

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-156836
(P2021-156836A)

(43) 公開日 令和3年10月7日(2021.10.7)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 T 1/167 (2006.01) GO 1 T 1/167 C 2 G 1 8 8

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2020-60022 (P2020-60022)
(22) 出願日 令和2年3月30日 (2020.3.30)

(71) 出願人 505374783
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地
1
(74) 代理人 100097113
弁理士 堀 城之
(74) 代理人 100162363
弁理士 前島 幸彦
(74) 代理人 100194283
弁理士 村上 大勇
(72) 発明者 林 宏一
福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発
法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉
原型炉ふげん内

最終頁に続く

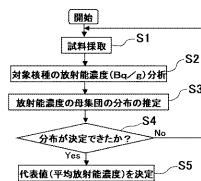
(54) 【発明の名称】 分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法

(57) 【要約】

【課題】放射能の実測が困難である核種に対して、安全性が損なわれる結果が出ないことを担保した上で、放射能濃度を適正に算出する。

【解決手段】まず、廃棄物に類似したと認められる評価専用の多数の試料が採取される（S1：試料準備工程）。次に、採取した試料の各々について、核種毎の放射能濃度が測定される（S2：測定工程）。このように評価対象となった核種について試料に対応した多くの測定結果（放射能濃度）が得られたら、この測定結果の母集団の分布が推定される（S3：分布推定工程）。このように分布が決定された場合（S4：Yes）には、この結果に基づき、放射能濃度の代表値が決定される（S5：設定工程）。ここで、評価対象となった核種の放射能濃度の代表値としては、信頼上限値が採用される。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射性の廃棄物（クリアランスを含む）における核種毎の放射能濃度の評価を行う際に、前記廃棄物における放射能が直接測定できない核種に対して、前記廃棄物に類似したと認められる前記廃棄物の発生範囲から採取した複数の試料に対する当該核種の放射能濃度を測定した結果から当該核種の放射能濃度の代表値を算出し、当該代表値を前記廃棄物の当該核種における前記放射能濃度として設定する放射能評価方法であって、

予め定められた基準により複数の前記試料を準備する試料準備工程と、

複数の前記試料における当該核種の放射能を測定し、測定された前記放射能の値と前記試料の重量より前記試料毎の放射能濃度を測定する測定工程と、

前記測定工程によって前記試料に対応して得られた複数の放射能濃度の値の度数分布において、母集団が従う分布を推定する分布推定工程と、

前記分布において下限からの累積度数が50%を超える範囲で一定の基準により定められた信頼上限値を、前記代表値として設定する設定工程と、

を具備することを特徴とする、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法。

10

【請求項 2】

前記分布は、対数正規分布とされたことを特徴とする請求項 1 に記載の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法。

【請求項 3】

前記試料準備工程において、複数の前記試料の各々を、原子炉施設における配管の一部として一定の面積となるべく採取し、

前記測定工程において、測定される前記放射能が検出限界値以下であった試料に対しては、前記放射能が当該検出限界値であるとして前記放射能濃度を設定して、前記推定工程を行うことを特徴とする請求項 2 に記載の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法。

20

【請求項 4】

前記分布は、正規分布とされたことを特徴とする請求項 1 に記載の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法。

【請求項 5】

前記試料準備工程において、複数の前記試料の各々を、原子炉施設における配管の一部として一定の重量となるべく採取し、

前記測定工程において、測定される前記放射能が検出限界値以下であった試料に対しては、前記放射能が当該検出限界値であるとして前記放射能濃度を設定して、前記推定工程を行うことを特徴とする請求項 4 に記載の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法。

30

【請求項 6】

前記測定工程の対象となる前記核種は、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{52}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am のいずれかであることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 までのいずれか 1 項に記載の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子炉等の廃止措置等に関わる廃棄物（クリアランスを含む）の処理を行うために放射能を評価する放射能評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

原子炉等の廃止措置において扱われる廃棄物として、放射能濃度が高いために放射性廃棄物として取り扱うべきものと、放射能濃度が低く自然放射能レベルとみなされるために

50

通常の廃棄物として取り扱えるもの（クリアランス）の２種類がある。前者と後者の区分をするための判定（クリアランス判定）のためには、廃棄物の放射能を示す指標となる値と閾値との大小関係が認識される。また、全ての廃棄物の全ての箇所における放射能を測定することは実質的には不可能であるため、実際に放射能濃度が測定される点数は限定され、限定された数のサンプルから上記の指標となる値が算出されて、上記の判定が行われる。

【 0 0 0 3 】

このため、実際の廃棄物においてこのようなクリアランス判定を適正に行うことは容易ではない。ただし、公共の安全の観点からは、本来はクリアランス判定をクリアした（放射能濃度が低い）と判定すべき廃棄物がクリアランス判定をクリアしなかった（放射能濃度が高い）と誤判定される場合は大きな問題とはならず、本来はクリアランス判定をクリアしない廃棄物がクリアランス判定をクリアすると誤判定される場合が特に問題となるため、特にこうしたケースが発生しないような（保守的な）値を採用する評価方法が好ましい。

10

【 0 0 0 4 】

特許文献 1 には、こうした点を考慮して、廃棄物における限られた数の測定箇所における測定結果を用いて、適正に上記の判定を行うことができる放射能評価方法が記載されている。

【 0 0 0 5 】

また、一般には単一の廃棄物に多数の放射性の核種が含まれており、核種の発する放射線の種類や半減期に応じて、各核種の外部に与える影響は異なる。このため、上記の放射能の測定は核種毎に行われ、核種毎の放射能濃度（単位 B q / g ）として測定される。放射性の核種の数が多いが、実際にはこのうちの核種を選定して測定するかが重要となる。この指針は、非特許文献 1 に記載されている。廃棄物において特に影響の大きな核種は実際には限定されるため、このように評価対象となる核種を予め限定することは測定の効率化のためには非常に有効である。

20

【 0 0 0 6 】

この場合、核種毎に基準放射能濃度が定められ、核種毎の放射能濃度と基準放射能濃度に対する比率が用いられてこの選定が行われる。図 9 は、このような測定対象となる核種と、各々の基準放射能濃度の例である。ここで、基準放射能濃度の値（単位：B q / g ）は、廃棄に際して外部に与える影響が大きなものについては低く（例えば ^{239}Pu で 0.1 B q / g ）、この影響が小さなものについては高く（例えば ^3H で 100 B q / g ）設定される。実際には、このうちの選定された一部の核種のみについて測定が行われる。このような基準で選定された核種のみについての放射能を廃棄物について測定した結果を用いることは合理的であり、これによって上記のクリアランス判定を適正かつ効率的に行わせることができる。図 9 において、N o が 1 ~ 1 0 の核種は、原子炉施設の廃棄物において予め影響が大きいと認識されている核種である。非特許文献 1 に記載されるように、例えば、ある廃棄物に対する前記のクリアランス判定に際して、図 9 における k の核種の放射能濃度を D_k 、図 9 に記載された基準放射能濃度を C_k とすると、評価対象となる核種の D_k / C_k の総和の値を、この判定のための指標とすることができる。

30

40

【 0 0 0 7 】

このため、評価対象となる核種が選定されてから、非破壊の状態における廃棄物からの放射線が放射線検出器で計測されることによって、上記の核種毎の放射能濃度（単位 B q / g ）が測定される。しかしながら、例えば、実際の廃棄物が小さいために放射能の絶対値は小さな場合でも、ここで判定に用いられるのは前記のような単位質量当たりの放射能である。このため、選定された核種のうち、このように放射線を測定することのみによっては実際の放射能濃度を認識できない場合も多い。実際には、このように放射線の測定によって放射能濃度を高い頻度で認識することができる核種は、 ^{60}Co 等、上記の核種の一部である。この場合、他の核種については、その放射能濃度について合理的に推定された値を用いることが必要となる。この場合には、非特許文献 1 に記載されるように、核種

50

組成比法、平均放射能濃度法を用いることができる。

【0008】

核種組成比法は、対象となる核種（廃棄物における放射能の実測が困難である核種）と廃棄物における放射能の実測が可能である核種との組成の間に相関関係がある場合に適用できる。この相関関係は、廃棄物に類似したと認められる廃棄物の発生範囲から採取した試料によって実験的に確認される必要がある。例えば、 ^{90}Sr 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am の濃度は、いずれも核分裂反応によって生成されるため、同様に核分裂反応で生成される ^{137}Cs の濃度と相関がある。また、 ^{54}Mn 、 ^{134}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu の濃度は、いずれも廃棄物の元となった構造材中の元素が放射化されて生成されるため、同様に放射化によって生成される ^{60}Co と相関がある場合がある。この場合、核種組成比法においては ^{137}Cs の放射能濃度が実測でき、かつ実際に上記の相関関係が廃棄物に類似したと認められる廃棄物の発生範囲から採取した試料で確認されれば、 ^{137}Cs の放射能濃度に定数（組成比）を乗じて ^{90}Sr 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am の放射能濃度を推定することができる。同様に、 ^{60}Co の放射能濃度が実測できれば、 ^{54}Mn 、 ^{134}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu の放射能濃度を推定することができる。

10

【0009】

平均放射能濃度法は、上記のように測定可能な核種との相関が認められない核種に対して適用される。これが適用される例としては、例えば ^3H がある。ここでは、クリアランス判定を行う際の廃棄物とは別の、この測定のための専用の多くの試料が用いられ、その中における対象となる核種の濃度が、放射線の検出以外の方法も含む各種の分析法によって測定される。前記のようなクリアランス判定を行う際の廃棄物における放射線の検出は廃棄物を非破壊とした状態で行われるが、ここでは精度の高い破壊分析も用いることができる。このため、ここで用いられる試料は実際の廃棄物とは異なるものの、この核種の組成分析（放射能濃度の算出）を、高精度で行うことができる。このように多くの専用の試料から定められた放射能濃度の代表値（平均放射能濃度）が、廃棄物におけるこの核種の放射能濃度として採用される。この代表値としては、平均値等を用いることができる。

20

【0010】

実際には廃棄物からの実測値を用いた評価が好ましいため、可能な限りにおいては廃棄物からの放射線を実測する方法が用いられ、これが不可能である場合に、核種組成比法、平均放射能濃度法が用いられる。核種組成比法においては廃棄物における実測の放射能濃度が考慮されるのに対し、平均放射能濃度法においては廃棄物とは基本的に関係なく放射能濃度が推定されるため、平均放射能濃度法は核種組成比法が適用できない場合、すなわち対象となる核種と相関関係がありかつ廃棄物における放射能が測定可能な核種がない場合においてのみ用いることが好ましい。

30

【0011】

ただし、核種組成比法においても、例えば対象となる核種の半減期と、この核種との間に相関があり測定可能な核種の半減期とが大きく異なる場合には、放射能濃度の算出のために用いられる組成は経時変化する。また、クリアランス判定を行う際の廃棄物における放射線の検出は廃棄物を非破壊とした状態で行われるため、検出が困難な場合は保守的に検出限界値を実測可能な核種の放射能濃度として用いることから、対象となる核種について推定された放射能濃度は不正確となる場合もある。このため、実際は平均放射能濃度法が適用されることも想定される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2015-145792号公報

【0013】

【非特許文献1】原子力規制委員会、廃棄に関する規則・告示・内規・ガイドにおけるクリアランス制度、「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」（令和元年9月）（<https://>

50

/www.nsr.go.jp/data/000283697.pdf)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

上記のように、廃棄物の放射能濃度を実測することが困難な核種については、平均放射能濃度法を適用してその放射能濃度を推定する場合がある。しかしながら、前記のように、平均放射能濃度法が適用される核種については、廃棄物のみならず平均放射能濃度法用の試料においても存在量が少ないため、その算出精度を高くすることは困難であった。この際には、前記のように本来はクリアランス判定をクリアしない廃棄物がクリアランス判定をクリアすると誤判定される場合が特に問題となるため、安全性を確保するためには、特にこうしたケースが発生しないような評価方法が好ましい。

10

【0015】

このため、廃棄物における放射能の実測が困難である核種に対して、安全性が損なわれる結果が出ないことを担保した上で、放射能濃度を適正に算出することが求められた。

【0016】

本発明は、上記に係わる問題点を鑑みてなされたものであり、上記問題点を解決する発明を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

20

本発明の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法は、放射性の廃棄物（クリアランスを含む）における核種毎の放射能濃度の評価を行う際に、前記廃棄物における放射能が直接測定できない核種に対して、前記廃棄物に類似したと認められる前記廃棄物の発生範囲から採取した複数の試料に対する当該核種の放射能濃度を測定した結果から当該核種の放射能濃度の代表値を算出し、当該代表値を前記廃棄物の当該核種における前記放射能濃度として設定する放射能評価方法であって、予め定められた基準により複数の前記試料を準備する試料準備工程と、複数の前記試料における当該核種の放射能を測定し、測定された前記放射能の値と前記試料の重量より前記試料毎の放射能濃度を測定する測定工程と、前記測定工程によって前記試料に対応して得られた複数の放射能濃度の値の度数分布において、母集団が従う分布を推定する分布推定工程と、前記分布において下限からの累積度数が50%を超える範囲で一定の基準により定められた信頼上限値を、前記代表値として設定する設定工程と、を具備することを特徴とする。

30

前記放射能評価方法において、前記分布は、対数正規分布とされたことを特徴とする。

本発明の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法は、前記試料準備工程において、複数の前記試料の各々を、原子炉施設における配管の一部として一定の面積となるべく採取し、前記測定工程において、測定される前記放射能が検出限界値以下であった試料に対しては、前記放射能が当該検出限界値であるとして前記放射能濃度を設定して、前記推定工程を行うことを特徴とする。

本発明の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法において、前記分布は、正規分布とされたことを特徴とする。

40

本発明の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法は、前記試料準備工程において、複数の前記試料の各々を、原子炉施設における配管の一部として一定の重量となるべく採取し、前記測定工程において、測定される前記放射能が検出限界値以下であった試料に対しては、前記放射能が当該検出限界値であるとして前記放射能濃度を設定して、前記推定工程を行うことを特徴とする。

本発明の、分析結果に基づく平均放射能濃度を用いた放射能評価方法において、前記測定工程の対象となる前記核種は、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am のいずれかであることを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

50

本発明は以上のように構成されているので、廃棄物における放射能の実測が困難である核種に対して、安全性が損なわれる結果が出ないことを担保した上で、放射能濃度を適正に算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の実施の形態に係る放射能評価方法を示すフローチャートである。

【図2】分布推定工程において推定された母集団の分布、及びこの分布における代表値を示す例である。

【図3】実際の試料における核種毎の放射能の実測の可否の状況を示す表である。

【図4】試料となった原子炉施設の配管の厚さと配管長の関係である。

10

【図5】は ^3H (a)、 ^{90}Sr (b)の放射能濃度 (Bq/g) と累積相対度数 (%) の関係を示す図である。

【図6】 ^{134}Cs (c)、 ^{137}Cs (d)の放射能濃度 (Bq/g) と累積相対度数 (%) の関係を示す図である。

【図7】 ^{152}Eu (e)、 ^{154}Eu (f)の放射能濃度 (Bq/g) と累積相対度数 (%) の関係を示す図である。

【図8】 ^{239}Pu (g)、 ^{241}Am (h)の放射能濃度 (Bq/g) と累積相対度数 (%) の関係を示す図である。

【図9】評価の対象となりうる核種とその基準放射能濃度を示す表である。

【発明を実施するための形態】

20

【0020】

本発明の実施の形態に係る放射能評価方法について説明する。この放射能評価方法においては、前記の平均放射能濃度法が適用されるが、平均放射能濃度 (複数の試料から認識された放射能濃度の代表値) の算出方法に特徴を有する。

【0021】

図9におけるNoが1~10の核種のうち、 ^{60}Co は廃棄物における放射能の直接測定が可能である場合が多い。また、 ^{54}Mn は ^{60}Co との間の相関が認められるため、 ^{60}Co の測定結果を用いた核種組成比法で算出される。ここでは、廃棄物における放射能の直接測定及び核種組成比法の適用が困難である場合がある ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am に対して、この本発明の実施の形態に係る放射能評価方法 (あるいは平均放射能濃度法) が適用した場合について以下に説明する。

30

【0022】

前記のように、平均放射能濃度法においては、これらの核種の放射能濃度の代表値としての平均放射能濃度が定められる。ここで、「平均放射能濃度」とは、放射能濃度の代表値の意味であり、実際には以下に説明するように、「平均値」とは異なるが、以下ではこの代表値を平均放射能濃度と呼称する。

【0023】

図1は、この放射能評価方法を示すフローチャートである。ここでは、まず、前記の通り廃棄物に類似したと認められる廃棄物の発生範囲から採取した評価専用の多数の試料が採取される (S1: 試料準備工程)。試料の数は多いほど好ましい。この試料は、例えば原子炉施設の配管の一部であり、予め定められた基準に基づき、例えば同一面積 (例えば5cm角) のものとして採取される。試料の採取法 (形態) については後述する。また、実際には後述する試料の分析は破壊分析で行われるため、この試料は分析対象となる核種の分析方法に応じて設定することが好ましい。

40

【0024】

次に、採取した試料の各々について、核種毎の放射能濃度が測定される (S2: 測定工程)。例として、 ^3H の放射能は、試料を空气中で完全燃焼して化合物の形で回収した上でこの回収物の放射線を放射線検出器で検出する全燃焼法で測定される。 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am については、試

50

料を酸で溶解した溶解試料からこれらの元素を沈殿させて精製する、あるいはキレート樹脂を用いて精製することによって得られた精製物に対して、これらの核種が発する放射線強度を放射線検出器によって検出することによって、これらの核種に対する放射能が測定される。ここで測定されるのは放射能濃度 (B q / g) であり、上記のように検出された放射線強度から算出された放射能 (B q) を、試料の重量 (g) で除した値として算出される。これらの分析方法は、高精度であるがいずれも破壊分析であるため、上記の分析専用の試料に対してのみ適用が可能であり、クリアランス判定を行う際の廃棄物自身に対しては適用が不可能である。

【 0 0 2 5 】

このように評価対象となった核種について試料に対応した多くの測定結果 (放射能濃度) が得られたら、この測定結果の母集団の分布が推定される (S 3 : 分布推定工程)。この分布として典型的なものとしては、正規分布、対数正規分布等がある。このため、この場合には、例えば、母集団が正規分布に従うとした場合に Student ' s t の方法を行い、対数正規分布である場合には、Student ' s t の方法、Land の方法、Chebyshev (M V U E) の方法等を適用することができる。この際、推定された各分布に対する適合度が数値化されて算出されるため、この適合度を基にして、例えば母集団が正規分布、対数正規分布 (あるいは更に他の種類の分布) のいずれかに従うかを判定することができる。なお、このような多数の測定結果を基にした母集団の分布の推定方法は周知の統計的手法であり、例えば U . S Environmental Protection Agency、" Calculating upper confidence limits for exposure point concentrations at hazardous waste sites "、OSWRR 9 2 8 5 . 6 - 1 0 (2 0 0 2 年) に記載されている。

【 0 0 2 6 】

図 2 は、この状況を模式的に示す。ここで、最上段に測定結果がプロットとして分散表示されており、この分布が下段で示されたような対数正規分布に従うものとしている。このように分布が定まったら、この核種に対する放射能濃度の代表値として、この分布から一定の基準により定まる値を設定することができる。図 2 においては、放射能濃度の平均値が X_0 とされ、放射能濃度がこれ以下である累積度数が 5 % である場合の放射能濃度 (信頼下限値) が X_- 、放射能濃度がこれ以上である累積度数が 9 5 % である場合の放射能濃度 (信頼上限値) が X_+ とされる。この際、実際の放射能濃度が X_- と X_+ の間にある確率は 9 0 % 以上であると認識される。ここで、 X_0 は必然的に全ての測定結果の平均値に近い値となるが、 X_- 、 X_+ については、上記のように分布関数を推定してから設定される。

【 0 0 2 7 】

このため、このように分布が決定された場合 (S 4 : Y e s) には、この結果に基づき、放射能濃度の代表値 (平均放射能濃度) が決定される (S 5 : 設定工程)。ここで、この放射能評価方法においては、評価対象となった核種の放射能濃度の代表値 (平均放射能濃度) としては、上記の X_+ (信頼上限値) が採用される。前記の通り X_0 は実測された放射能濃度の値のみから近似的に算出することが可能であるが、その値の代表値としての妥当性は担保されない。これに対して、上記のように推定された X_+ の値の妥当性は上記の検定によって判断することができ、かつ、 $X_+ > X_0$ であるため、この手法によって平均放射能濃度は大きめの値に見積もられる。このため、この放射能評価方法は、単純な測定値の算術平均から平均放射能濃度を定める従来の方法よりもクリアランス判定に際しては安全性が高い。

【 0 0 2 8 】

想定される分布の全てに対する適合度がいずれも不十分であるために分布が決定できなかった場合 (S 4 : N o) は、例えば試料の数が不十分である、試料が不適切である等の事情が考えられる。このため、試料の採取 (S 1) から上記の動作を行わせることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

図 1 の動作において、母集団の分布の推定 (S 3)、分布の適否の判定 (S 4)、代表値の設定 (S 5) は、コンピュータを用いて容易に行うことができる。このため、上記の放射能評価方法を容易に実現することができる。また、上記の例では信頼上限値を設定するための累積度数が上限側の 9 5 % であるものとしたが、この値は適宜設定が可能であり、上限側から 5 0 % 以内 (下限側からは 5 0 % よりも大きい) 範囲で上限に近い値を、一定の基準の下で適宜設定することができる。

【 0 0 3 0 】

ここで、上記の放射能評価方法 (平均放射能濃度法) における、原子炉関連の廃棄物に対して適用する際の事情に応じた、更なる特徴について以下に説明する。前記の通り、多数の試料の放射能濃度 (B q / g) は、一定の分布に従う。ここで、放射能 (B q) は、前記の通り個々の試料に対して実測された量であり、放射能濃度 (B q / g) は、この放射能 (B q) を試料の重量 (g) で除した値である。

【 0 0 3 1 】

試料は、例えば原子炉施設の配管の一部であり、同一面積 (例えば 5 c m 角) のものが多数用いられる。図 3 は、図 9 における評価対象となる N o が 1 ~ 1 0 の核種に対する複数の試料における実際の放射能濃度の測定結果 (図 1 における S 2) の例であり、試料数と、その中で有意に放射能が測定された数が示されている。ここでは、参考のために、平均放射能濃度法が適用されない ^{60}Co と ^{54}Mn についても示されており、これらに対しても、試料を酸で溶解した溶解試料からこれらの元素を沈殿させて精製した精製物に対する放射線強度が測定されることによって放射能が測定された。ここで、多くの試料に対して放射能の実測が可能であるのは、 ^{60}Co と ^{54}Mn のみであり、他の核種に対しては、放射能が有意に算出された試料の数が少ない。このため、このように放射能が有意に検出されない場合が多い核種に対しては、前記のような平均放射能濃度を高精度で算出するための試料の数が十分でない場合がある。

【 0 0 3 2 】

ここで、放射能濃度 (B q / g) の分布には、各試料における放射能 (B q) の値のばらつきが反映されるが、放射能濃度 (B q / g) は放射能 (B q) を試料の重量 (g) で除した値であるため、放射能濃度 (B q / g) の分布には試料の重量のばらつきも反映される。

【 0 0 3 3 】

図 4 は、ここで用いられた試料となった原子炉施設の配管の厚さと配管長の関係である。この関係は、2 . 5 ~ 5 m m 程度にピークをもち、この分布形状はほぼ対数正規分布に従う。配管長の長い箇所から多くの試料が採取されるため、ランダムに試料を採取する場合には、試料の数とこの試料が採取された配管の配管長には相関関係があり、図 4 における縦軸である配管長は、図 2 における縦軸の度数に対応する。上記の試料は一定面積とされているため、その重量はこの厚さに比例する。このため、試料の重量は図 4 と同様の分布 (対数正規分布) に従う。

【 0 0 3 4 】

また、上記の ^{90}Sr 等は、原子炉の運転中における原子炉冷却水の流れに伴って発生した二次的な汚染に起因して、試料の表面 (配管の内面) に付着したと考えられる。このため、これらの核種は実際にはこの表面に局在し、測定される放射能 (B q) は、実際には厚さ (重量) には依存しない場合が多い。この場合には、実際には上記の試料において測定された放射能濃度のばらつきにおいては、試料の重量のばらつきの寄与が大きい。

【 0 0 3 5 】

このため、試料の放射能濃度 (B q / g) として、実際の放射能 (B q) が測定された試料に対しては、放射能 (B q) / 試料の重量 (g) を採用し、実際の放射能 (B q) が測定下限値以下であるために測定できなかった試料 (図 3 において放射能が有意に検出できなかった試料に対応) に対しては、上記の放射能 (B q) の値の代わりに、測定に応じてバックグラウンド等により定まる一定値である測定下限値 (検出限界値) (B q) を採

用した。このため、放射能の測定の可否に関わらず、見かけ上は、このように全ての試料に対して放射能濃度が定義される。

【 0 0 3 6 】

図 5 (a) は ^3H 、図 5 (b) は ^{90}Sr 、図 6 (c) は ^{134}Cs 、図 6 (d) は ^{137}Cs 、図 7 (e) は ^{152}Eu 、図 7 (f) は ^{154}Eu 、図 8 (g) は ^{239}Pu 、図 8 (h) は ^{241}Am についての、こうした場合における放射能濃度 (Bq / g) と累積相対度数 (%) の結果を示す。ここで、試料の総数、及びこの中で上記のように放射能が検出限界値以下であった数は、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am について、それぞれ (総数、検出限界値以下の数) として、(31、3)、(29、1)、(31、0)、(31、2)、(31、4)、(31、5)、(31、0)、(31、0) である。

10

【 0 0 3 7 】

図 5 等においては、縦軸、横軸が対数表示であるため、周知のように、これらの特性が直線上にあることは、放射能濃度の分布が対数正規分布に従うことを意味する。これらの結果より、上記のように定義された検出限界値によって定義された放射能濃度を含んだ場合でも、これらの核種の放射能濃度の分布は、対数正規分布に従うと結論できる。

【 0 0 3 8 】

このような条件下において、検出限界値によって定義された放射能濃度が含まれる場合でも、放射能濃度の分布は、対数正規分布に従う。すなわち、放射能が検出限界値以下であった試料が存在した場合でも、図 1 における分布の推定から代表値の設定 (S 3 ~ S 5) を行うことができる。

20

【 0 0 3 9 】

すなわち、上記の放射能評価方法によれば、廃棄物あるいは評価用の試料における放射能が微弱である核種に対しても、平均放射能濃度法によって、適切な平均放射能濃度の値を設定することができる。

【 0 0 4 0 】

上記の例では、図 4 の結果に基づき、試料の重量及び試料毎の放射能濃度が対数正規分布に従うとされた。しかしながら、この設定は、試料の採取方法 (形態) において定まる。例えば、前記のように面積が一定となるように試料を採取せずに、重量が一定値となるように各試料を採取した場合には、一般的には、この試料の重量は、この一定値を平均とした正規分布に従う。この場合には、試料毎の放射能濃度は、正規分布に従う。すなわち、この場合には、前記の例において対数正規分布の代わりに正規分布を適用すれば、同様に平均放射能濃度を設定することができる。

30

【 0 0 4 1 】

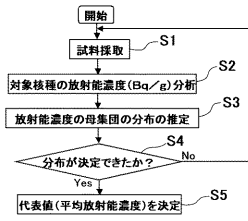
対数正規分布、正規分布以外においても、実測された範囲内での放射能濃度の分布と、各試料の重量の分布とが同様の分布をもつことが明らかであれば、同様に、放射能が検出限界値以下であった試料に対してはこの検出限界値を用いた放射能濃度を用いて分布を推定 (図 1 における S 3) して、同様に平均放射能濃度を設定することができる。この際、複数の試料の採取方法 (採取基準) としては、前記のような同一面積や同一重量であること以外のものを適宜設定することができる。

40

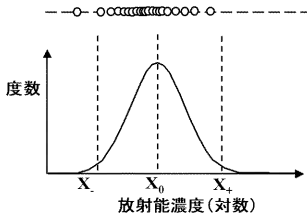
【 0 0 4 2 】

なお、上記の例では、上記の放射能評価方法の対象となったのは ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am であったが、他の核種でありその放射能濃度の測定が平均放射能濃度法によるものであれば、同様に上記の放射能評価方法が有効である。

【 図 1 】



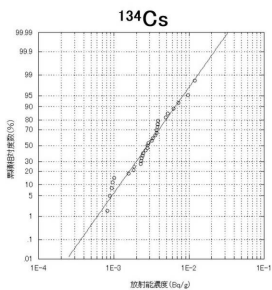
【 図 2 】



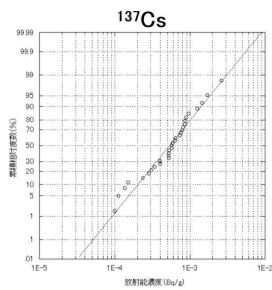
【 図 3 】

| No (k) | 放射性物質 (核種) の種類 | 試料数 | 有意検出数 |
|--------|-------------------|-----|-------|
| 1 | ³ H | 31 | 3 |
| 2 | ⁵⁴ Mn | 31 | 10 |
| 3 | ⁶⁰ Co | 31 | 30 |
| 4 | ⁹⁰ Sr | 29 | 1 |
| 5 | ¹³⁴ Cs | 31 | 0 |
| 6 | ¹³⁷ Cs | 31 | 2 |
| 7 | ¹⁵² Eu | 31 | 4 |
| 8 | ¹⁵⁴ Eu | 31 | 5 |
| 9 | ²³⁸ Pu | 31 | 0 |
| 10 | ²⁴¹ Am | 31 | 0 |

【 図 6 】

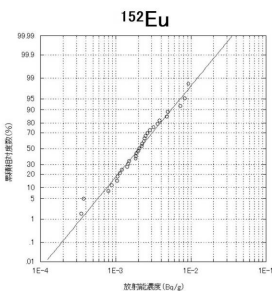


(c)

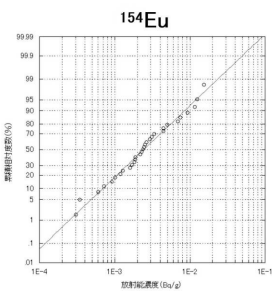


(d)

【 図 7 】

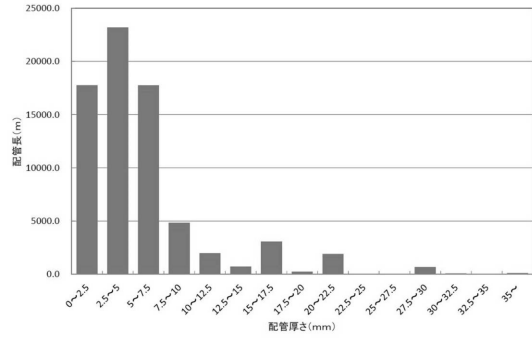


(e)

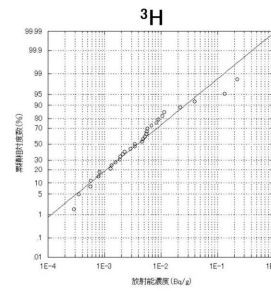


(f)

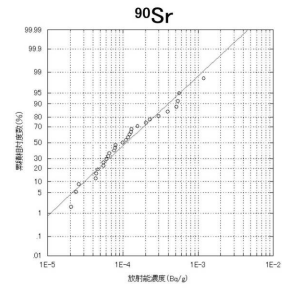
【 図 4 】



【 図 5 】

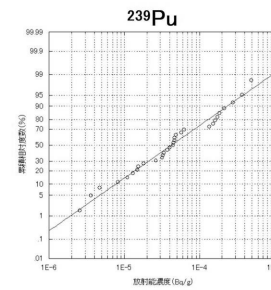


(a)

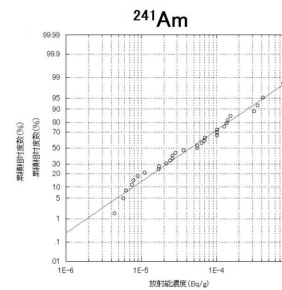


(b)

【 図 8 】



(g)



(h)

【 図 9 】

| No (k) | 放射性物質 (核種) の種類 | 基準放射能濃度 (Bq/g) |
|--------|-------------------|----------------|
| 1 | ³ H | 100 |
| 2 | ⁵⁴ Mn | 0.1 |
| 3 | ⁶⁰ Co | 0.1 |
| 4 | ⁹⁰ Sr | 1 |
| 5 | ¹³⁴ Cs | 0.1 |
| 6 | ¹³⁷ Cs | 0.1 |
| 7 | ¹⁵² Eu | 0.1 |
| 8 | ¹⁵⁴ Eu | 0.1 |
| 9 | ²³⁸ Pu | 0.1 |
| 10 | ²⁴¹ Am | 0.1 |
| 11 | ¹⁴ C | 1 |
| 12 | ³⁶ Cl | 1 |
| 13 | ⁴¹ Ca | 100 |
| 14 | ⁴⁶ Sc | 0.1 |
| 15 | ⁵⁹ Fe | 1000 |
| 16 | ⁵⁹ Fe | 1 |
| 17 | ⁵⁹ Co | 1 |
| 18 | ⁵⁹ Ni | 100 |
| 19 | ⁶⁵ Ni | 100 |
| 20 | ⁶⁵ Zn | 0.1 |
| 21 | ⁹⁶ Nb | 0.1 |
| 22 | ⁹⁶ Nb | 1 |
| 23 | ⁹⁶ Tc | 1 |
| 24 | ¹⁰⁶ Ru | 0.1 |
| 25 | ¹⁰⁶ Ag | 0.1 |
| 26 | ¹¹⁰ Ag | 0.1 |
| 27 | ¹²⁴ Sb | 1 |
| 28 | ¹²⁵ Te | 1 |
| 30 | ¹³⁵ Ba | 0.1 |
| 31 | ¹⁶⁰ Tb | 1 |
| 32 | ¹⁶⁰ Ta | 0.1 |
| 33 | ²⁴¹ Pu | 10 |

フロントページの続き

(72)発明者 水井 宏之

福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん
内

(72)発明者 岩井 紘基

福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん
内

(72)発明者 副島 吾郎

福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん
内

Fターム(参考) 2G188 AA19 AA23 EE25