

2021年1月29日
関西電力株式会社

放射能濃度確認対象物の評価単位の設定方法等について

I. 放射能濃度確認対象物の評価単位及び測定単位の設定方法について

1. 放射能濃度確認対象物の形状

1.1 燃料取替用水タンクの構造

放射能濃度確認対象物である燃料取替用水タンクは、大飯1，2号炉の運転開始時に設置し、その後の運転保守に伴い、2005年度に解体したものである。燃料取替用水タンクは、燃料取扱時（燃料取出・燃料装荷）の原子炉キャビティ水張り用の水源、及び事故時の非常用炉心冷却設備作動時の注入用の水源として設置されている設備である。燃料取出・燃料装荷は毎定期検査で実施するため、タンク内に貯留している水の移送を実施するが、非常用炉心冷却設備として作動した実績は無い。

燃料取替用水タンクの構造図を図1に示す。図1に示す通り、大飯1，2号炉ともに燃料取替用水タンクはたて置円筒形の形状であり、内径11,000mm、全高17,030mm、胴板厚さ□mm～□mm、天井板厚さ□mm、容量1,400m³のタンクである。このうち、放射能濃度確認対象物は1号炉燃料取替用水タンクの天井板及び胴板、2号炉燃料取替用水の胴板であり、合計約70tである。また天井板及び胴板の材質はSUS304である。

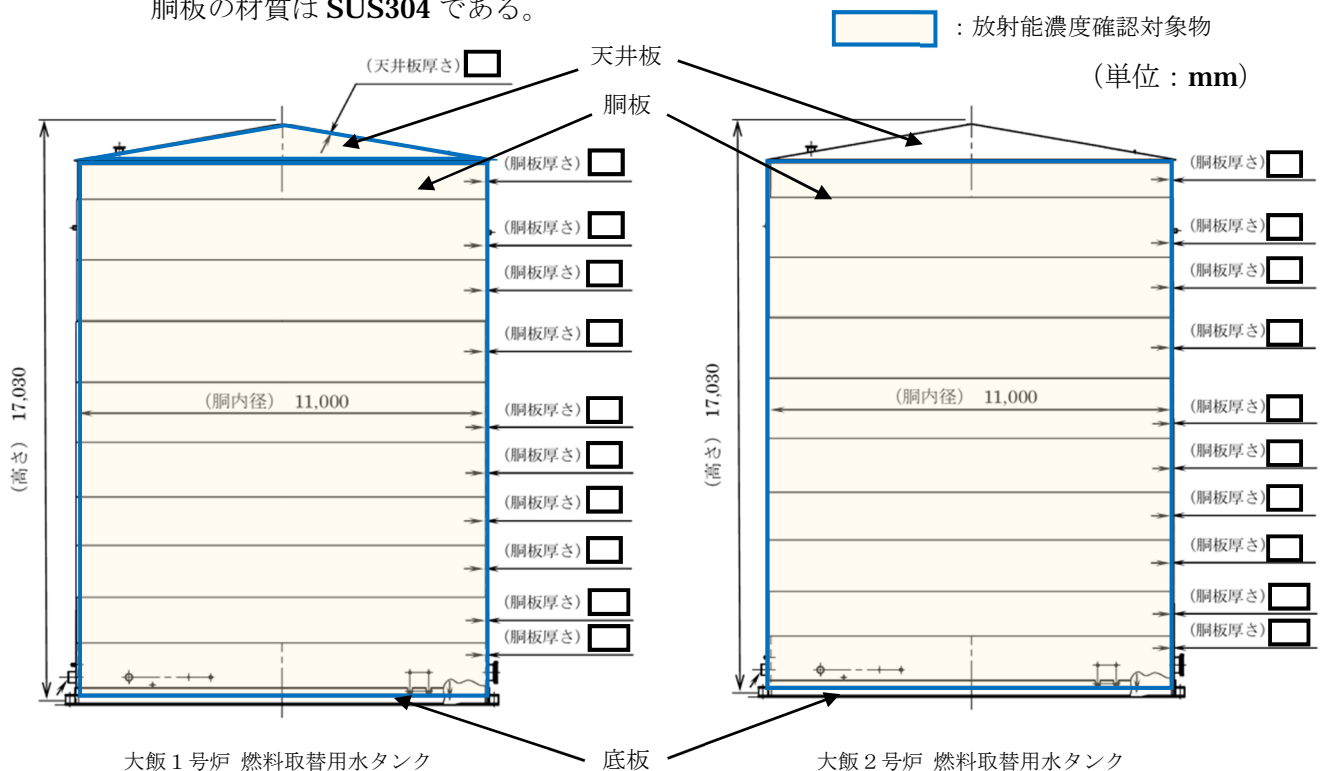


図1 燃料取替用水タンク構造図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

1.2 放射能濃度確認対象物の形状

放射能濃度確認対象物の形状は、タンク胴板および天井板であることから、概ね平板状のものである。一部、タンクの構成部材として溝形の部材もあるが、L形、凹形の部材は切断して平板状にした後に放射能濃度の確認を行う。図2に放射能濃度確認対象物の形状の一部を示す。

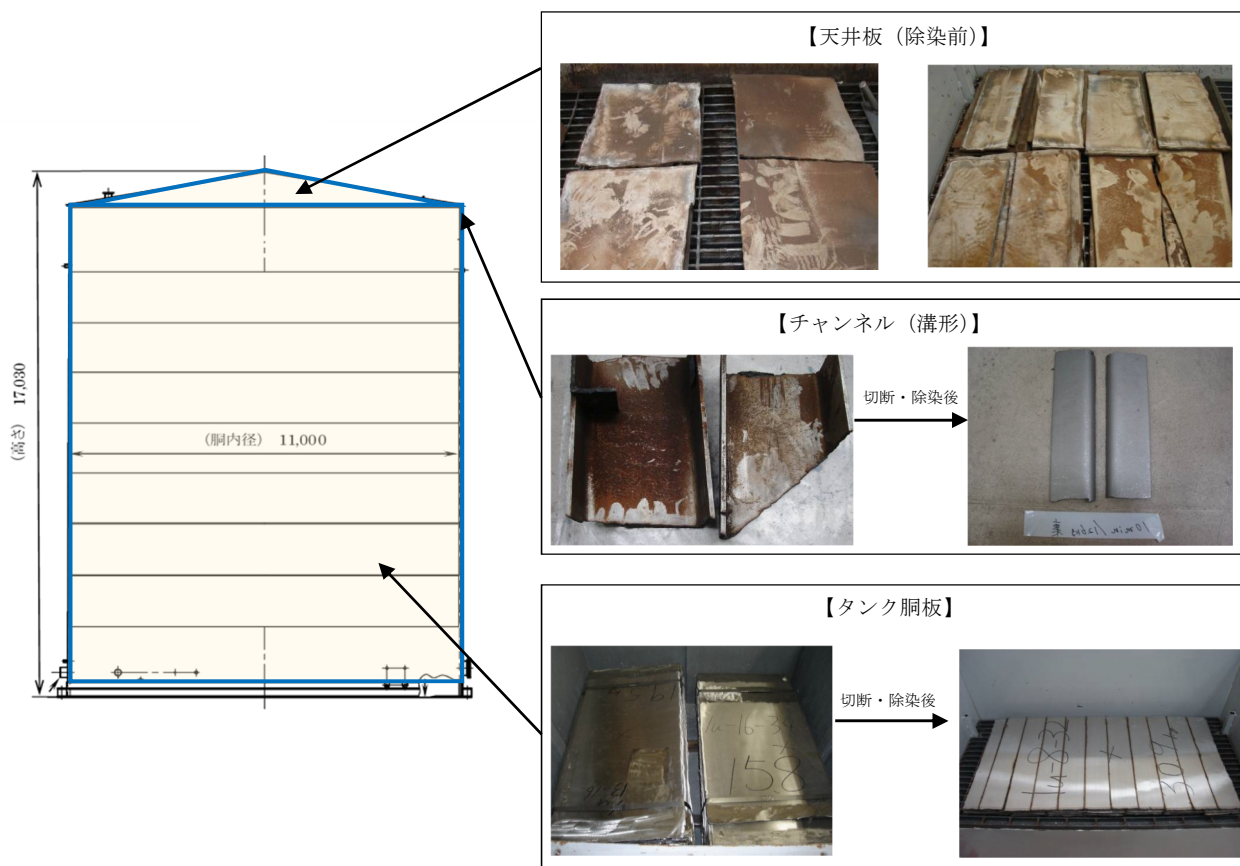


図2 放射能濃度確認対象物の形状 (一部)

2. 評価単位の設定

放射能濃度確認対象物の放射能濃度を決定するための評価単位は、胴板及び天井板の表面汚染密度測定結果から、汚染状況は対象物全体で均一であることを確認している。従って、放射能濃度確認対象物の解体状況及び保管状況から、胴板については、高さ方向（輪切り）に分割して、1つの評価単位が10トン以下となるよう設定する。大飯1号炉の天井板については、天井板全体（10トン以下）を1つの評価単位として設定する。図3に放射能濃度確認対象物の評価単位を示す。

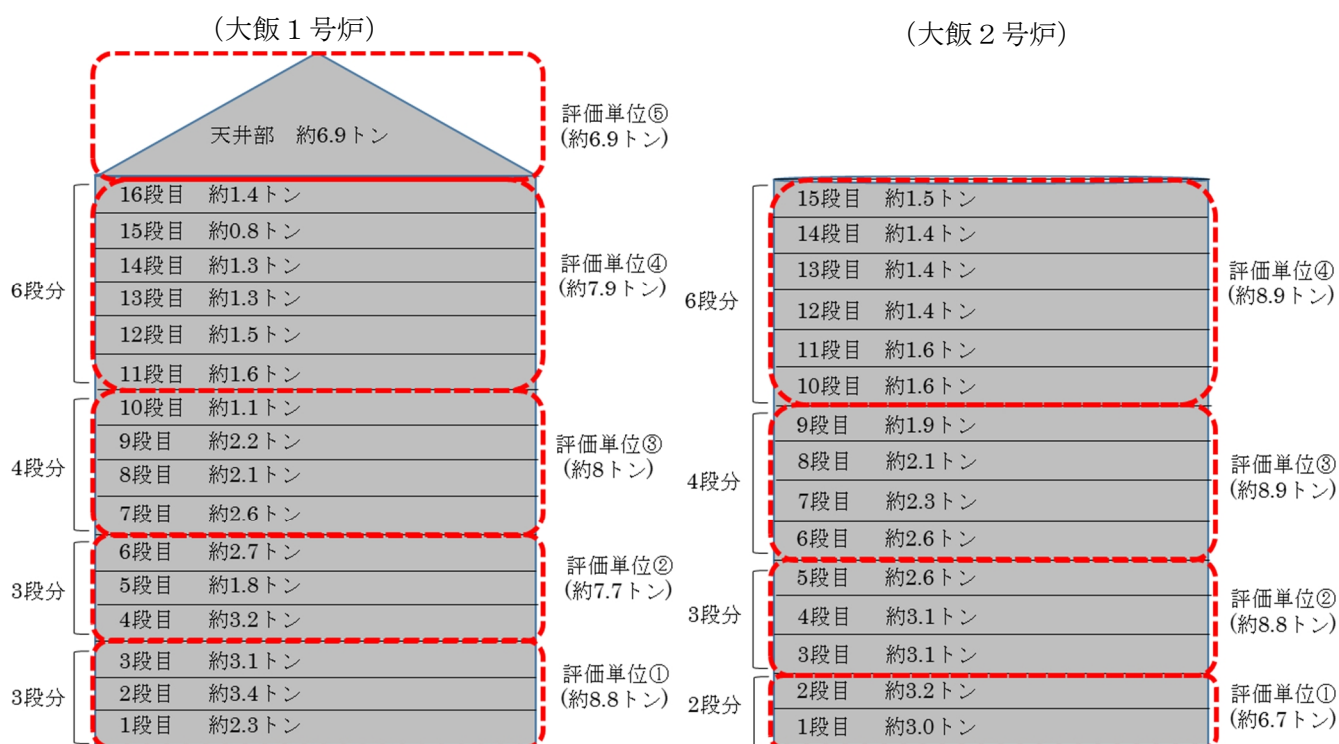
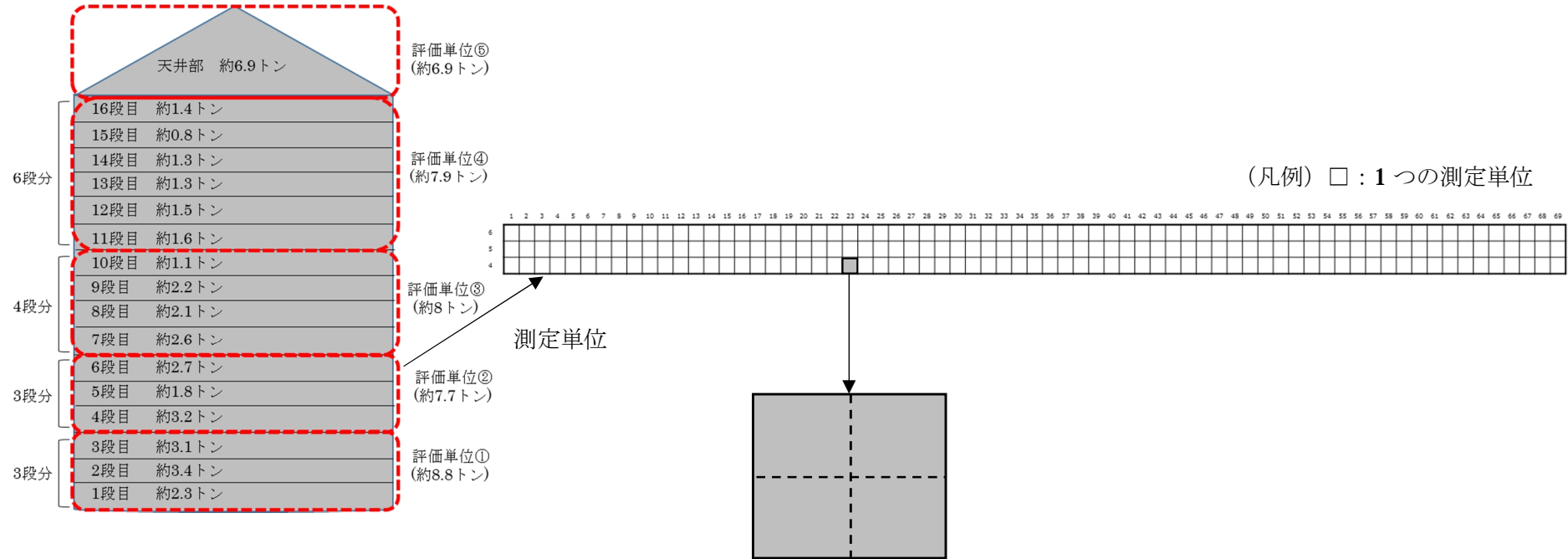


図3 放射能濃度確認対象物の評価単位設定図

3. 測定単位の設定

放射能濃度確認対象物の表面汚染密度の測定結果から、部位毎に汚染の偏在が無いことを確認していることから、放射能濃度確認対象物の解体状況（周方向に 69 分割に切断済）から、周方向（縦割り）に分割して設定する。図 4 に測定単位の設定イメージを示す。なお、測定単位の放射能濃度測定は、作業安全（重量）を考慮し、1 つの測定単位を 4 分割に細断して実施する。

ここで、胴板の測定単位における Co-60 の D/C は 0.1～0.6 程度であり、10 を超過しないことを確認した。図 5,6 に胴板の測定単位の Co-60 の D/C を示す。また、天井板は接液していない部位であったこと、及び表面汚染密度の測定結果より、胴板と比較して表面汚染の程度は同等であったことから、Co-60 の D/C は 10 を超過しない。



一つの測定単位を4分割に細断して測定

図4 測定単位の設定イメージ図

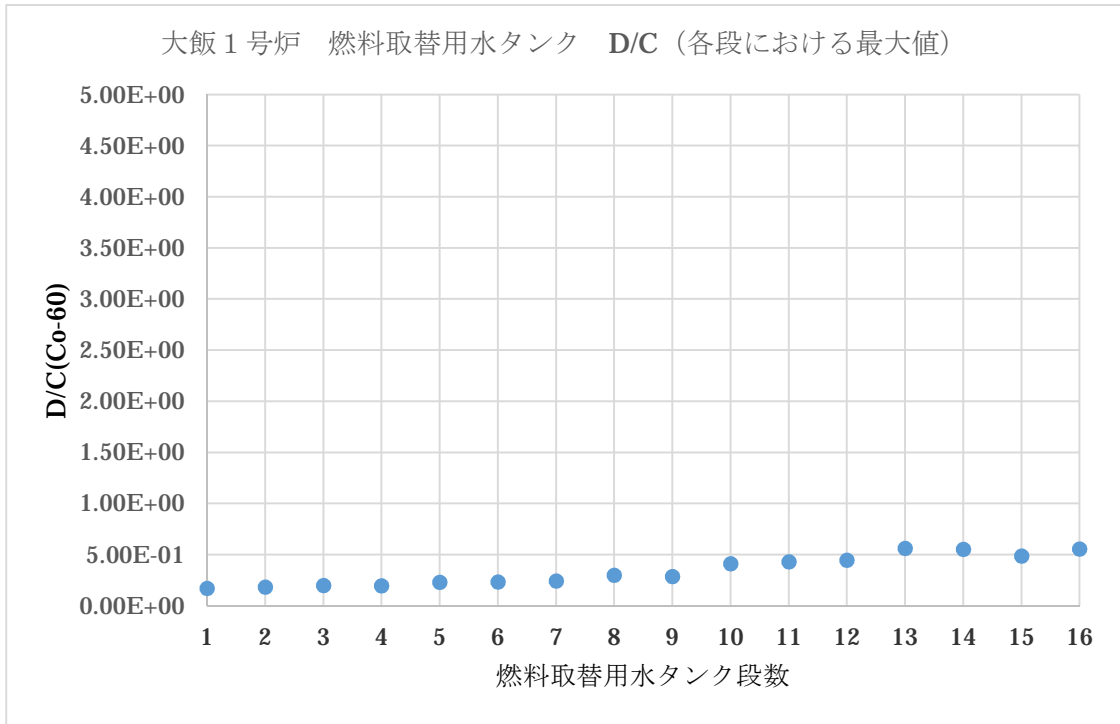


図 5 大飯 1 号炉 燃料取替用水タンクの Co-60 の D/C

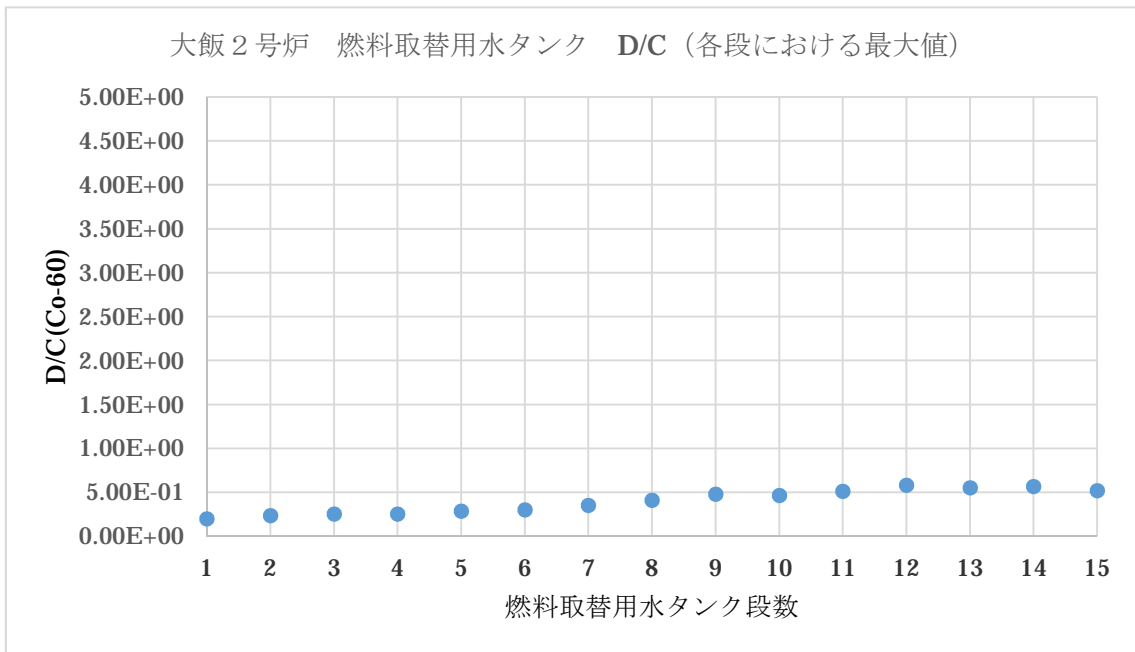


図 6 大飯 2 号炉 燃料取替用水タンクの Co-60 の D/C

II. 放射能濃度を決定する方法について

1. 評価対象核種の選定

放射能濃度確認対象物の評価対象核種は、事前調査結果等から **Co-60** が主要な核種であり、かつ **D/C (⁶⁰Co)** が **1/33** 以下であったことから、**Co-60** 以外の核種は考慮する必要ないと判断し、**Co-60** の **1** 核種とする。

2. 測定単位及び評価単位における放射能濃度の決定方法

放射能濃度確認対象物の **Co-60** 放射能濃度は、 β 線を測定すること並びに放射能濃度確認対象物は平板であり、かつ表面が平滑であること、加えて放射能濃度確認対象物の汚染形態は二次的な汚染であり、汚染は表面のみとなることから汎用の放射線測定器である **GM** 汚染サーベイメータを用いて測定する。**GM** 汚染サーベイメータを用いた放射線測定法によって、放射能濃度確認対象物から放出される全ての β 線が **Co-60** からの放出であるとして決定する。 β 線の測定は、**GM** 汚染サーベイメータで放射能濃度確認対象物の β 線 + γ 線計数率を測定後、放射能濃度確認対象物表面に β 線フィルタを設置して γ 線計数率を測定し、 β 線 + γ 線計数率から全 γ 線グロス計数率を差し引いて β 線計数率を算出する。**GM** 汚染サーベイメータを用いた β 線の測定イメージを図 1 に示す。

放射能濃度確認対象物の評価単位の **Co-60** 放射能濃度は、放射能濃度確認対象物に汚染の偏在が無いことを確認したことから、測定単位の一部を代表として測定し、その結果を基に評価単位の放射能濃度を決定する。代表となる測定単位は、評価単位毎の測定単位全数を母集団として、日本工業規格 (**JIS Z 9015(2006)** 計数值検査に対する抜取検査手順) の「通常検査水準 II」に基づき設定する。

放射能濃度確認対象物の代表測定単位の **Co-60** 放射能濃度は、作業安全の観点から、**1** つの測定単位を **4** 分割し、**GM** 汚染サーベイメータを用いて測定し、その内、最大となる **Co-60** 放射能濃度を測定単位の **Co-60** 放射能濃度とし、**D/C (⁶⁰Co)** が **1** 以下であることを確認する。

代表測定単位の **Co-60** 放射能濃度の測定点は、**GM** 汚染サーベイメータを用いて、走査測定にて代表測定単位全面を確認し、計数率 (**cpm**) が最大となる箇所とすることとし、最大となる箇所を特定出来ない場合は、代表測定単位の中央部を測定点とする。走査測定のイメージを図 2 に示す。

放射能濃度確認対象物の評価単位の **Co-60** 放射能濃度は、代表測定単位のうち最大となる **Co-60** 放射能濃度とし、**D/C (⁶⁰Co)** が **1** 以下であることを確認し、国の確認を受ける。

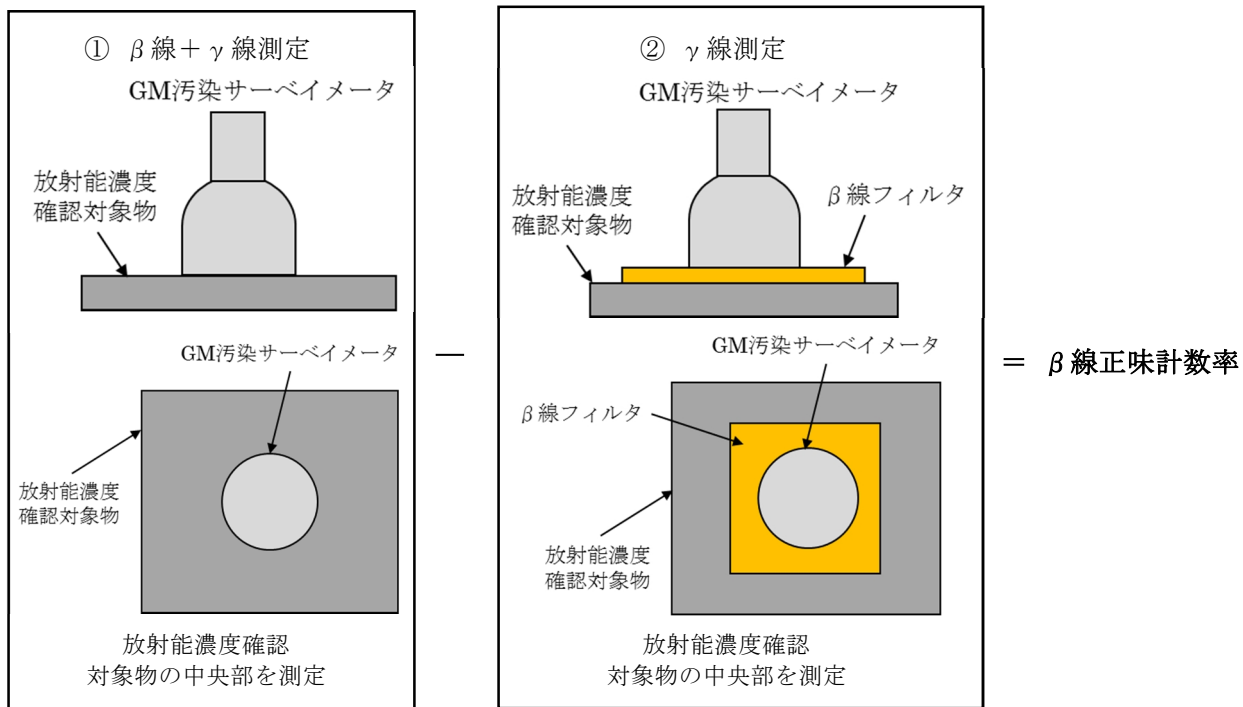


図1 GM汚染サーベイメータを使用した β 線測定イメージ

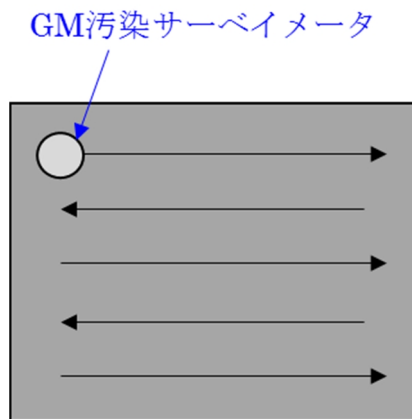


図2 GM汚染サーベイメータを使用した走査測定イメージ

2.1 放射エネルギーの測定条件

Co-60 の放射能濃度は、GM 汚染サーベイメータを用いて、放射能濃度確認対象物を測定して得られるβ線正味計数率に、放射能換算係数及び測定単位の放射能濃度確認対象物の表面積を乗じて求めた放射エネルギーを、放射能濃度確認対象物の重量で除して放射能濃度を決定する。ここで、放射能換算係数は、Co-60 標準線源を用いて設定する。GM 汚染サーベイメータを用いた Co-60 放射能濃度算出式を式(1)に示す。

【Co-60放射能濃度算出式】

$$D = n_{\text{net}} \times CF \times S / W \cdots \cdots \text{式(1)}$$

D : Co-60の放射能濃度(Bq/g)

n_{net} : 統計誤差を考慮したβ線正味計数率(cpm)

CF : 不確かさを考慮したCo-60に対する放射能換算係数(Bq/cm²/cpm)

S : 放射能濃度確認対象物の表面積(cm²)

W : 放射能濃度確認対象物の重量(g)

2.2 放射能濃度を決定する方法に関する不確かさ

放射能濃度を決定する方法に関する不確かさは、GM 汚染サーベイメータの測定条件等および放射線測定値に起因する不確かさを考慮する。不確かさを考慮することにより、放射能濃度確認対象物の Co-60 の放射能濃度 (D) を規則別表第 1 の第 2 欄の放射能濃度 (C) で除した放射性物質の D/C について、信頼の水準を片側 95% としたときの上限値 (以下「片側 95%上限値」という。) が 1 を超えないことを評価する。

(1) 測定条件等に起因する不確かさ

測定条件等に起因する不確かさについては、放射能換算係数に関する不確かさ、放射能濃度確認対象物の表面積測定の誤差および重量測定の際の重量測定器の計測誤差を考慮する。

放射能換算係数に関する不確かさとしては、放射能換算係数取得時の標準線源の誤差を考慮する。不確かさを考慮した放射能換算係数の算出式を式(2)に示す。

$$CF = (1 + U') \times CF' \cdots \cdots \text{式(2)}$$

CF : 不確かさを考慮した Co-60 に対する放射能換算係数(Bq/cm²/cpm)

U' : 標準線源の誤差(5%)

CF' : 放射能換算係数(Bq/cm²/cpm)

表面積測定の測定誤差については、放射能濃度確認対象物の縦及び横の各々の最大寸法で表面積を算出する際、寸法測定器の許容誤差を加えることにより考慮する。寸法測定器の許容誤差は、日本工業規格 (JIS B 7512(2018)鋼製巻尺) に基づき、寸法測定器の仕様 (最大長 : 200cm) より算出し、±0.4mmとする。

なお、図3に放射能濃度確認対象物の表面積の計測方法を示す。式(1)に示す通り、表面積を大きく算出することによりCo-60の放射能濃度を保守的に評価する。

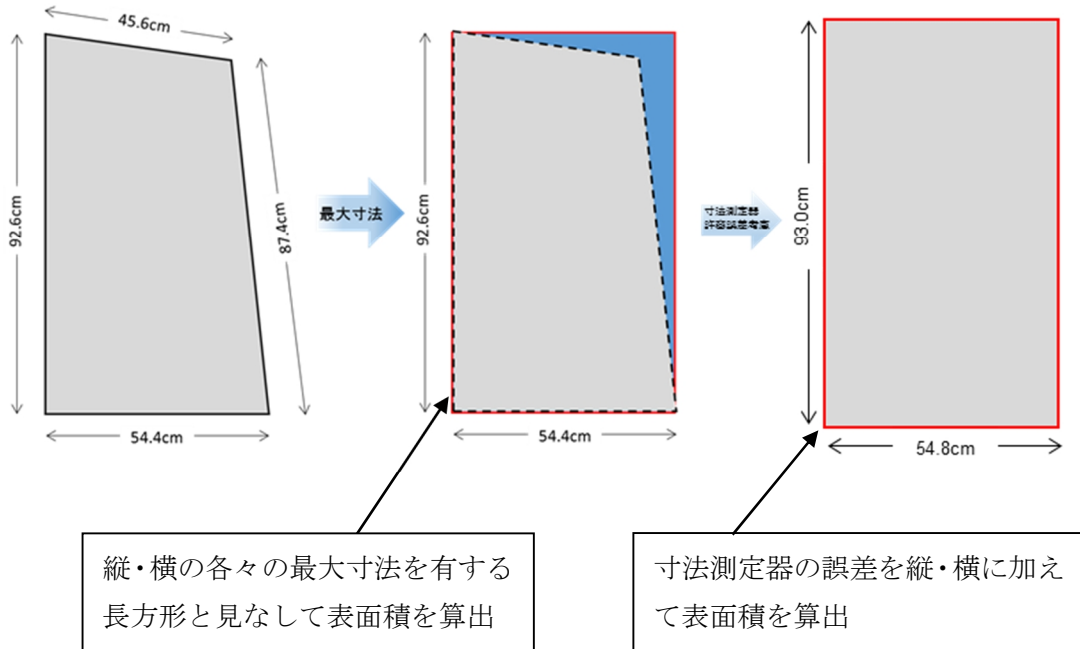


図3 放射能濃度確認対象物の表面積算出方法

重量測定器の計測誤差は、放射能濃度確認対象物の重量毎に、日本工業規格（JIS B 7611-2(2015) 非自動はかり—性能要件及び試験方法-第2部：取引又は証明用）に基づく使用公差で考慮する。放射能濃度確認対象物の重量は、重量測定器での計測値から使用公差の絶対値を減ずることによって算出する。式(1)に示す通り、放射能濃度確認対象物の重量を小さく算出することにより、Co-60の放射能濃度を保守的に評価する。表1に重量測定器の使用公差を示す。

表1 重量測定器の使用公差

放射能濃度確認対象物の重量	使用公差※
0 kg以上5 kg以下	±0.01kg
5 kgを超え20 kg以下	±0.02kg
20 kgを超え60kg以下	±0.03kg

※ 重量測定器の最小表示0.01kgを基に算出

(2) 放射線測定値に起因する不確かさ

放射線測定値に起因する不確かさについては、測定された計数率の統計誤差を考慮することとし、式(3)により統計誤差を考慮したβ線正味計数率を算出する。包含係数は、信頼の水準を片側95%としたときの1.645とする。

$$n_{\text{net}} = n'_{\text{net}} + k \times \sigma_n \quad \dots\dots\dots \text{(式(3)-1)}$$

$$n'_{\text{net}} = n_G - n_B \quad \dots\dots\dots \text{(式(3)-2)}$$

n_{net} : 統計誤差を考慮した β 線正味計数率

n'_{net} : β 線正味計数率

n_G : $\beta + \gamma$ 線グロス計数率

n_B : 全 γ 線グロス計数率

k : 包含係数 ($k = 1.645$)

σ_n : β 線正味計数率の統計誤差

3. 放射線測定装置の種類及び測定条件

3.1 放射線測定装置の種類

放射能濃度確認対象物の放射能濃度は、**Co-60** を評価対象核種とし、測定により決定する。**Co-60** の放射能濃度は、 β 線を測定すること並びに放射能濃度確認対象物は平板であり、かつ表面が平滑であることから汎用の放射線測定器である **GM** 汚染サーベイメータを用いて測定する。

3.2 放射線測定装置の測定条件

測定条件とは、放射能濃度確認対象物の評価対象核種 (**Co-60**) の放射能濃度が基準以下であることの判断を可能にする**GM**汚染サーベイメータの測定値及び検出限界値を得るための条件であり、放射能濃度確認対象物の重量、表面積、 β 線測定時間、バックグラウンド測定時間（以下「**BG**測定時間」という。）及びバックグラウンドを考慮する。

これらの測定条件のうち、放射能濃度確認対象物の重量、表面積の測定値及び放射能換算係数を設定し、放射能濃度及び検出限界値を計算する。また、放射能換算係数の設定の前提となる検出器の測定効率が維持されていることを、定期的に確認する。

(1) 測定条件等の設定

Co-60 の放射能濃度の測定に際しては、放射能濃度確認対象物の放射能濃度が規則第 2 条で規定される基準以下になることの判断が可能となるように放射能濃度確認対象物の重量、表面積、 β 線測定時間及び **BG** 測定時間を設定する。また、放射能換算係数の相対誤差を設定する。

なお、実際に測定した放射能濃度の測定結果が検出限界値未満であった場合には、放射能濃度確認対象物の **Co-60** の放射能濃度の測定値は検出限界値と同じとする。

GM汚染サーベイメータ及び重量測定器の主な仕様及び測定条件を表2に示す。

表2 GM汚染サーベイメータ、重量測定器及び寸法測定器の主な仕様及び測定条件

名 称	概 要		
GM汚染サー ベイメータ	仕様	検出器	測定方式：ガイガー=ミュラー計数管 放射能換算係数：約 5.0×10⁻³Bq/cm²/cpm 検出限界放射能濃度：約 6.0×10⁻²Bq/g^{*1}
		型式	TGS-125^{*2}
	測定 条件	測定方法	外部よりβ線を測定
		測定単位	60kg以内
		対象物の 汚染性状	二次的な汚染
		対象物の 形状	平板
		対象物の 材質	金属（ステンレス鋼）
		測定時間	時定数：30秒 測定時間：90秒
	BG 測定時間	時定数：30秒 測定時間：90秒	
重量測定器	仕様	測定範囲： 0~60kg 最小表示： 0.01kg	
寸法測定器	仕様	測定範囲： 0~200cm 最小表示： 0.1cm	

※1：放射能濃度確認対象物の形状により変動する。

※2：代表型式である。今後の製品開発に伴い変更となる可能性がある。

(2) 検出限界値

放射能濃度測定に用いるGM汚染サーベイメータの検出限界値は、放射能濃度確認対象物の測定単位のCo-60放射能濃度の測定の都度、算出する。検出限界値の算出は「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針（平成13年3月29日 原子力安全委員会）」に基づき算出する。

ここで、検出限界放射能濃度は測定の都度算出し、算出された検出限界放射能濃

度が規則別表第1第2欄の**Co-60**放射能濃度以下であることを確認する。

(3) 点検・校正

GM汚染サーベイメータを使用するときは、あらかじめ日常点検を行うとともに、**1年に1回**定期点検を行う。

日常点検（使用中において**1回／日**）では、**BG**測定、**Co-60**標準線源を用いた検出効率の確認等を行う。

Ⅲ. 放射能濃度確認対象物の管理方法について

1. 放射能濃度測定前の管理

放射能濃度測定前の放射能濃度確認対象物は、汚染のおそれのない管理区域である廃棄物庫にて保管容器に封入し、保管している。放射能濃度確認対象物は、汚染のおそれのある管理区域である保修点検建屋内の鋼製材で区画されたエリアで分別後、放射能濃度測定までの間、追加的な汚染を防止するため容器に封入し、測定待ちエリアに保管する。

廃棄物庫内の放射能濃度確認対象物保管場所、保修点検建屋内の分別、測定待ちエリアの管理としては、出入口を施錠管理し、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の立入りを制限するよう管理することにより、異物の混入及び放射性物質による追加的な汚染を防止する。

2. 放射能濃度測定後の管理

放射線測定装置による放射能濃度測定場所は、保修点検建屋内の汚染のおそれのない管理区域内とし、出入口を施錠管理し、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の立入りを制限するよう管理する。

放射能濃度測定時においては、放射能濃度測定前後の放射能濃度確認対象物が混在しないように識別管理することにより異物の混入を防止する。万一、異物が混入した場合にもその状況を確認することができるよう、測定時に放射能濃度確認対象物を写真撮影する。

放射能濃度の測定の結果、評価単位の評価対象核種（**Co-60**）の放射能濃度が基準以下となる放射能濃度確認対象物は、保管容器に封入する。

3. 放射能濃度測定後から放射能濃度確認までの管理

放射能濃度測定後の放射能濃度確認対象物は、評価単位毎に整理番号を付して、放射能濃度についての確認を受けるまでの間、異物の混入及び放射性物質による追加的な汚染を防止するため、保管容器に封入した状態で汚染のおそれのない管理区域である廃棄物庫内に設定した確認待ちエリアに保管する。確認待ちエリアの管理としては、出入口を施錠管理し、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の立ち入りを制限するよう管理する。

以上については、内部監査等により品質管理が的確に実施され、維持されていることを確認する。

図 1 に放射能濃度確認対象物の運搬の物流及び異物の混入等の防止措置の概要を、図 2 に運搬容器及び保管容器の概要図を示す。

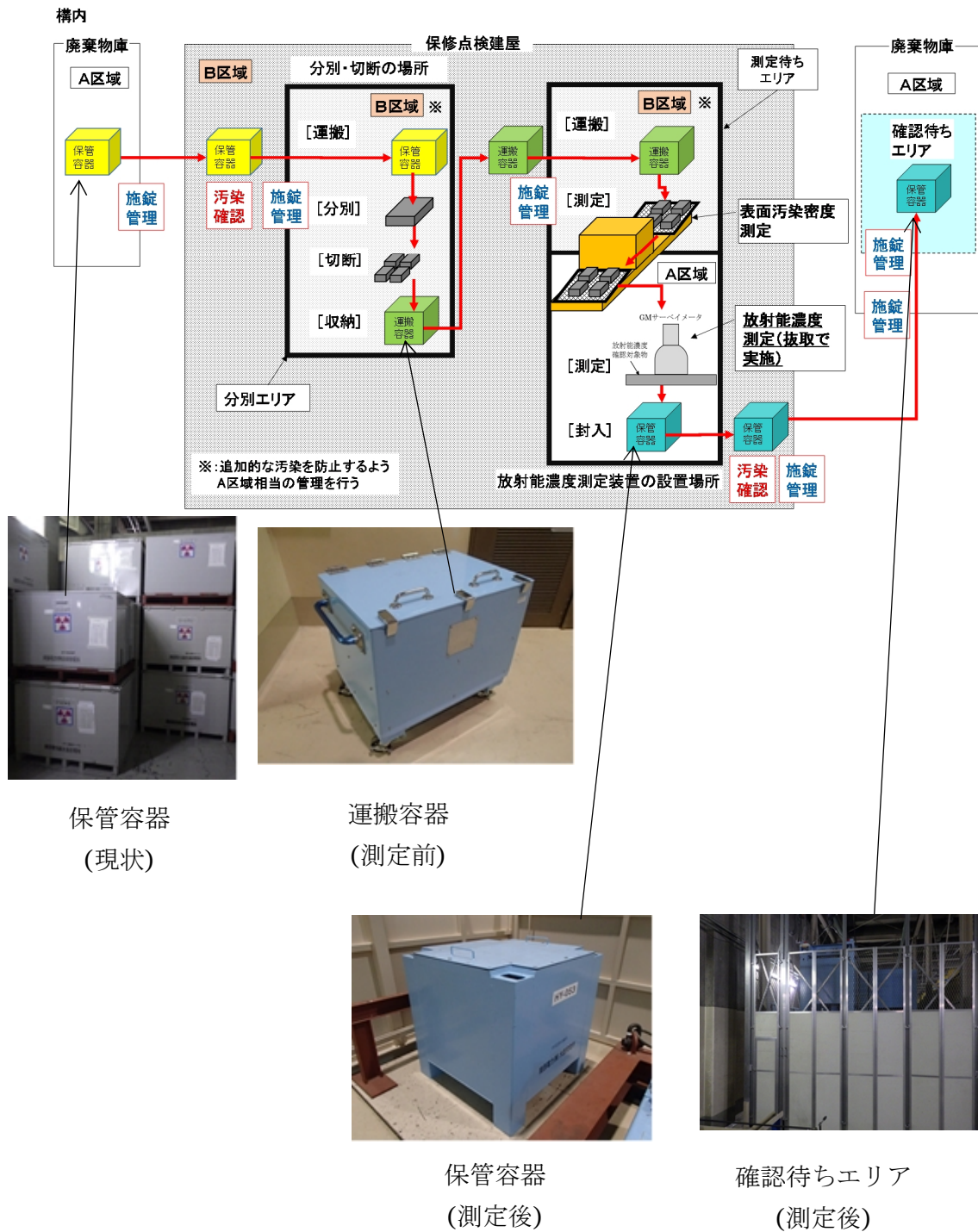
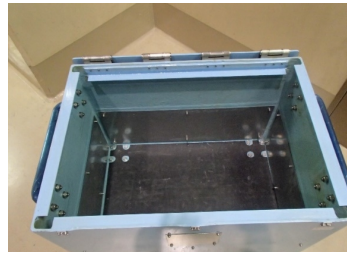


図 1 放射能濃度確認対象物の運搬の物流及び異物の混入等の防止措置の概要

運搬容器(測定前)の概要



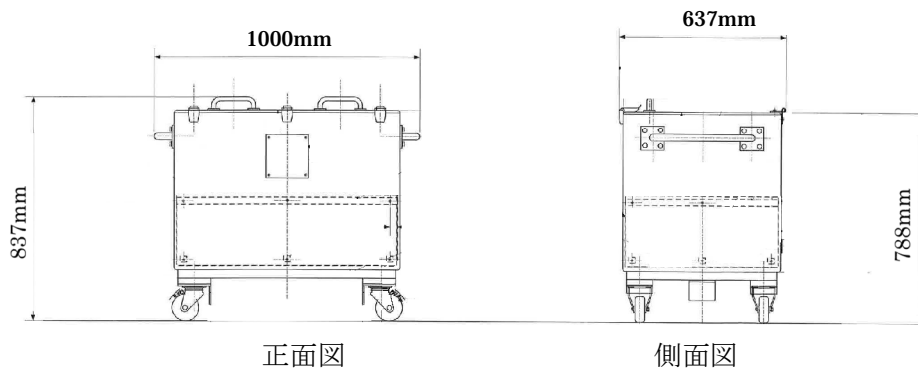
容器外観写真



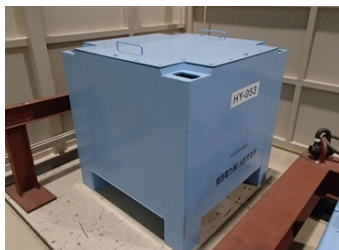
容器内部写真



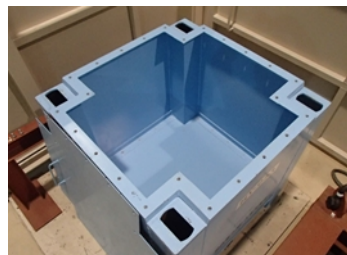
施錠箇所写真



保管容器(測定後)の概要



容器外観写真



容器内部写真



施錠箇所写真

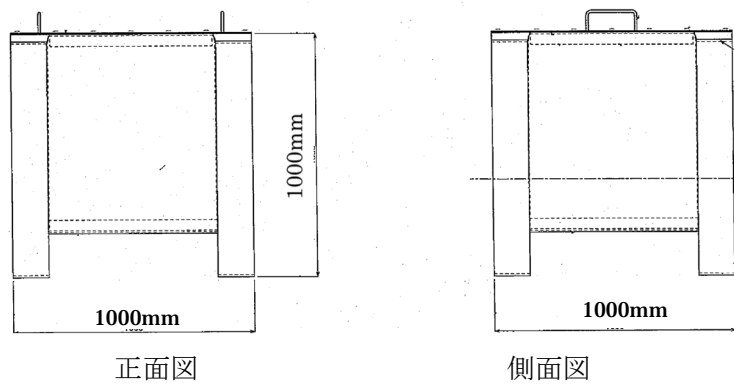


図2 運搬容器及び保管容器の概要図

IV. 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ついて

1. 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概要

放射能濃度確認対象物の放射能濃度の測定及び評価、並びに放射能濃度確認対象物の保管管理に関する業務を高い信頼性をもって実施し、かつその信頼性を維持・改善するための品質保証の体制を以下の通り定める。

放射能濃度確認対象物の放射能濃度の測定及び評価、並びに放射能濃度確認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大飯発電所原子炉施設保安規定に定める。

放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務は、当該業務を実施する上で必要な知識・技能について社内規定に定め、当該業務を実施する者への定期的な教育・訓練の実施により、知識・技能の維持を図る。また、測定及び評価に必要な知識・技能を習得した者がそれぞれの業務を実施するよう規定する。

放射能濃度の測定及び評価に使用するGM汚染サーベイメータは、定期的な点検・校正を含む保守管理を社内規定に定め実施する。

品質マネジメントシステム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と実施、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。

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は2.項に記載した。

2. 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

放射能濃度確認対象物の放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認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。

品質マネジメントシステム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と実施、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。

放射能濃度確認対象物の発生から分別、放射能濃度確認対象物の測定・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・保存、不適合の発生時の処置（是正処置及び必要に応じて予防措置を含む。）等を行う際には、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放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務の信頼性を確保する。

以上については、大飯発電所原子炉施設保安規定及び原子力発電の安全に係る品質保証規程並びにこれに基づく社内規定において具体的な運用の手順を定めて実施するとともに、これらを継続的に改善することとする。

2.1 責任の明確化

放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務を統

一的に管理する者を、大飯発電所原子炉施設保安規定に定める。

2.2 教育・訓練

放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務を実施する上で必要な教育・訓練について、社内規定に定め、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。また、測定及び評価に必要な知識及び技術を習得した者がそれぞれの業務を実施するよう規定する。

2.3 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 **GM** 汚染サーベイメータについては、点検・校正等についての手順を社内規定に定め、定期的な点検・校正、保守管理を実施する。

2.4 分別管理

放射能濃度の測定から確認を受けるまでの間、保管場所等において、放射能濃度確認対象物に、放射能濃度確認対象物以外の物が混在しないよう分別管理する。

2.5 業務の実施

放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務に関しては、大飯発電所原子炉施設保安規定及び原子力発電の安全に係る品質保証規程並びにこれに基づく社内規定において具体的な手順を定め、業務を実施する。

2.6 評価及び改善

放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務が定められた手順のとおり実施していること等について、定期的に内部監査を行い、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放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務において、**GM** 汚染サーベイメータ等の不具合、ヒューマンエラー等を発生させないよう努めるとともに、万一、不適合が発生した場合は適切な処置をとり、原因の究明及び対策、必要に応じて予防措置を講じる。

また、これらの放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務について、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。

(参考) 不確かさの設定に関する審査基準との適合性

1. 審査基準「3.3. 放射能濃度の決定方法」の適合性

以下の審査基準に対する適合性を下表に示す。

3.3. 放射能濃度の決定方法 (抜粋)	
(1) 放射線測定法又は「放射性物質の組成比、計算その他の方法」によって評価単位のを評価するに当たっては、以下のとおりであること。	
イ：放射線測定法によって放射能濃度を決定する場合には、放射線測定値、測定効率 (放射線検出器の校正、測定対象物と放射線測定器との位置関係、測定対象物内部での放射線の減衰等)、測定条件 (実際の測定条件と測定効率を設定した条件との違い、測定場所周辺のバックグラウンドの変動等)、データ処理 (放射能濃度換算等) に起因する不確かさに関する適切な説明がなされていること。	

表 審査基準 (3.3. 放射能濃度の決定方法 (1) イ項の不確かさ) の適合性

要求事項 (不確かさに関する説明)		説明
放射線測定値		正味計数率に関して、統計誤差を考慮し、包含係数は、信頼の水準を片側 95% としたときの 1.645 とする。
測定効率	放射線検出器の校正	標準線源の誤差を考慮した 5% を放射能換算係数に加算する。
	測定対象物と放射線測定器との位置関係	放射能濃度確認対象物が平板であることより、直付けして測定することから、考慮する必要はない。
	測定対象物内部での放射線の減衰等	二次的な汚染の放射能濃度確認対象物の表面汚染であることから、考慮する必要はない。
測定条件	実際の測定条件と測定効率を設定した条件との違い	放射能濃度確認対象物が平板であり均一な二次的な汚染であることから違いはない。
	測定場所周辺のバックグラウンドの変動等	放射能濃度確認対象物の測定毎にバックグラウンドを測定することから、考慮する必要はない。
データ処理 (放射能濃度換算等)		重量計の誤差を放射能濃度確認対象物の重量に加算する。 表面積測定時の縦横長さの計測誤差を加算し放射能濃度確認対象物の表面積を算出する。