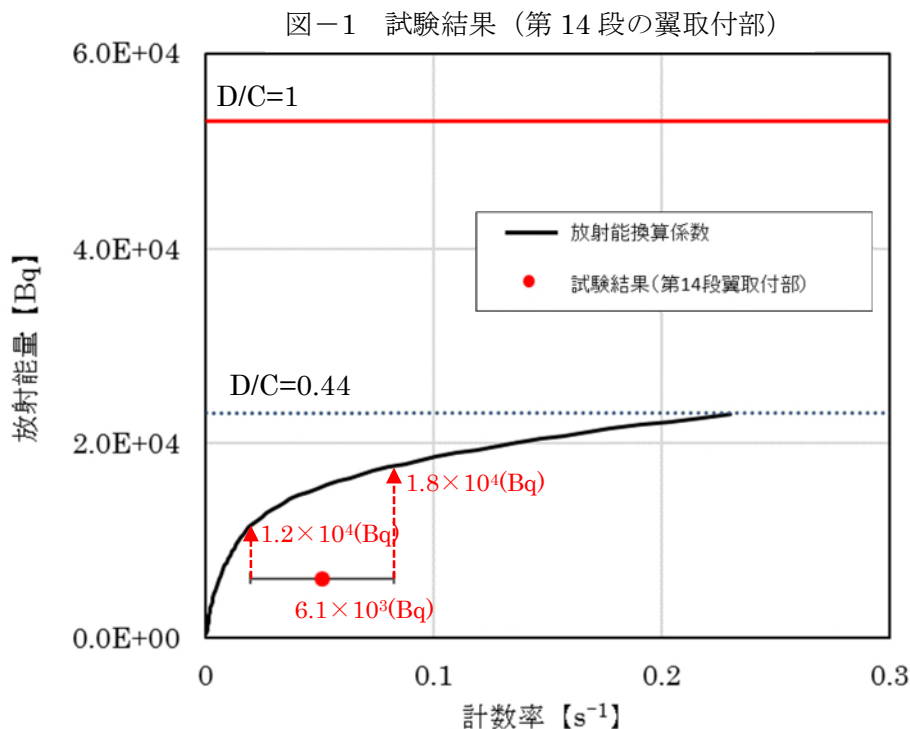


添付図表 5-28

(添付5) 図-7 放射エネルギーの測定方法の妥当性確認 (ケース B) (3/3)

<結果>

- ・「評価単位」No. 22 を構成する「測定領域 (1)」の最遠点に標準線源を配置して Ge 半導体検出器で測定した結果を下図に示す。
- ・測定値 (計数率) は、標準線源の放射エネルギー (Bq) の位置 (●印) を中心に計数率の不確かさ ($\pm 2\sigma$) を横軸方向にエラーバーで表記してある。



<計数率の不確かさを考慮しても保守的な評価になることの確認>

- ・放射能換算係数は、エラーバーの両端を上回る位置にあることから、測定値 (計数率) に相当する放射エネルギーを放射能換算係数から求めて標準線源の放射エネルギーと比較すると、エラーバーを含めても標準線源の放射エネルギーを測定結果が上回ることを確認した。

<基準値近傍においても適切に測定評価できることの確認>

- ・評価上の最大 D/C は 1 に満たないが、これは基準値近傍までの測定評価ができないということではなく、今回の対象物の比表面積が非常に小さいため、表面汚染密度の値を保守的に設定しても 0.44 程度までしか到達しないということであり、それ以上は測定不要ということになる。

(添付5) 表-1 Ge 半導体検出器の計数率の BG 補正(1/2)

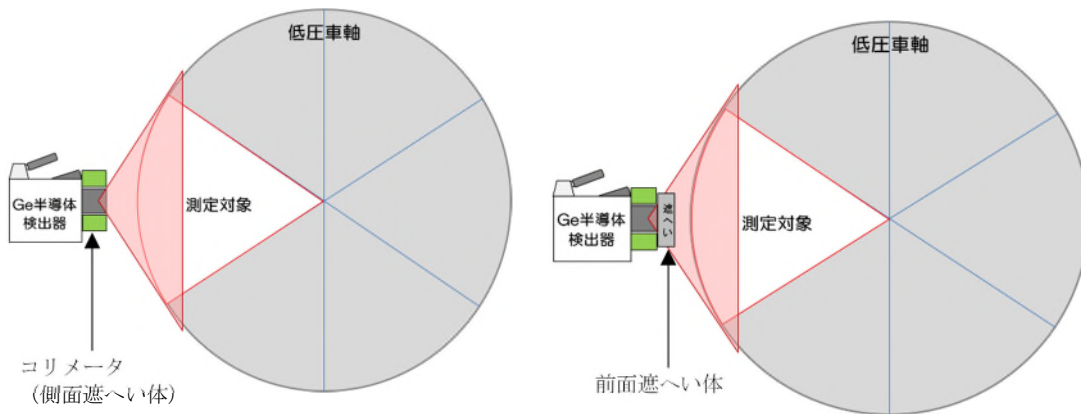
Ge 半導体検出器の測定において、評価対象核種 (^{60}Co) が放出する 1.333MeV の γ 線の計数率 (s^{-1}) が検出限界計数率以上の場合、対象物と Ge 半導体検出器の間に 5.0cm の遮へい体 (鉛) を設置して「測定領域」以外からの γ 線の計数率 (s^{-1}) を測定する。この「測定領域」以外からの γ 線の計数率 (s^{-1}) を m_{Co} とし BG を補正する。遮へい体 (鉛) を検出器の前面に設置するのに要する時間は 5 分程度であるため、評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線を測定後、「測定領域」外からの γ 線を測定するまでの時間は短時間であり、測定場所周辺の放射線環境は変わらないとして扱う。

(1) 測定体系

「測定領域」以外からの γ 線の計数率 (s^{-1}) を測定する際の測定体系を以下に示す。

< 「測定領域」の γ 線測定 >

< 「測定領域」以外からの γ 線測定 >



(2) 遮へい体 (鉛) の透過率

遮へい体 (鉛) を用いた場合の評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線の透過率を式 (1) により求める。

$$\text{透過率} = \exp(-\mu_m \times \rho \times d) \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここで、

- μ_m : 質量減衰係数 (cm^2/g)。鉄の線減衰係数 ($4.13 \times 10^{-1} \text{cm}^{-1}$) ^{※1} を鉄の密度 ($7.85 \text{g}/\text{cm}^3$) ^{※1} で除して求める。
- ρ : 遮へい体 (鉛) の密度 (g/cm^3)。鉛の密度は $11.3 \text{g}/\text{cm}^3$ ^{※2}。
- d : 遮へい体の厚さ (cm)。

※1: 実測値

※2: 「原子炉材料ハンドブック」(日刊工業新聞社)

遮へい体の透過率は下表のとおり、5.0cm の遮へい体 (鉛) の透過率は 0.05 である。

鉛遮へい体の厚さ (cm)	透過率 (-)
1.0	0.55
5.0	0.05

(添付 5) 表-1 Ge 半導体検出器の計数率の BG 補正(2/2)

(3) 「測定領域」以外からの γ 線の計数率 (m_{Co})



「添付書類五」(4. 2 項 : (1) Ge 半導体検出器を用いた測定) の (5-9) 式において、評価に用いる計数率は N_{Ge} と m_{Co} の差により求め、その標準偏差は誤差伝播式より式 (3) となり、(5-9) 式での統計的誤差は 95%片側上限値 (標準偏差 σ_{net} の 1.645 倍) とすることから、統計的誤差を考慮した評価に用いる計数率は「 $(N_{Ge} - m_{Co}) + 1.645\sigma_{net}$ 」となる。

$$\sigma_{net} = \sqrt{\sigma_{NGe}^2 + \sigma_{mCo}^2} \quad \dots \text{式 (3)}$$

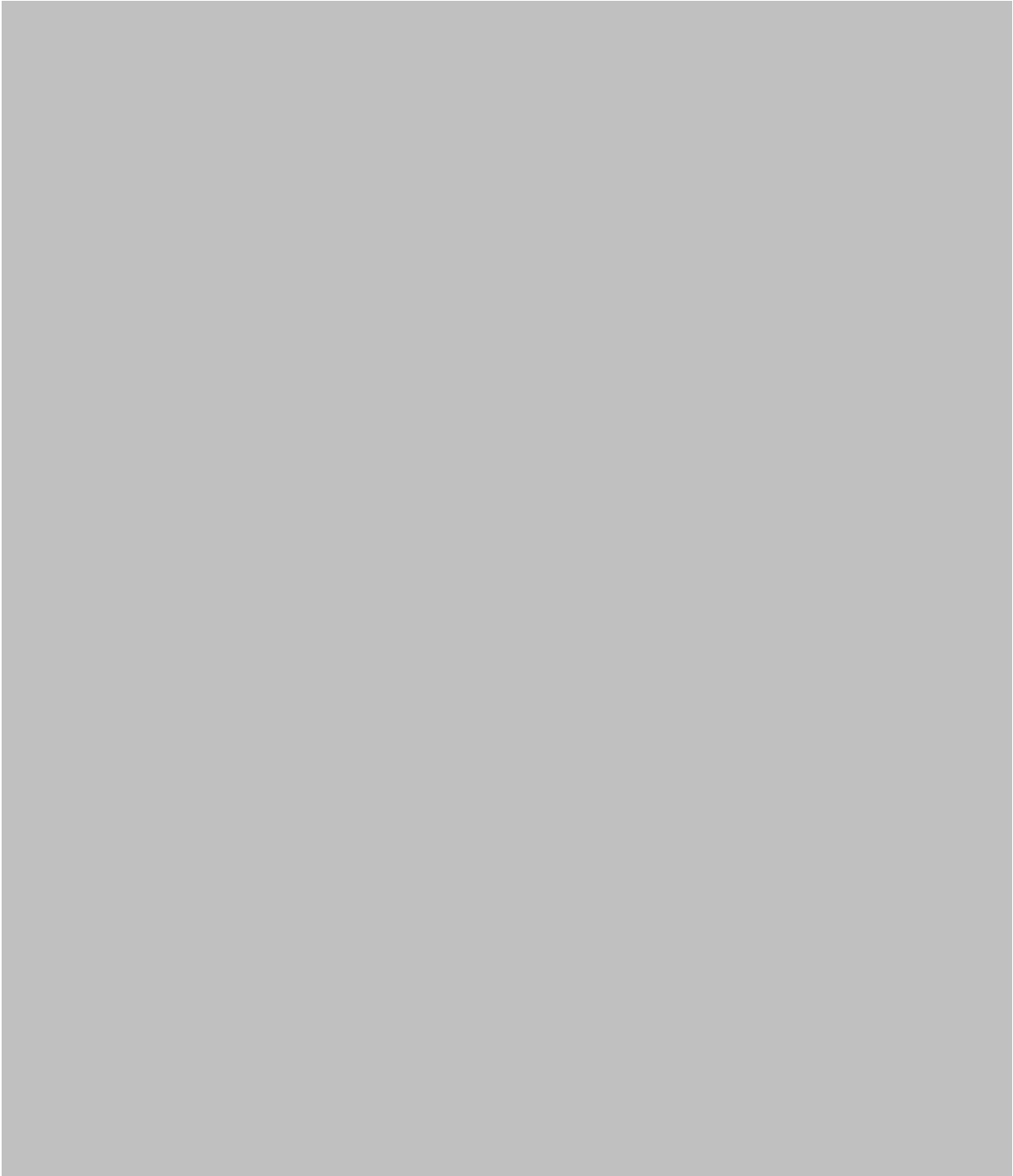
ここで、

- σ_{net} : 評価に用いる計数率 ($N_{Ge} - m_{Co}$) の標準偏差。
- σ_{NGe} : 測定時における評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線の計数率 (N_{Ge}) の標準偏差。
- σ_{mCo} : 「測定領域」以外から放出される評価対象核種 (^{60}Co) の γ 線の計数率 (m_{Co}) の標準偏差。

(添付 5) 表-2 NaI シンチレーションサーベイメータの計数率(1/3)

1. 評価に用いる計数率 (NaI シンチレーションサーベイメータ)

NaI シンチレーションサーベイメータを用いた測定では、測定したグロス計数率にバックグラウンドが含まれる。本申請では評価対象核種 (^{60}Co) の計数率 (正味計数率) にバックグラウンド計数率を加えたグロス計数率を評価に用いる計数率とする。



(添付 5) 表-2 NaI シンチレーションサーベイメータの計数率(2/3)



(添付 5) 表-2 NaI シンチレーションサーベイメータの計数率(3/3)



(添付 5) 表-3 対象物のモデル化による不確かさ(1/2)

評価単位毎の「重量」は、対象物の寸法測定結果を用いてモデル化し、その形状を基に算出することから、不確かさがあるものとして扱う。具体的には下表のとおり、不確かさを整理した。

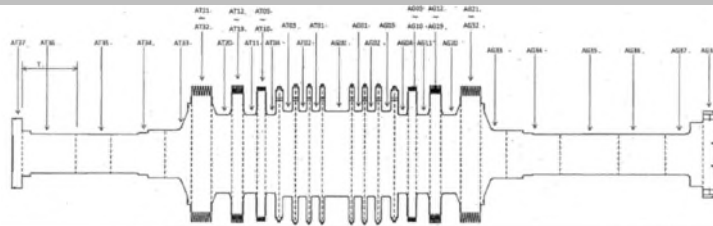
(1) 「重量」の算出に伴う不確かさ

No.	不確かさの項目	内容	不確かさの度合い
1	重量		

(添付5) 表-3 対象物のモデル化による不確かさ(2/2)

(2) 形状をモデル化した部位の表面積及び体積の測定値と設計値の比較

- ・ 浜岡5号炉低圧タービンロータ車軸(A)～(C)の「形状をモデル化して測定した表面積及び体積(①測定値)」と「設計時のデータの表面積及び体積(②設計値)」を比較した結果、の範囲の差異があった。3軸とも同じ傾向であり、低圧タービンロータ車軸(A)の値を以下に示す。



<補足>

- ・ ①測定値及び②設計値は端数処理してあり、比率(①/②)を計算しても合わないことがある。
- ・ 車軸全体の体積と車軸の密度(7.85g/cm³)を用いて重量を計算すると、①,②ともに145トンとなる。

(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (1/10)

低圧車軸の構造及び汚染状況から、サンプリング測定を採用し、「評価単位」を構成する代表「測定単位」の放射能濃度を基に「評価単位」の放射能濃度を決定する。放射能濃度は、「放射エネルギー」を「重量」で除して算出する。

「放射エネルギー」を求める際の不確かさとして、放射線測定値、測定効率、測定条件及びデータ処理に起因する不確かさを考慮する。具体的には、「重量設定」、「放射能換算係数の設定」、「評価対象核種 (^{60}Co) の計数率」及び「その他の測定条件の設定」において以下のとおり不確かさを考慮する。

- ・「重量」は、その設定に必要な「体積」の設定に不確かさがあるものとして、重量の設定を行う。

- ・「放射能換算係数」に関しては、以下の 3 ケースを代表例として、不確かさの度合いを算出する。

放射能換算係数	放射線測定装置	代表例
ケース A	Ge 半導体検出器	低圧車軸 (B) 第 7-7 段間
	NaI シンチレーションサーベイメータ	低圧車軸 (B) 第 7 段の通気穴
ケース B	Ge 半導体検出器	低圧車軸 (B) 第 14 段翼取付部

- ・「評価対象核種 (^{60}Co) の計数率」は、測定した計数率に不確かさがあるものとして放射能濃度を評価する。
- ・その他、放射能濃度の決定に必要な「狭隘部の放射エネルギー」及び「検出限界値」に不確かさがあるものとして測定条件を設定する。

測定及び評価の方法が、上記で抽出した不確かさを考慮して、どの程度保守的になっているか、以下のとおり確認した。

(添付5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (2/10)

(1) 重量設定

No.	不確かさの項目	内容	不確かさの度合い
1	代表「測定単位」の選定	・「評価単位」を構成する「測定単位」のうち「測定領域」の数が最大の「測定単位」を代表「測定単位」に選定する。	—
2	形状のモデル化		

(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (3/10)

(2) 放射能換算係数の設定の不確かさ

代表例 3 ケースの不確かさの度合いは、不確かさを考慮した本申請の評価値（後述の一覧表の a の値）を基に、不確かさの各項目に着目し、放射エネルギーの比を算出する。

(1/4)

No.	不確かさ の項目	内容	不確かさ の度合い
1			
2			

(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (4/10)

(2/4)

No.	不確かさ の項目	内容	不確かさ の度合い
3			
4			

(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (5/10)

(3/4)

No.	不確かさ の項目	内容	不確かさ の度合い
5			
6			

(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (6/10)

(4/4)

No.	不確かさ の項目	内容	不確かさ の度合い
7			



(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (7/10)

・放射能換算係数 (ケース A) の不確かさの度合いの一覧表



(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (8/10)

・放射能換算係数 (ケース B) の不確かさの度合いの一覧表



(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (9/10)


(3) 評価対象核種 (^{60}Co) の計数率の不確かさ

No.	不確かさの項目	内容	不確かさの度合い
1	評価に用いる評価対象核種 (^{60}Co) の計数率		

(添付 5) 表-4 放射能濃度の決定における不確かさ (10/10)

(4) その他の測定条件の設定の不確かさ

No.	不確かさ の項目	内容	不確かさ の度合い
1			
2			



添付書類 六

放射線測定装置の選択及び測定条件の設定
に関する説明

放射線測定装置の選択及び測定条件の設定に関する説明

1. 放射線測定装置の選択

- ・放射能濃度の測定に使用する放射線測定装置は、対象物の形状、材質、「評価単位」、汚染の状況に応じた適切なものを選択し、測定効率が適切に設定されている放射線測定装置とする。
- ・評価対象核種 (^{60}Co) は γ 線を放出する核種であり、 γ 線を測定すること及び対象物が複雑な形状でないことから、放射線測定装置は直接表面汚染を測定できる汎用の Ge 半導体検出器又は NaI シンチレーションサーベイメータを用いる。
- ・原則として ^{60}Co が放出する γ 線測定によく用いられる汎用の Ge 半導体検出器を用いることとし、「添付書類五」(3. 項 放射能濃度の決定方法) に記載のとおり、代表「測定単位」の中で低圧車軸のカップリング穴等の Ge 半導体検出器が近接できない箇所は汎用の NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定するが、NaI シンチレーションサーベイメータが近接できない狭隘部は表面汚染密度の代表値を用いて当該箇所の放射エネルギーとする。
- ・表面汚染密度の測定には、汎用の GM 管式サーベイメータ又はプラスチックシンチレーション式サーベイメータを用いる。
- ・「測定領域」の放射エネルギー測定に用いる Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータの主要な仕様は「(添付 6) 図-1」に示すとおりである。
- ・表面汚染密度の測定に使用する GM 管式サーベイメータ及びプラスチックサーベイメータの主要な仕様は「(添付 6) 表-1」に示すとおりである。
- ・放射線測定装置の仕様に関わるパラメータは、「(添付 6) 表-2」に示すとおり、標準線源を使用した測定により適切に設定してあることを確認した。

2. 放射線測定装置の測定条件

2. 1 Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータを用いた測定及び測定条件

- ・Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータを用いた測定では、低圧車軸と放射線測定器を回転又は移動させ、「測定領域」が放射線測定器の測定範囲に入るようそれぞれの位置を設定して計数率 (Ge 半導体検出器の場合は 1.333MeV の γ 線) を測定する。

- ・対象物と放射線測定器の位置関係が所定の位置にあることを確認及び記録するとともに、実際の測定条件が放射能換算係数を計算した測定条件の範囲内になるように管理する。
- ・測定で得られた計数率を基に評価対象核種 (^{60}Co) の放射能濃度を求める方法は、「添付書類五」(3. 項 放射能濃度の決定方法) に記載のとおりである。
- ・測定条件は、基準値(代表「測定単位」の D/C (^{60}Co) が 1) 以下であることを測定できるように設定する。
- ・Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータの測定条件として、「(添付 6) 図-1」に示すとおり、検出限界値、測定時間等を考慮する。

2. 1. 1 検出限界値

(1) Ge 半導体検出器

- ・Ge 半導体検出器の検出限界値は、計数率の統計的誤差を考慮しても基準値以下であることの判断が可能となるよう検出限界計数率相当で 0.05Bq/g (評価対象核種 (^{60}Co)) 以下とする。
- ・測定した計数率が検出限界値未満であった場合、検出限界計数率を評価に用いる測定値とする。
- ・検出限界値 (Bq/g) は、日本原子力学会標準を参考に (6-1) 式により、検出限界計数率 (s^{-1}) に相当する放射エネルギー (Bq) を放射能換算係数 (Bq/s^{-1}) から求め、これを代表「測定単位」の重量 (g) で除して放射能濃度 (Bq/g) として求める。その際、バックグラウンドの変動及び遮へいの影響を考慮する。(参考文献 1~3)

$$A_d = CF_{Ge} \cdot \frac{\frac{k^2}{t_T} + \sqrt{\left(\frac{k^2}{t_T}\right)^2 + 4(1 - k^2 r_2^2) k^2 \left[\frac{n_B + m_{Co}}{t_T} + \sigma_B^2 + \sigma_{mco}^2\right]}}{2(1 - k^2 r_2^2)} \cdot \frac{1}{W} \quad (6-1)$$

ここで、

- A_d : 検出限界値 (Bq/g)。
 k : 定数 ($k=3$) (—)。
 t_T : 測定時間 (s)。
 n_B : バックグラウンド計数率 (s^{-1})。
 σ_B : n_B の標準誤差 (s^{-1})。
 m_{Co} : 「測定領域」以外の評価対象核種 (^{60}Co) の γ 線の計数率 (s^{-1})。
 σ_{mCo} : m_{Co} の標準誤差 (s^{-1})。
 CF_{Ge} : 放射能換算係数 (Bq/ s^{-1})。
 r_2 : 放射能換算係数の相対誤差 (—)。
 W : 不確かさを考慮した代表「測定単位」の重量 (g)。

- n_B , σ_B , m_{Co} 及び σ_{mCo} はスペクトル解析によって求める。
- r_2 は放射エネルギーを大きく評価するよう放射能換算係数を設定することから 0% とする。
- m_{Co} は、測定した計数率 (N_{Ge}) が検出限界計数率以上の場合、対象物と検出器の間を遮へいして評価対象核種 (^{60}Co) が放出する γ 線の計数率 (s^{-1}) を測定し、遮へいを透過した γ 線を補正して「測定領域」以外からの γ 線の計数率 m_{Co} (s^{-1}) として求める。対象物を測定した結果、 N_{Ge} が検出限界未満であった場合、 $m_{Co}=0$ とする。

- 代表「測定単位」が複数の「測定領域」で構成される場合、「添付書類五」(3. 項 放射能濃度の決定方法) に記載のとおり、(6-1) 式では、各「測定領域」の検出限界計数率 (s^{-1}) に相当する放射エネルギー (Bq) を合計した値を代表「測定単位」の重量 (g) で除して放射能濃度 (Bq/g) として求める。
- 計数率の統計的誤差を考慮しても基準値を下回る測定ができることを確認するため、「(添付 6) 表-3」に示すとおり、検出限界値 (0.05Bq/g) に相当する検出限界計数率の不確かさ (1.645σ) を考慮して評価した結果、基準値を下回ることを確認した。

(2) NaI シンチレーションサーベイメータ

- NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定する場合、測定した計数率がバックグラウンドを含め全て「測定領域」の評価対象核種 (^{60}Co) のものとし、検出限界計数率は設定しない。
- NaI シンチレーションサーベイメータを用いて測定する場合の計数率の統計的誤差は、「(添付 5) 表-2」に示すとおり、測定した計数率がバックグラウ

ンドを含めた計数率（グロス計数率）であり，正味計数率の統計的誤差はバックグラウンド計数率よりも十分小さいことから，グロス計数率を評価に用いる計数率とすることに問題ないことを確認した。

2. 1. 2 測定時間

(1) Ge 半導体検出器

- ・測定時間は，放射線測定装置の統計的誤差を加えても代表「測定単位」の D/C（評価対象核種（ ^{60}Co ））が 1 以下であることの判断が可能となるよう，バックグラウンド及び遮へいの影響を考慮し，測定毎に代表「測定単位」において検出限界計数率相当で 0.05 Bq/g （評価対象核種（ ^{60}Co ））以下になる測定時間を設定して測定を行う。
- ・「測定領域（1）」の測定に要する時間は，放射能換算係数（ケース A）及び（ケース B）ともに，長くても数分である。

(2) NaI シンチレーションサーベイメータ

- ・NaI シンチレーションサーベイメータの測定時間は，放射線測定装置の特性上，統計的な誤差が小さい時定数 30 秒の 3 倍である 90 秒以上とする。
- ・代表「測定単位」が複数の「測定領域」で構成される場合，代表「測定単位」において検出限界計数率相当で 0.05 Bq/g （評価対象核種（ ^{60}Co ））以下となるよう，他の「測定領域」の寄与を考慮して測定時間を設定する。

2. 2 GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータを用いた測定及び測定条件

- ・GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータを用いた測定は，狭隘部の放射エネルギーを設定する際の設定条件となる表面汚染密度を確認するために行う。
- ・表面汚染密度は，「添付書類二」（3. 項 対象物の汚染の状況）に記載のとおり，事前調査にて確認した値（除染前に汚染が顕著に確認された第 7-8 段間の除染後における当該箇所での平均値で $1.7 \times 10^{-1}\text{ Bq/cm}^2$ ）に余裕を見て保守的 2.0 Bq/cm^2 を代表値として設定する。
- ・対象物は，現在，汚染のおそれのある管理区域に汚染防止措置を施して保管している。測定及び評価にあたり，対象物を保管している場所を汚染のおそれのない管理区域に変更する際，表面汚染密度が 2.0 Bq/cm^2 未満であることを確認する。

2. 2. 1 測定方法

- ・表面汚染密度の測定は、JIS Z 4504 : 2008 「放射性表面汚染の測定方法— β 線放出核種（最大エネルギー0.15MeV以上）及び α 線放出核種」に準拠して行う。（参考文献4）
- ・原則として直接測定法で対象物の表面汚染密度が 2.0Bq/cm^2 未満であることを確認する。

2. 2. 2 測定条件

- ・ 2.0Bq/cm^2 未満の表面汚染密度を測定するため、「(添付6)表-1」に示すBG計数率，機器効率，線源効率から検出限界値を算出し，対象物の表面汚染密度が 2.0Bq/cm^2 を下回るように測定条件を設定する。

2. 3 評価

- ・代表「測定単位」を構成する「測定領域」のうちGe半導体検出器を用いて測定した「測定領域」の計数率が全て検出限界計数率未満であり，かつ検出限界計数率相当で代表「測定単位」の放射能濃度が 0.05Bq/g (評価対象核種(^{60}Co))以下とならない場合，測定条件を見直して再測定を行うか，再除染し再測定を行う。
- ・測定の結果，「評価単位」のD/C（評価対象核種(^{60}Co))が1以下となることを確認する。1以下とならない場合，測定条件を見直して再測定を行うか，再除染し再測定を行うか又は放射能濃度確認対象物から除外する。（参考文献5）

3. 点検・校正

- ・放射線測定装置は使用前に日常点検を行う。
- ・放射線測定装置は1年に1回，定期点検を行う。定期点検では，検出器の点検・校正を行う。
- ・Ge半導体検出器の日常点検では，標準線源(^{60}Co)を使用し，Ge半導体検出器の検出効率が放射能換算係数を求めたときに設定範囲内であること²⁰を確認する。
- ・その他，点検で実施する項目は次のとおりである。外観確認，電源供給状態，動作確認，設定時刻確認，ドリフトチェック（エネルギーピークのシフトの確認）。

- NaI シンチレーションサーベイメータの日常点検では、検出効率の確認、印加電圧の確認及びバッテリー確認を行う。
- GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータの日常点検では、機器効率の確認、印加電圧の確認及びバッテリー確認を行う。

参考文献

1. 文部科学省放射能測定法シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（平成4年改訂）
2. 日本原子力学会標準「ウラン取扱施設におけるクリアランスの判断方法：2010」
3. 「ガンマ線分析詳細仕様説明書 Gamma Studio, SEIKO EG & G (Rev.3.0.0.0) (2010.09)」
4. JIS Z 4504 : 2008 「放射性表面汚染の測定方法－β線放出核種（最大エネルギー0.15MeV以上）及びα線放出核種」
5. 「放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」（令和2年8月13日施行，原規規発第2007294号，原子力規制委員会決定。）

添付書類 六 図表リスト

- (添付 6) 図-1 放射線測定装置の主要な仕様及び測定条件
- (添付 6) 表-1 表面汚染密度の測定方法及び測定条件
- (添付 6) 表-2 放射線測定装置の性能の確認
- (添付 6) 表-3 検出限界値の設定

(添付 6) 図-1 放射線測定装置の主要な仕様及び測定条件

・放射線測定装置を用いた測定に関する主要な仕様及び測定条件を以下に示す。

	Ge 半導体検出器	NaI シンチレーション サーベイメータ
放射線測定装置の仕様	測定方法： γ 線スペクトル測定法 ¹⁾ 相対効率：40%以上	測定エネルギー範囲： 50keV 以上 測定範囲：0～30k s ⁻¹
検出限界値	バックグラウンドの変動及び遮へいの影響を考慮して検出限界計数率相当で 0.05Bq/g（評価対象核種（ ⁶⁰ Co））以下となるように測定条件を設定する。その際、「測定単位」を複数の「測定領域」で構成する場合、他の「測定領域」の寄与を考慮する。	評価に用いる測定した計数率は、バックグラウンドを含めた計数率であることから、検出限界計数率は設定しない。
測定時間	代表「測定単位」において検出限界計数率相当で 0.05Bq/g 以下となる測定時間を設定する。その際、「測定単位」を複数の「測定領域」で構成する場合、他の「測定領域」の寄与を考慮する。	時定数 30 秒の 3 倍である 90 秒以上とする。
コリメータ	5.0cm 厚の鉛遮へいである 180 度コリメータを使用する。	必要に応じて使用する。

1) 文部科学省放射能測定法シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（平成 4 年改訂）

(添付 6) 表-1 表面汚染密度の測定方法及び測定条件(1/2)

表面汚染密度の測定は、狭隘部の放射エネルギーの設定条件となる表面汚染密度を確認するために行う。測定及び評価にあたり、対象物を保管している場所を汚染のおそれのない管理区域に変更する際、表面汚染密度が 2.0Bq/cm^2 未満であることを確認する。

1. 測定方法

- ・表面汚染密度の測定は、JIS Z 4504 : 2008 「放射性表面汚染の測定方法－ β 線放出核種（最大エネルギー 0.15MeV 以上）及び α 線放出核種」に準拠して行う。
- ・原則、直接測定法とし、対象物の表面汚染密度が 2.0Bq/cm^2 未満であることを確認する。ただし、対象物は低圧車軸であり原子炉格納容器外の機器であるため放射化による汚染は有意ではなく、二次的な汚染による固着性汚染は除染によって取り除き表面汚染は遊離性汚染のみとなることから、直接測定法が困難な場合は間接測定法を用いる。
- ・直接測定法は測定器を用いて遊離性表面汚染及び固着性表面汚染を直接的に測定する方法であり、間接測定法は拭き取りによって、遊離性表面汚染を間接的に測定する方法である。

2. 測定条件

- ・ 2.0Bq/cm^2 未満の表面汚染密度を測定するため、BG 計数率、機器効率、線源効率等から検出限界値を算出し、対象物の表面汚染密度が 2.0Bq/cm^2 を下回るように測定条件を設定する。

(1) 直接測定法

- ・直接測定法は、対象物表面と測定器の距離を測定器の仕様の範囲内に維持し表面汚染密度を測定する。
- ・直接測定法の測定条件を下表に示す。

測定器	検出器	GM 管式 サーベイメータ	プラスチックシンチレーション式サーベイメータ
	型式*	TGS-146B	TCS-316
	窓面積	19.6 cm^2	100 cm^2
測定条件	機器効率	30% (^{60}Co) 以上	$50\%/2\pi \pm 25\%$ 以内 (37.5~62.5%)
	線源効率	0.4 (－)	0.4 (－)
	走査速度	2cm/sec 以下	8cm/sec 以下
	測定場所の BG 条件	150cpm 以下	600cpm 以下
	検出限界値の確認	対象物の表面汚染密度が 2.0Bq/cm^2 を下回る値であることを確認する。	

※代表型式である。

(添付 6) 表-1 表面汚染密度の測定方法及び測定条件(2/2)

(2) 間接測定法

- ・間接測定法は、まず、スミア布を用いて約 900cm²を拭き取り、対象物の全面のスクリーニング（汚染の有無）を実施する。汚染がある場合は最大値の箇所を、汚染がない場合は代表点を、スミアろ紙を用いて 100cm²を拭き取り、測定する。表面汚染密度を算出する際の拭き取り効率は 0.1 とし、GM 管式サーベイメータを用いて測定する。
- ・間接測定法の測定条件を下表に示す。

測定器	検出器	GM 管式サーベイメータ
	型式*	TGS-146B
	窓面積	19.6cm ²
測定条件	機器効率	30% (⁶⁰ Co) 以上
	線源効率	0.4 (－)
	拭き取り面積	100 cm ²
	拭き取り効率	0.1 (－)
	測定場所の BG 条件	150cpm 以下
	検出限界値の確認	対象物の表面汚染密度が 2.0Bq/cm ² を下回る値であることを確認する。

※代表型式である。

(添付 6) 表-2 放射線測定装置の性能の確認(1/2)

測定及び評価に用いる放射線測定装置「Ge 半導体検出器及び NaI シンチレーションサーベイメータ」及び表面汚染密度の測定に用いるサーベイメータ「GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータ」の要求性能及び性能検証を下表に示す。

(1) Ge 半導体検出器

No.	項目	内容	性能検証
1-1	相対効率 (%)		
1-2	距離 補正係数 $1/\frac{\eta}{4\pi}$ (Bq・mm ⁻² /s ⁻¹)		
1-3	角度 依存効率 $g(\theta)$ (-)		
1-4	遮へい 補正係数 μ (mm ⁻¹)		

(添付 6) 表-2 放射線測定装置の性能の確認(2/2)

(2) NaI シンチレーションサーベイメータ

No.	項目	内容	性能検証
2-1	測定範囲		
2-2	距離 補正係数 $1/\frac{\eta}{4\pi}$ (Bq・mm ⁻² /s ⁻¹)		
2-3	角度 依存効率 $g(\theta)$ (-)		

<補足>

- ・NaI シンチレーションサーベイメータを用いる「測定領域」は、検出器と対象物との間に遮へいとなる部分が存在せず、またバックグラウンドを含めた計数率で評価を行うことから、Ge 半導体検出器とは異なり、遮へい補正係数は設定しない。

(3) GM 管式サーベイメータ (型式 : TGS-146B)

No.	項目	内容	性能検証
3-1	機器効率 (%)	・測定結果 30% (⁶⁰ Co) 以上。	・1年に1回の定期点検で確認する。

(4) プラスチックシンチレーション式サーベイメータ (型式 : TCS-316)

No.	項目	内容	性能検証
4-1	機器効率 (%)	・測定結果 50%/2π ± 25% 以内 (37.5% ~ 62.5%)。	・1年に1回の定期点検で確認する。

(添付 6) 表-3 検出限界値の設定(1/3)

検出限界値 (0.05Bq/g : 評価対象核種 ^{60}Co) に計数率の統計的誤差 (1.645σ) を考慮しても、基準値を下回ることを以下のとおり確認した。

<確認方法>

- ・ 検出限界値 (Bq/g) が 0.05Bq/g (評価対象核種 ^{60}Co)、すなわち D/C (^{60}Co) が 0.5 となる検出限界計数率を「添付書類六」の (6-1) 式を用いて算出し、その検出限界計数率に計数率の統計的誤差 (1.645σ) を考慮した場合の D/C (^{60}Co) を算出する。この値が基準値 (D/C=1) を下回ることを確認する。



(添付 6) 表-3 検出限界値の設定(2/3)



(添付 6) 表-3 検出限界値の設定(3/3)

A large gray rectangular area covering the majority of the page, indicating that the content of the table has been redacted.

添付書類 七

放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法
に関する説明

放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法に関する説明

- ・対象物の保管場所に関する主な説明は、本文「九 放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法」に記載のとおりである。放射能濃度の測定及び評価に伴う対象物の基本処理フローを「(添付 7) 図-1」, 管理事項の一覧を「(添付 7) 表-1」に示す。具体的には以下のとおりである。

1. 共通事項

- ・測定及び評価にあたっては、放射性物質による追加的な汚染が生じないように区画してハウスを設置することで「保管エリア」を汚染のおそれのある管理区域から汚染のおそれのない管理区域に変更し、同じ場所を「測定エリア」として、各低圧車軸を構成する全ての「評価単位」の測定及び評価を行う。
- ・対象物は切断して容器に収納することはせず一体で取り扱い、対象物の「保管エリア」, 「測定エリア」及び「確認待ちエリア」(「保管エリア等」)は、放射性物質による追加的な汚染²¹が生じないように立入防止のための柵を設置し出入口を施錠して保管管理する。
- ・「保管エリア等」は、放射能濃度確認担当部署の責任者の承認を受けた者以外の者が立ち入らないように、区画、施錠により制限する。
- ・定期的に保管状況の確認を行う。
- ・対象物が「測定前」, 「測定中」, 「測定済み(国の確認前)」あるいは「確認済み(国の確認を受けた物)」であることが分かるように識別管理する²²。
- ・放射能濃度の測定後の対象物に放射性物質による追加的な汚染が生じないように管理するとともに、放射能濃度の測定から国の確認までの間、厳格な品質管理を行う。
- ・対象物を運搬する際、追加的な汚染のおそれがない経路を選定する。経路は原則汚染のおそれのない管理区域とする。汚染のおそれのある管理区域を選定する場合は、対象物を養生し追加的な汚染防止措置を講じる。
- ・国の確認を受けた物は、核燃料物質による汚染が無いものとして扱うとともに、追加的な汚染が生じないように管理する。
- ・これらの対象物の取扱いに関する事項を浜岡原子力発電所原子炉施設保安規定及び社内規定に定めて実施するとともに、継続的に改善していく。

²¹ 「保管エリア等」は、原子炉の運転および停止期間において放射化汚染の影響はなく、二次的な汚染を対象とし、追加的な汚染を防止する。

²² 対象物は異物が混入する構造になっていないため、異物混入状況を確認するための措置として測定時にモニタ撮影することはしないが、車軸毎に測定状態が分かるように識別管理を行う。

2. 保管エリア

- ・放射能濃度の測定及び評価を行うまで対象物を保管する場所を「保管エリア」という。
- ・「保管エリア」は汚染のおそれのある管理区域であるが、測定及び評価にあたり当該場所を「測定エリア」に変更する際に汚染のおそれのない管理区域となる場合がある。そのため「保管エリア」は区画により異物の混入及び追加汚染を防止する。
- ・対象物は必要に応じて除染する場合がある。その場合、除染および表面汚染密度の測定は「保管エリア」で行う。

3. 測定エリア

- ・放射能濃度の測定及び評価を行う場所を「測定エリア」という。
- ・「測定エリア」は汚染のおそれのない管理区域とし、区画内にハウスを設置することにより異物の混入及び追加汚染を防止する。
- ・「測定エリア」内では対象物の測定前後を識別管理する。
- ・各低圧車軸を構成する全ての「評価単位」の測定及び評価を行った結果、車軸毎に全ての「評価単位」において評価対象核種 (^{60}Co) の D/C が 1 以下となることを確認した低圧車軸は、国の確認を受けるために、「測定エリア」の場所を「確認待ちエリア」に変更して管理する。
- ・「測定エリア」の場所を「確認待ちエリア」に変更するケースで「測定エリア」内に複数の低圧車軸が存在する場合は、先に測定及び評価を終えた低圧車軸に追加汚染防止の措置を講じて保管し、「測定エリア」内の全ての低圧車軸の測定及び評価を終えた段階で、「測定エリア」の場所を「確認待ちエリア」に変更する。
- ・測定及び評価の結果、「添付書類三」(2. 項 評価対象核種の選択結果) に記載のとおり、車軸毎に全ての「評価単位」の D/C (^{60}Co) が 1 以下となることを確認し、令和 12 年 4 月 1 日までに国の確認の申請を行う。
- ・測定及び評価を行った結果、「評価単位」の D/C (^{60}Co) が 1 を超える場合、当該車軸は測定条件を見直して再測定を行うか再除染し再測定を行うか、あるいは当該車軸を放射能濃度確認対象外とする。

4. 確認待ちエリア

- ・国の確認を受ける対象物を国の確認が終わるまで保管する場所を「確認待ちエリア」という。
- ・「確認待ちエリア」は汚染のおそれのない管理区域とし、区画内にハウスを設置することにより異物の混入及び追加汚染を防止する。

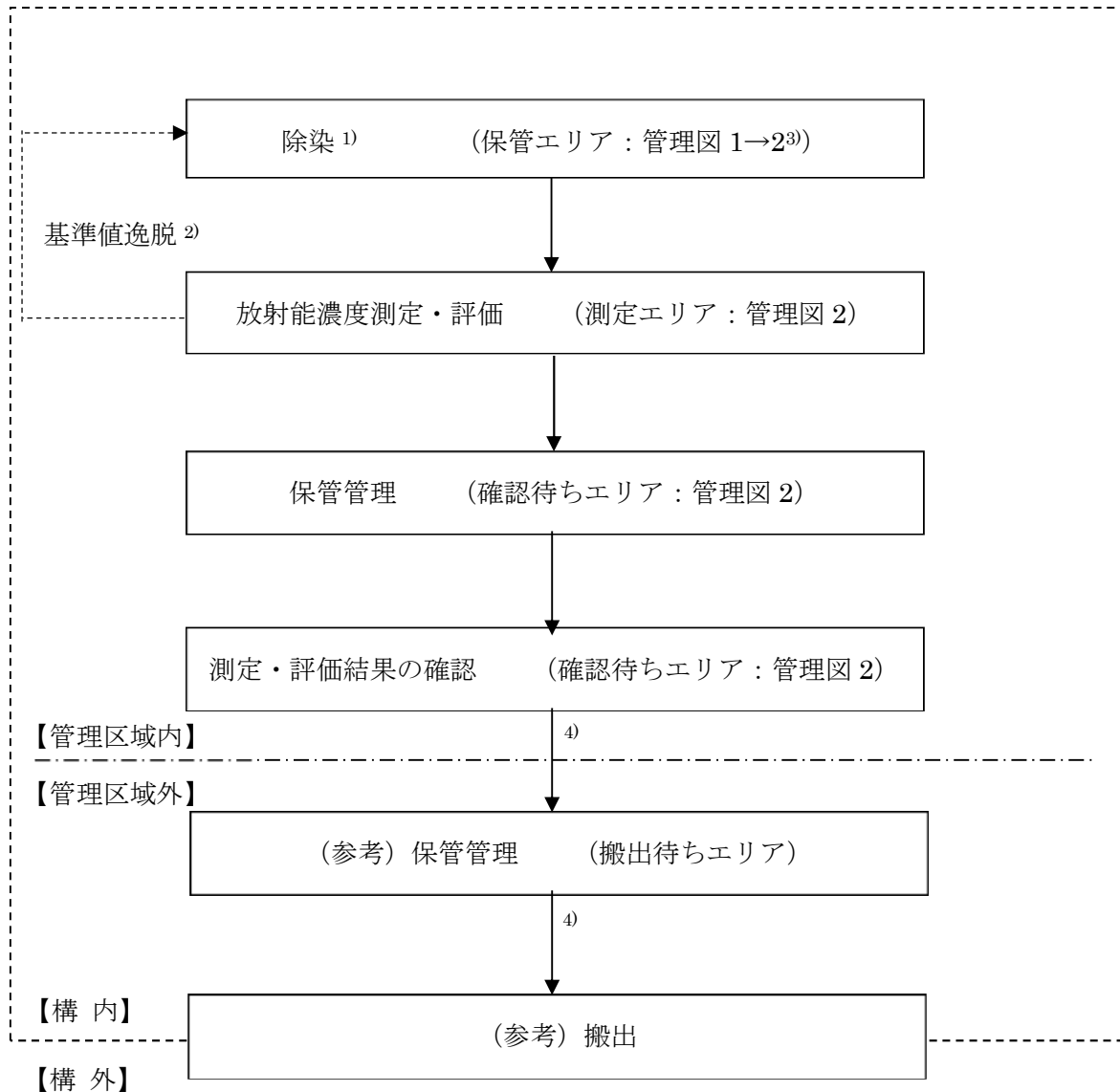
- ・「確認待ちエリア」内では対象物の確認前後を識別管理する。
- ・国の確認を受けた対象物は、核燃料物質による汚染が無いものとして扱い、発電所敷地内の非管理区域へ運搬し、発電所からの搬出まで追加的な汚染が生じないように管理する。対象物を運搬する際、上記 1. 項に記載のとおり、追加的な汚染防止措置を講じる。

添付書類 七 図表リスト

- | | |
|------------|-------------|
| (添付 7) 図-1 | 対象物の基本処理フロー |
| (添付 7) 表-1 | 管理事項 |

(添付 7) 図-1 対象物の基本処理フロー(1/2)

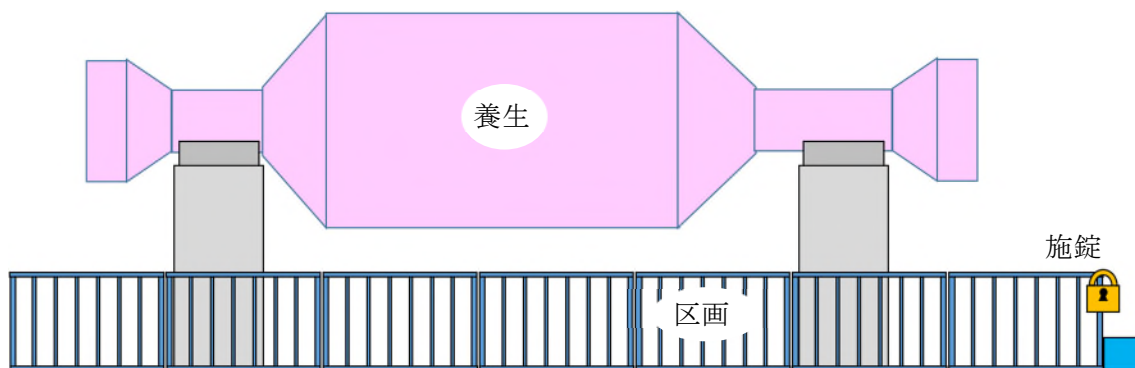
対象物の処理状況に応じて「保管エリア」、「測定エリア」及び「確認待ちエリア」の順に変更させることで、処理状況に則した管理を行う。なお、バックグラウンドの有意な上昇、プラント運営に必要な干渉物が発生した場合は、エリアの場所を変更する場合もある。



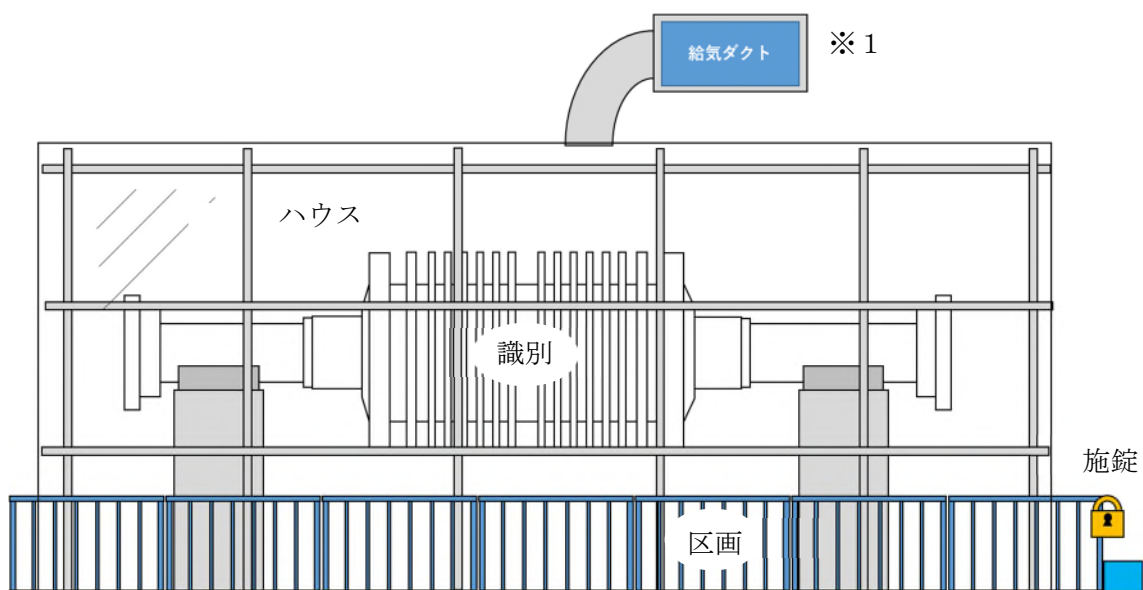
- 1) 実施済。必要に応じて、追加で実施する場合もある。
- 2) 測定結果が基準値を満足しない場合、再除染又は放射能濃度確認対象外とする。
- 3) エリア及び対象物の表面汚染密度などを測定し、汚染のおそれのない管理区域の基準値を下回っていることを確認し、管理図 1 から管理図 2 に変更する。
- 4) 運搬、処理・再利用（加工）の都合により、必要に応じて、切断して運搬する場合もある。その際、汚染が有意な部分のみを切断して扱うことはない。

(添付7) 図-1 対象物の基本処理フロー(2/2)

管理図1 汚染のおそれのある管理区域 (保管エリア)



管理図2 汚染のおそれのない管理区域 (保管エリア※2, 測定エリア, 確認待ちエリア)



※1 ハウス内はタービン建屋の給気ダクトより外気を取り込むことにより、追加の汚染が生じないようにする。

※2 「保管エリア」を「測定エリア」に変更する際、一時的に汚染のおそれのない管理区域になる場合がある。

(添付 7) 表-1 管理事項

各エリアにおける管理事項を以下に示す。

エリア 要求事項	保管 エリア	測定 エリア	確認 待ち エリア
汚染のおそれのある管理区域 ¹⁾	○		
汚染のおそれのない管理区域	○	○	○
除染，表面汚染密度の確認 ²⁾	○		
区画（異物の混入防止，追加汚染防止）	○	○	○
施錠（出入管理）	○	○	○
保管状況の確認	○	○	○
「測定前後」又は「確認前後」の識別		○	○
当該エリアからの移動経路の確認	○	○	○

1) 原子炉の運転及び停止期間において放射化汚染の影響は無く，二次的な汚染を対象とし，二次的な汚染の追加汚染防止措置を講じて対象物を保管する。

2) 当該以外でも，必要に応じて実施する。

添付書類 八

放射能濃度の測定及び評価に係る
品質マネジメントシステムに関する説明

放射能濃度の測定及び評価に係る品質マネジメントシステムに関する説明

- ・放射能濃度の測定及び評価に係る品質保証の体制を，審査基準の要求事項を踏まえ，保安規定等に定める。
- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理を高い信頼性をもって実施し，これらを維持・改善するための品質保証活動を次のとおり実施する。
- ・品質保証体制は社長をトップマネジメントとして構築し，体系化した組織及び文書類により，放射能濃度の測定及び評価のための一連の業務に係る計画，実施，評価及び改善のプロセスを実施するための品質保証計画を定める。
- ・対象物の発生から分別，放射能濃度の測定及び評価，保管管理，搬出，これら一連の管理に関する記録の作成及び保存並びに不適合発生時の処置を行う際には，以下の品質保証活動を実施し，放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務の信頼性を確保する。
- ・浜岡原子力発電所原子炉施設保安規定，原子力品質保証規程及び品質保証計画書並びにこれらに基づく下部規程に以下の事項を定めて実施するとともに，継続的に改善していく。

1. 責任の明確化

- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務を統一的に管理する者を，浜岡原子力発電所原子炉施設保安規定に定め組織の中で明確にする。

2. 教育・訓練

- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務に必要な教育・訓練の実施事項を社内規定に定めて明確にし，当該業務を実施する者への教育・訓練の実施及び技能の維持を図る。
- ・放射能濃度の測定及び評価に必要な技能を習得した者が業務を実施するよう社内認定を行う。

3. 放射線測定装置の管理

- ・放射能濃度の測定及び評価に使用する放射線測定装置は，定期的な点検・校正を社内規定に定め実施する。

4. 対象物の管理

- ・対象物とそれ以外が混在することがないように、対象物の識別を社内規定に定め実施する。

5. 業務の実施

- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務は、浜岡原子力発電所原子炉施設保安規定、原子力品質保証規程及び品質保証計画書に基づき下部規程に具体的業務を定めて、業務を実施する。

6. 評価及び改善

- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務を定められた手順のとおり実施するため、定期的に内部監査等を行い、必要に応じて改善を図る。
- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務において、不具合及びヒューマンエラーを発生させないよう努める。
- ・不適合が発生した場合、すみやかに是正処置を行うとともに、必要に応じて予防処置を講ずる。
- ・放射能濃度の測定及び評価並びに対象物の保管管理に関する業務は、運用実績を反映し、適宜、手順の見直し及び管理の充実を図る。

以上

(参考) 用語集

1. 二次的な汚染の生成メカニズム

二次的な汚染の親元素が原子炉で順次照射されて放射性物質となり、その都度、対象物に付着する。放射性物質の付着は運転中に徐々に進行し、付着後、放射性物質は放射性崩壊により減衰することによって二次的な汚染が生ずる。

2. 基準値

規則別表第 2 欄の放射能濃度。規則別表第 2 欄の放射能濃度の単位は **Bq/kg** となっているが、本申請書では放射能濃度の単位は **Bq/g** として扱う。

3. 規則

「工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものであることの確認等に関する規則」(令和 2 年 8 月 13 日施行, 原子力規制委員会規則第 16 号)。

4. 規則 33 核種

「工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものであることの確認等に関する規則」(令和 2 年 8 月 13 日施行, 原子力規制委員会規則第 16 号) 別表第 1 欄の放射性物質のうち、「放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」(令和 2 年 8 月 13 日施行, 原規規発第 2007294 号, 原子力規制委員会決定。) 別記第 1 号に掲げる 33 種類の放射性物質。

5. 国の確認

法第 61 条の 2 第 1 項に基づく放射能濃度の確認。

6. 形状のモデル化



7. ケース A

放射線測定装置の検出器と「測定領域」との位置関係により、検出器と「測定領域」の間に遮へいとなる部分が存在しない場合。具体的には、「(添付 5) 図-2」に示す、「測定領域」内で応答関数 (s^{-1}/Bq) が最も小さい位置に放射エネルギーの全てが存在するとして、放射能換算係数を設定するケース。

8. ケース B

放射線測定装置の検出器と「測定領域」との位置関係により、検出器と「測定領域」の間に遮へいとなる部分が存在する場合。具体的には、「(添付 5) 図-2」に示す、「測定領域」内を小領域に分割し、小領域内の放射エネルギーが保守的に存在するとして、放射能換算係数を設定するケース。

9. 主蒸気中の ^{17}N 線

主蒸気に含まれる中性子源 (^{17}N : 半減期 約 4 秒) が β 崩壊して ^{16}O になる際に放出される中性子線。本申請の放射化汚染の線源。

10. 小領域

ケース B の放射能換算係数の設定において、「測定領域」内の放射能分布を考慮できるように「測定領域」内を分割した領域。小領域は、放射能分布を考慮する最小単位とする。

11. 審査基準

「放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」(令和 2 年 8 月 13 日施行, 原規規発第 2007294 号, 原子力規制委員会決定。)

12. 測定単位

測定により放射能濃度を求める最小の重量単位。

13. 測定領域

「測定単位」のうち、単一の放射線測定装置で 1 回の測定で放射エネルギーを測定する領域。「測定単位」の形状により「測定領域」は複数になる場合がある。

14. 低圧車軸

浜岡 4 号炉低圧タービンロータ車軸。

15. 二次的な汚染

放射性物質が付着することによる汚染。

16. 浜岡 1, 2 号炉解体撤去物

浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法の認可申請書（平成 31 年 3 月 19 日付け原規規発第 1903191 をもって認可）

17. 浜岡 5 号炉低圧タービンロータ

浜岡原子力発電所において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価方法の認可申請書（平成 26 年 5 月 1 日付け原規規発第 1404309 号をもつて認可）

18. 浜岡 4 号炉

浜岡原子力発電所 4 号原子炉施設。

19. 浜岡 5 号炉

浜岡原子力発電所 5 号原子炉施設。

20. 評価体系のモデル

応答関数を求める体系。具体的には「(添付 5) 図-3」に示すとおり，単位放射エネルギーに対する計数率を計算する「測定領域」の体系。

21. 評価対象核種

評価に用いる放射性物質。

放射能濃度算出核種における D/C の総和への寄与率が高く，対象物の判断に当たって放射能濃度測定・評価の対象となる放射性核種。

22. 評価単位

対象物の放射能濃度を判断する際に用いる重量単位。

23. 表面汚染密度

単位面積あたりの放射エネルギー。

本申請では， ^{60}Co 相当の表面汚染密度は，「 ^{60}Co 相当」の記載を省略する。

24. フォールアウト

福島第一原子力発電所事故由来の放射性物質の降下物。

25. 法

核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律。

26. 放射化汚染

中性子線の照射を受け放射性物質が生成されることによる汚染。

27. 放射化学分析

物質に含まれる放射性核種の放射能を測定して，その核種の種類，量，濃度などを知る化学分析法をいい，本申請では表面汚染密度の測定も含む。

28. 放射能濃度確認対象物（「対象物」と略称）

本申請において，国の確認の対象にしようとするもの。

29. 保管エリア等

保管エリア，測定エリア，確認待ちエリアの総称。

30. CP 核種

一次冷却設備から溶出した腐食生成物が炉心中性子で放射化されて生成した放射性腐食生成物及び一次冷却水が炉心中性子で放射化されて生成する放射性物質。

31. FP 核種

燃料棒表面に付着したウランが炉心中性子で照射されて生成した核分裂生成物及び中性子捕獲生成物。

32. $\Sigma D/C$

評価対象核種毎に算出された D/C を評価対象核種全体で総和を求めること。

D：評価値，C：基準値

33. 95%上限値

信頼の水準を片側 95%としたときの上限値。

以 上