

**日本原子力学会標準原案
「ウラン・TRU取扱施設におけるクリ
アランスの判断方法」の考え方
(概要)**

平成22年2月4日

1. 学会標準案の策定に係る経緯(1/2)

■ 目的・意義

- 法制化後のクリアランス実施に向けて、ウラン・TRU取扱施設の特徴を踏まえた民間規格を準備する。
- 原子炉が対象の「クリアランスの判断方法:2005」とは別の標準が必要。

■ 検討体制

- (社)日本原子力学会 標準委員会 原子燃料サイクル専門部会
ウラン・TRU取扱施設クリアランス検認分科会
- 主査: 井口哲夫 (名古屋大学大学院工学研究科 教授)
- 委員: 学識経験者、学術研究機関、エンジニアリング会社、
原子力事業者から合計15名(主査含む)

タイトル:

“ウラン・TRU取扱施設におけるクリアランスの判断方法:20XX”

1. 学会標準案の策定に係る経緯(2/2)

- 第1回分科会(平成19年 5月24日)
- 第2回分科会(平成19年 6月21日)
- 第3回分科会(平成19年 7月12日)
- 第4回分科会(平成19年 9月10日)
- 第5回分科会(平成19年12月18日)
- 第6回分科会(平成20年 1月29日)

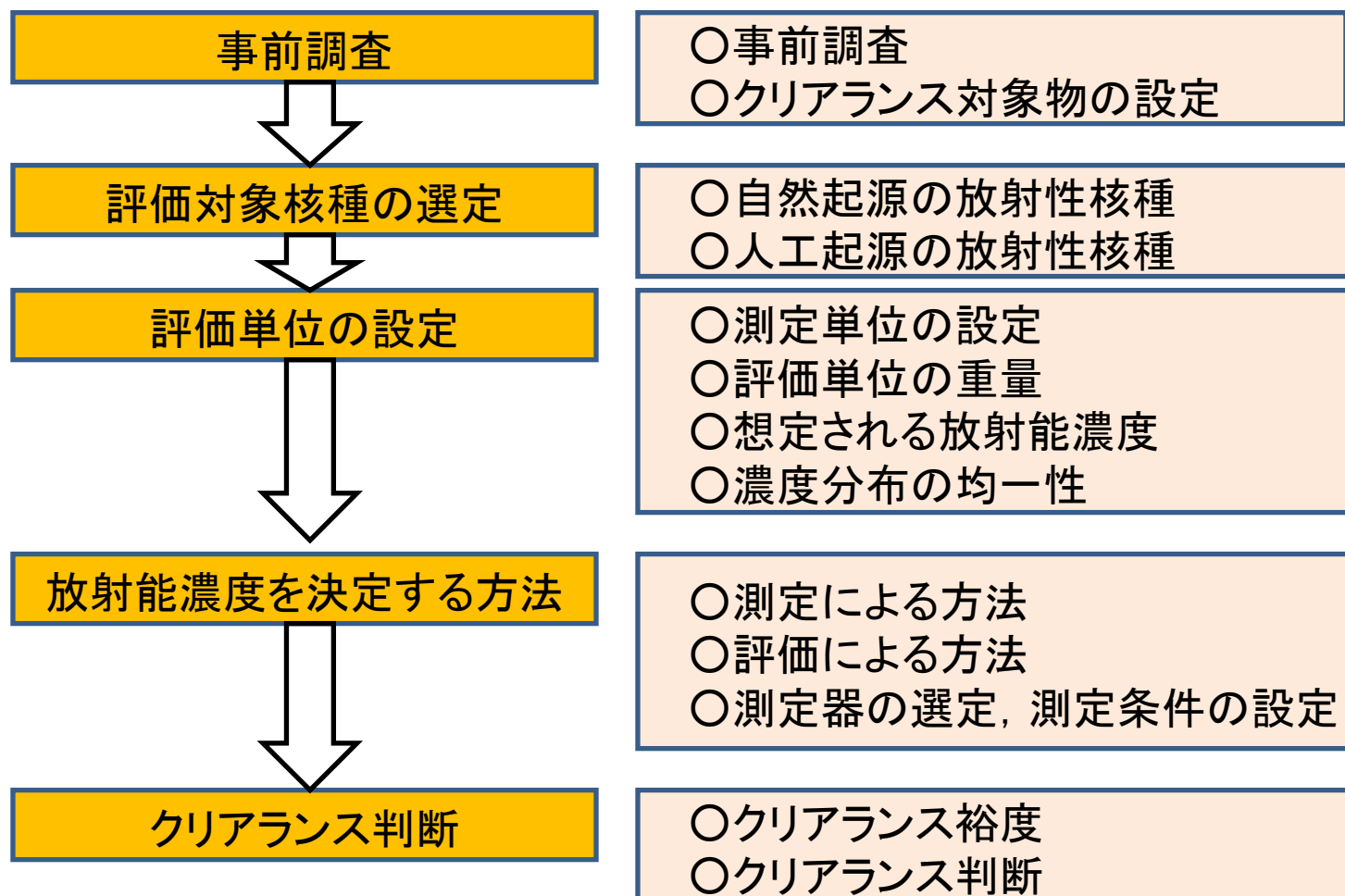
- 第7回分科会(平成21年11月19日) 中間報告(案)策定
- 第8回分科会(平成22年 1月28日) 標準原案決議

原子燃料サイクル専門部会へ中間報告(平成21年12月2日)

標準委員会へ中間報告(平成21年12月11日)

2. 学会標準案 事前調査

■ クリアランス判断の基本フロー



2. 学会標準案 事前調査

■クリアランス対象物の主な汚染源

■自然起源の放射性核種のみ uranium

濃縮度による分類：天然ウラン(NU)、濃縮ウラン(EU)、劣化ウラン(DU)

核種： U-235、U-234、U-238

■人工起源の放射性核種を含む uranium

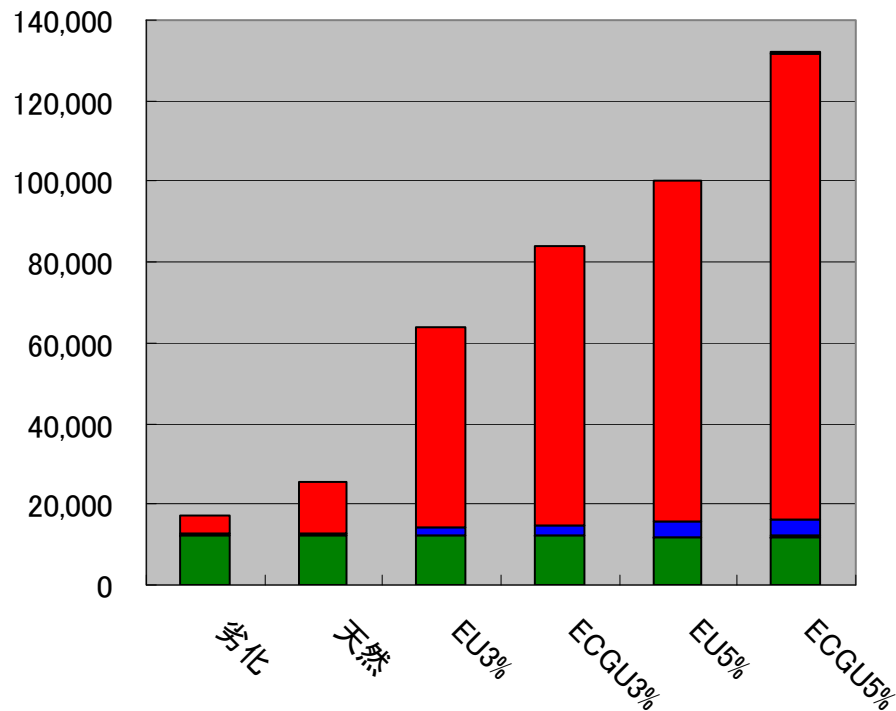
濃縮度による分類：再処理回収ウラン(RU)、濃縮商業グレードウラン(ECGU)、
濃縮回収ウラン(ERU)

核種： U-232、U-236

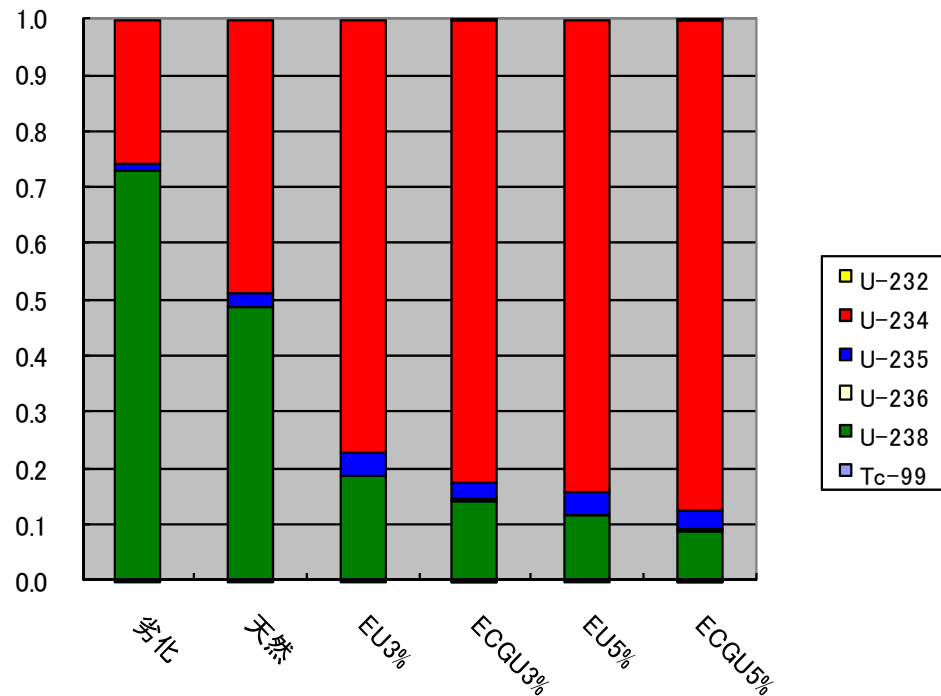
2. 学会標準案 事前調査

■ ウランの比放射能

比放射能
(Bq/gU)



ウランの比放射能



ウランの α 放射能の核種別割合

2. 学会標準案 事前調査

■測定対象物の概要

○材質 固体状物質：金属, コンクリート

○汚染の性状

金属 : 表面付着

コンクリート : 表面付着・浸透

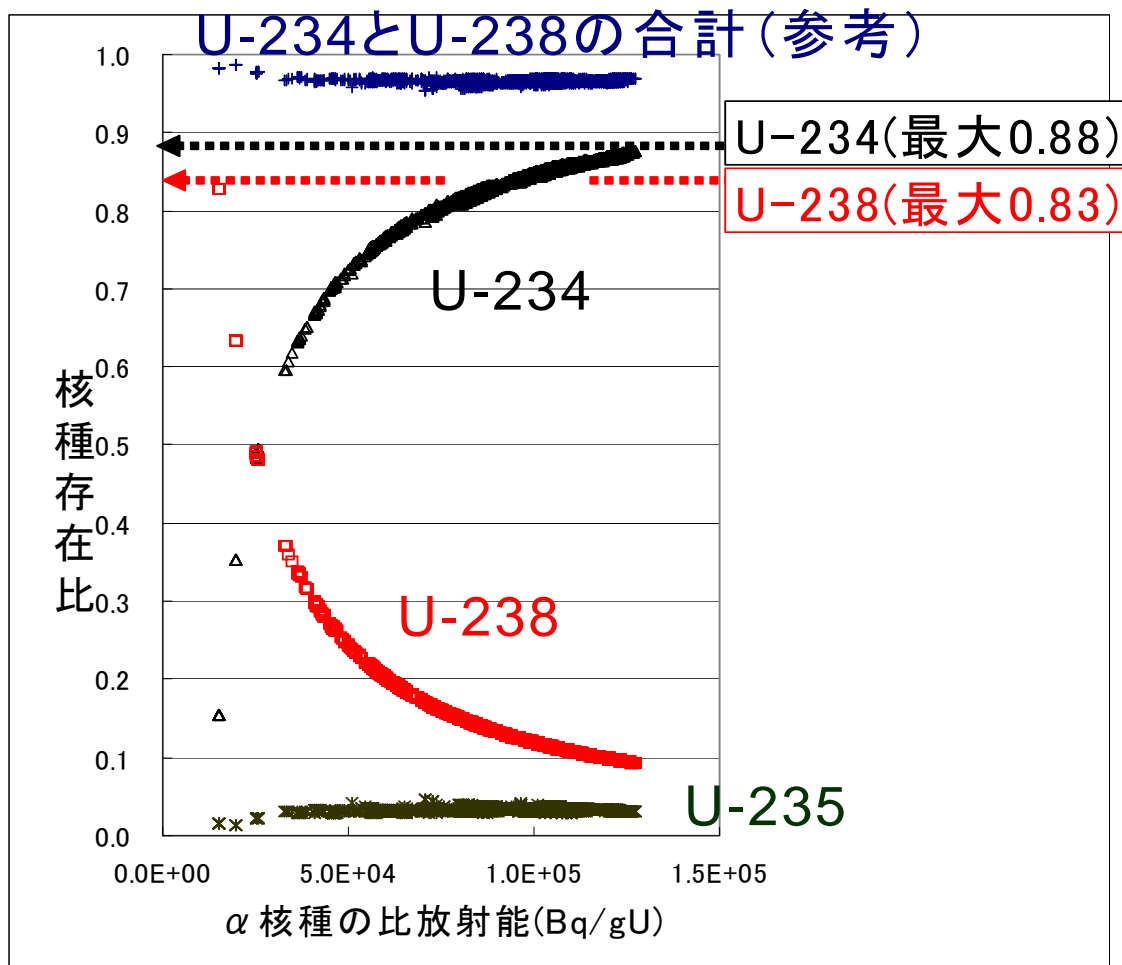
○形状・形態

表面露出 : 機器・機材(小、大)
床・壁・天井(広)

容器内在 : ドラム缶等の容器詰め

2. 学会標準案 事前調査

■ 配分係数の設定(ウラン加工施設)



2. 学会標準案 事前調査

■適用範囲

この標準は、ウラン・TRUを取り扱う使用施設、ウラン転換施設、ウラン濃縮施設、ウラン燃料加工施設、MOX燃料加工施設及び再処理施設において用いた資材その他の物であって、ウラン及びTRUが主要な汚染源となるウラン・TRU取扱施設の運転及び廃止措置に伴い発生する廃棄物又は解体物のうち固体状物質(金属, コンクリート等)についてのクリアランス判断の方法に適用する。

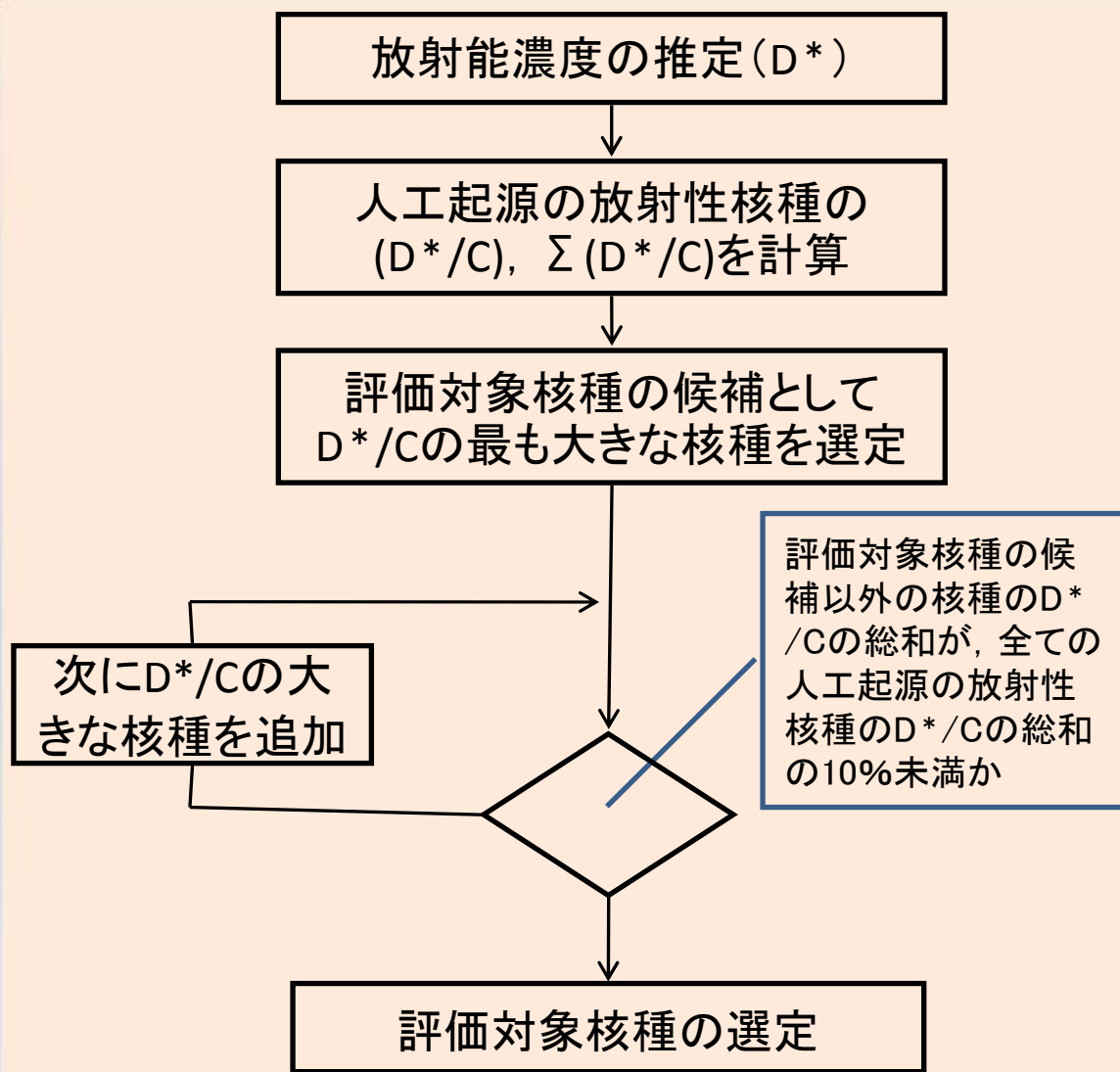
○施設

原子炉等規制法に定める加工施設、再処理施設及び使用施設(照射済燃料及び材料を取り扱う施設を除く)

○クリアランス対象物

- ・運転中に発生した廃棄物
- ・廃止措置で発生した解体物

■ 評価対象核種の選定 (人工起源の放射性核種)



2. 学会標準案 評価単位の設定

■ 評価単位の設定方法

基本事項

- ・評価単位は、放射能濃度の分布の均一性、想定される放射能濃度を考慮し、適切な重量とする。
- ・評価単位の重量は数トン以内で設定する。

拡張

- ・以下の条件のいずれかを満足するクリアランス対象物については、評価単位の重量を10トンまで拡張することができる。
 - 測定単位ごとの放射能濃度のうち、最大濃度が最小濃度の10倍以内であるとき。
 - 測定単位ごとの放射能濃度のうち、最大濃度がクリアランスレベル以下であるとき。

分割

- ・上記の重量を超えるクリアランス対象物は、計算上分割して評価単位とすることができる。

測定単位

- ・測定単位は、評価単位内のクリアランス対象物の形状、重量、放射能濃度の測定方法などを考慮し、評価単位内に1個又は複数個設定する。

ただし、評価単位が単体物の場合には、実際に切断することなく計算上分割して測定単位とすることができる。なお、放射能濃度の均一性が別の方法で確認できる場合は、測定単位の設定は不要とする。

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

■放射能濃度の評価方法(計測できる核種)

- ・配分評価法 : 計測された計数値(率)を、別途求められる核種存在比, 配分係数及び放射能換算係数により配分し、重量で除して各評価対象核種の放射能濃度を評価
- ・ γ 線スペクトル評価法 : γ 線スペクトル測定法によるスペクトルの解析結果から換算係数を用いて放射エネルギーを求め、重量で除して評価対象核種の放射能濃度を評価
- ・全 α 線グループ評価法 : 全 α 線法による計数値(率)を全て主要核種からの α 線として放射エネルギーに換算し、重量で除して補正係数を乗じて主要核種の放射能濃度を評価(全 β , 全 γ も同様)
- ・主要核種評価法 : 計測された計数値(率)が全て主要核種から放出された放射線によるものとして放射エネルギーを求め、重量で除して主要核種の放射能濃度として評価

配分評価法の式(配分係数を用いる場合)

$$C_i = C_{ts} \cdot R_i / \varepsilon \cdot K_2 S / W$$

ここで、 C_i : 評価対象核種 i の放射能濃度(Bq/g)

C_{ts} : 全 α 線の計数率(s^{-1})

ε : 検出効率(—)

K_2 : 全 α 線に対する放射能換算係数
(Bq/cm²/s⁻¹)

R_i : 評価対象核種の配分係数(—)

W : 対象物の重量(g)

S : クリアランス対象物の表面積(cm²)

γ 線スペクトル評価法の式

$$C_i = C_{tsi} \cdot K_i / W$$

ここで、 C_i : 核種 i の放射能濃度(Bq/g)

C_{tsi} : 核種 i の計数率(s^{-1})

K_i : 核種 i に対する放射能換算係数
(Bq/s⁻¹)

W : 対象物重量(g)

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

■放射能濃度の評価方法(計測困難な核種)

- ・**核種組成比法** :計測により得られた核種の放射能濃度に基づき、予め取得している(主要)核種と計測困難な評価核種との核種組成比を用い、計測困難な核種の放射能濃度を評価する方法
- ・**平均放射能濃度法** :核種組成比法が適用できない核種のうち、生成挙動について選定した評価対象核種との間に相関性がないと考えられる場合、放射能濃度データの平均値を放射能濃度とする方法
- ・**相対比率計算法** :核種組成比法が適用できない核種のうち、生成挙動について選定した評価対象核種との間に相関性があり、生成起源等を考慮した時に相対重要度が低い核種の場合、生成挙動を示す物理定数を用いて濃度が規定できる核種の放射能濃度との相対比率から放射能濃度を求める方法

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

■放射線測定器の選定

- 放射線測定器には、 α 線用、 β 線用、 γ 線用がある。これら測定器の中から、対象物の**材質形状・寸法**、**汚染性状**、**汚染核種**、各測定器の制約条件及び検出下限値を考慮し、放射能濃度の測定及び評価の効率化の観点から適切な測定器を選定する。

対象物の特徴：

- ・すべて二次的な汚染物
- ・金属は機器内外面の表面汚染が主
- ・汚染核種は主としてウラン、TRU核種
- ・測定する放射線は、 α 線、 β 線、 γ 線

対象物の材質：以下に分類する

- ・金属(炭素鋼、ステンレス鋼、アルミ材等)
- ・コンクリート(ガラス、保温材等の無機材料)

形状・寸法：以下に分類する

- ・単純形状物(大型円筒状物含む)
- ・複雑形状物(突起、局面等含む)
- ・寸法は測定収納容器、測定器内に収納する寸法にする

汚染性状：汚染性状、濃度分布

- ・コンクリートの場合、浸透汚染考慮し、前処理の検討要
- ・容器収納の場合、濃度分布の考慮要

汚染核種：ウラン同位体、TRU及びこれらの壊変生成核種、並びに核分裂生成物として含まれる核種毎に、 α 線、 β 線、 γ 線及び中性子線の線種を選定するため、汚染核種により対象物を分類

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

■計測方法の選定 α 線用測定器

| 直接/間接 | 測定器 | 測定項目 | 測定対象物 |
|-------|---------------------------|----------------------|-----------|
| 直接測定 | ZnS(Ag)サーベイメータ | 全 α | 一般的な表面汚染物 |
| | 比例計数管サーベイメータ | | |
| | 曲面アルファ線測定装置 | | 大型円筒 |
| | 密着走査・大面積測定装置 (比例計数管) | | 床、壁、天井 |
| 間接測定 | 電離イオン式測定装置 | 空気電離イオン(全 α) | 一般的な表面汚染物 |
| | 密着走査・大面積測定装置 (電離イオン測定) | | 床、壁、天井 |

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

■計測方法の選定

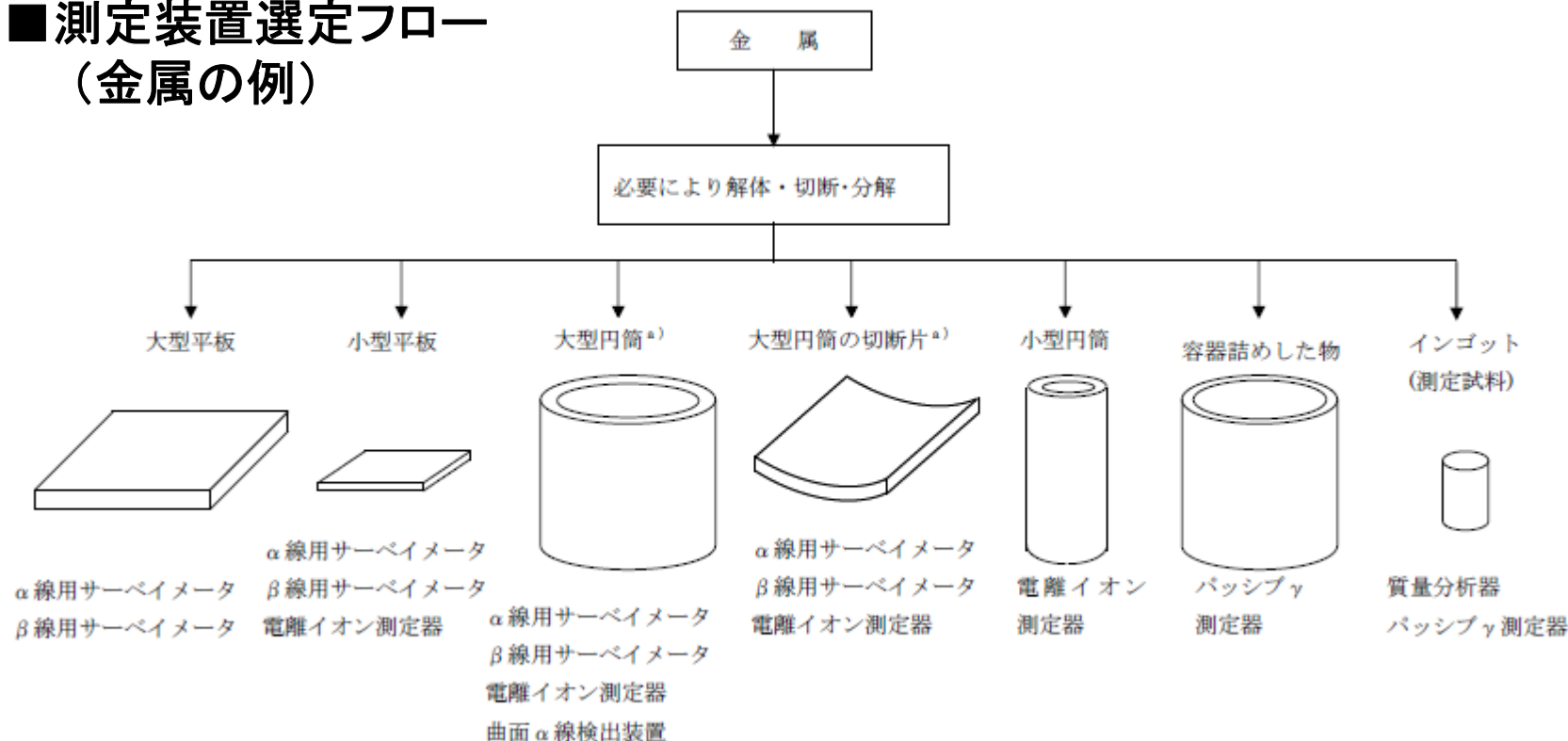
β , γ 線用測定器

| 直接/間接 | 測定器 | 測定項目 | 測定対象物 |
|-------|-----------------------------|-----------------|-----------|
| 直接測定 | GMサーベイメータ | 全 β | 一般的な表面汚染物 |
| | 比例計数管サーベイメータ | | |
| | プラスチックサーベイメータ | | |
| | 密着走査・大面積測定装置 (シンチレーション式) | | |
| | NaIサーベーター | 全 γ | 一般的な表面汚染物 |
| | プラスチックサーベイメータ | | |
| | GMサーベイメータ | | |
| | パッシブ γ 線測定装置 | γ 線スペクトル | 容器詰め |
| | γ 線核種分析装置(Ge) | γ 線スペクトル | インゴット |

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

計測方法の選定

■ 測定装置選定フロー (金属の例)



2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

■測定条件の設定方法

放射能換算係数の設定方法：次の2つにより設定する

- ・標準線源を用いる場合、測定結果と標準線源の表面放出率と対象物の線源効率から放射能換算係数を設定する
- ・実験又はシミュレーションによる場合、対象物の形状等(密度、汚染性状、核種)に応じた放射能換算係数を設定する

放射線測定器の測定条件の設定：次の2つにより設定する

- ・対象物に適した測定器が(16)に基づき選定され、放射能換算係数及びその算出方法が設定されていること
- ・検出限界値は、統計誤差、BG変動の相対誤差、放射能換算係数の相対誤差を考慮し、正味の計数值(率)がこれら標準偏差の3倍とする考え方により求めることを基本とする

換算係数の具体的設定方法 (α 線用

サーベイメータ)

- a) 資器材の準備(測定器、標準線源)
- b) 測定エリアの設営
- c) バックグラウンドの測定
- d) 標準線源測定
統計誤差を1%以下とするため、測定計数が10000カウント以上にする
- e) 換算係数の算出

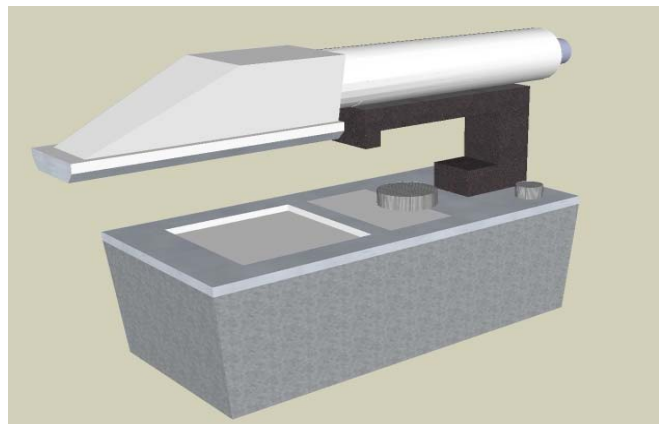
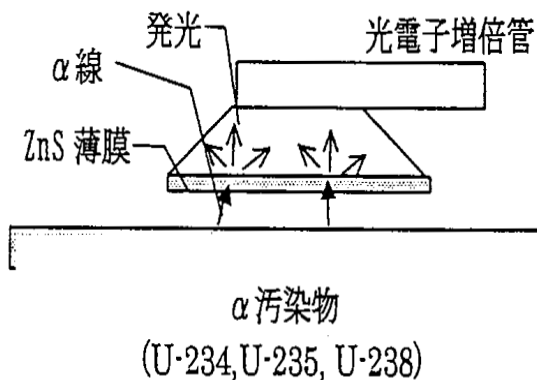
検出限界の評価式について

我が国では、一般的に 3σ 法が用いられており、特に明示しない場合には 3σ 法に基づいて記述している。一方、欧米では、Currieの方法が用いられており、輸入品であるGe半導体検出器のスペクトル解析ソフトには、このCurrieの方法に基づく検出限界評価式が組み込まれている製品もある。両者の評価値はほぼ一致しており、Currieの方法も採用できるが、その旨を明記することが望ましい。

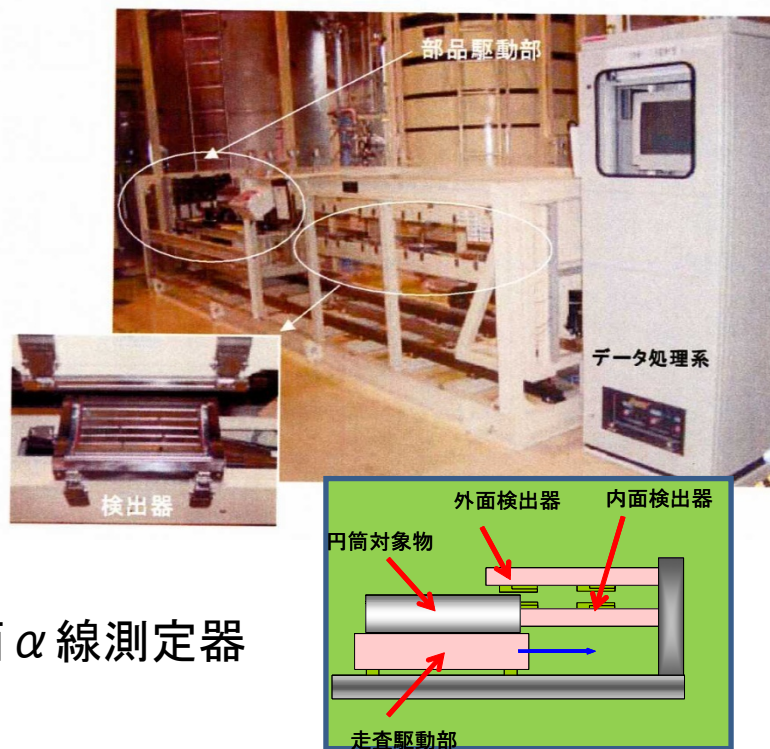
2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

■ ZnSサーベイメータによる計測例

- ・ZnS(Ag)の発光
- ・PMTによる光電変換
- ・計数・レートメータ
- ・測定窓面積 <math>< 100 \text{ cm}^2</math>
- ・検出限界値(DL): 4Bq程度
(時定数 $\tau = 30$ 秒, 3τ 読取)



サーベイメータ



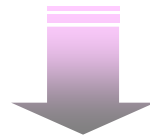
曲面α線測定器

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

ZnSサーベーターによる計測例

■ 運用上の留意事項

ウランの α 線: 4MeV強、空気中の飛程約3cm



● 事前情報の整理

同一性状・形状・履歴等による分類・整理

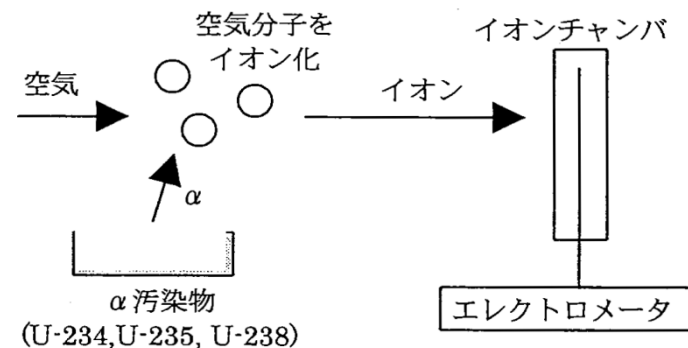
● 対象物準備

- ・表面状態の前処理: 錆、塗りこめ塗装の剥離など
- ・複雑形状への対策: 平面化处理(切断・切削、開割)

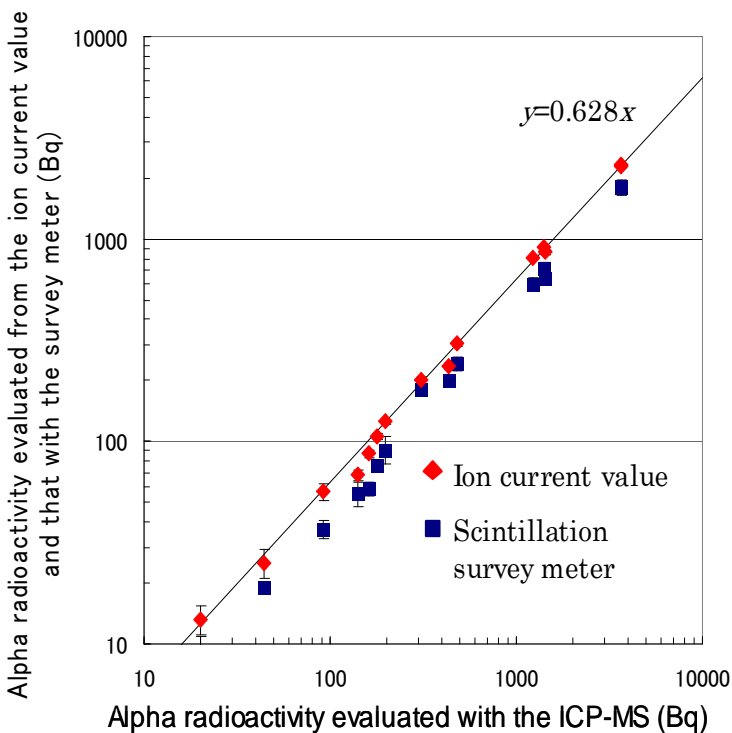
2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

電離イオン測定装置による計測例

■ 装置の概要



大型化・複雑形状対応



検出限界値 (DL) : 4Bq (100秒測定)



2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

電離イオン測定装置による計測例

■ 運用上の留意事項

電離、イオン移動がポイント



● 事前情報の整理

同一性状・形状・履歴等による分類・整理

● 対象物準備

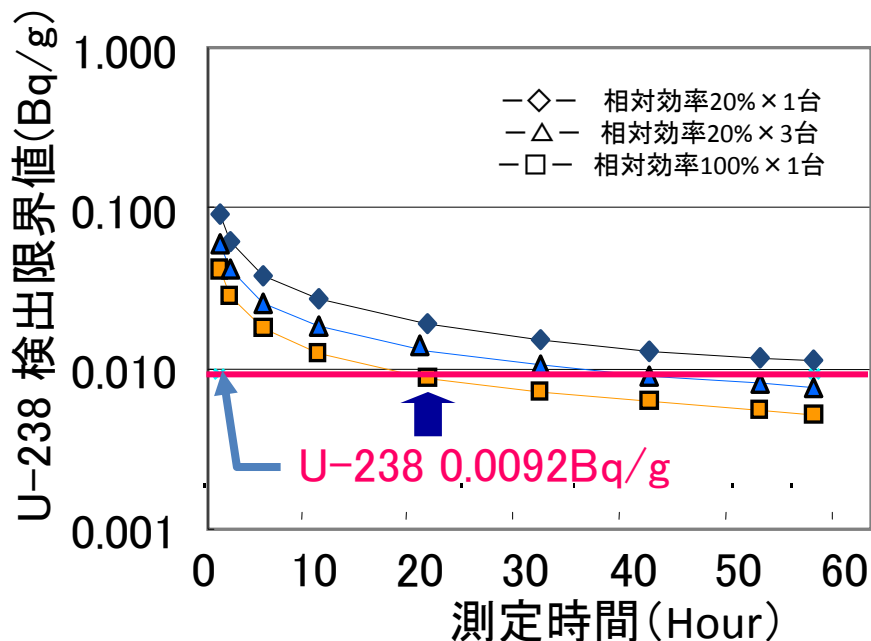
- ・表面状態の前処理：錆、塗りこめ塗装の剥離など
- ・複雑形状への対策：平面化处理（切断・切削、開割）、
空気噴付の併用が有効
- ・基材が帯電しているものは対象としない

2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

パッシブ γ 測定装置による計測例

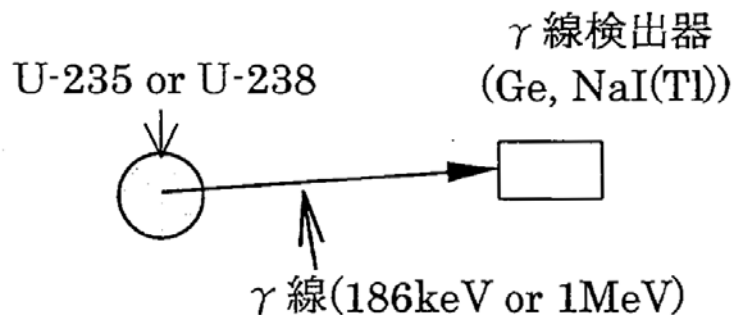
■装置の概要

均一試料の検出限界濃度例



検出限界値 (DL) : U-238 0.0092 Bq/g

(20時間測定、200リットルドラム缶、相対効率100%検出器)



2. 学会標準案 放射能濃度を決定する方法

パッシブ γ 測定装置による計測例

■ 運用上の留意事項

● 事前情報の整理

同一性状・形状・履歴等による分類・整理

● 対象物準備

- ・ かさ密度 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 程度での充填
- ・ 事前サーベイ等による放射能偏在の防止

● 測定

- ・ 容器全体の回転、昇降などによる全面測定の実施

2. 学会標準案 クリアランス判断

■クリアランス判断の裕度

測定誤差や核種組成比及び平均放射能濃度の不確定性に基づく $\Sigma D/C$ (人工起源の放射性核種)の確率分布を求め、その97.5%片側信頼区間上限値が、幾何平均値を用いて計算した $\Sigma D/C$ 値(人工起源の放射性核種)の10倍を超える場合には、(97.5%片側信頼区間上限値 \div 10)倍のクリアランス判断の裕度を設定する。

■クリアランス判断

クリアランス判断の裕度の要・不要を判定し、

- 1) 自然起源の放射性核種 : 核種ごとに、 D/C が1以下であること。
- 2) 人工起源の放射性核種 : 核種の D/C の総和が1以下であること。

2. 学会標準案 まとめ

- ウラン・TRU取扱施設を対象としたクリアランスの判断方法についての標準原案がウラン・TRU取扱施設クリアランス検認分科会で取りまとめられた。今後、この標準原案は、更に上位の専門委員会、標準委員会での審議を踏まえ、適宜見直しが進められる。
- この標準は、対象とする放射性核種、汚染性状、汚染形態等が異なるため、既に発行されている、日本原子力学会標準“クリアランスの判断方法：2005”とは別に定めるものであるが、基本的考え方、評価フロー、判断方法などの技術要件については、先の標準を踏まえて作成されている。

【参 考】

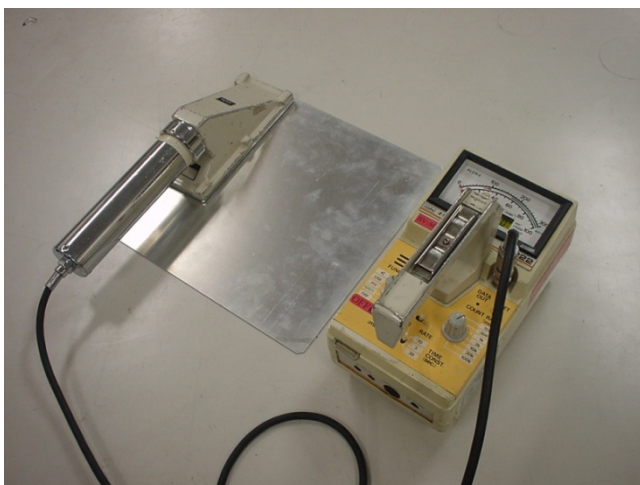
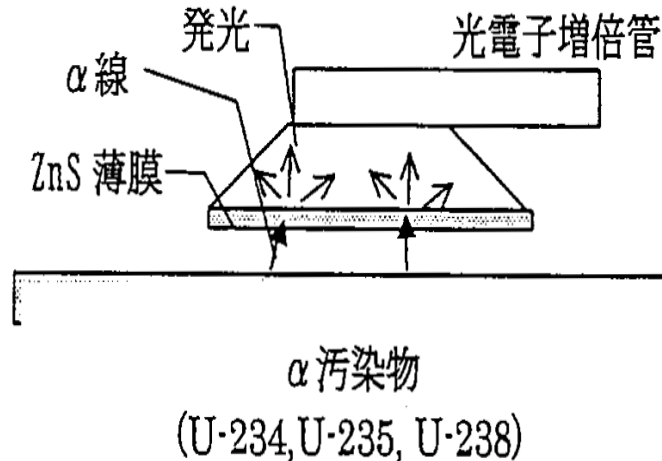
ウランクリアランス測定実施例

- ZnS表面測定の実例
- 電離イオン測定の実例
- 曲面 α 線測定の実例

①ZnS表面測定の例

- ◆測定線種 α 線 (全 α 放射能)
- ◆検出器 ZnS(Ag)シンチレーション検出器
- ◆測定原理

- ・ α 線によるZnS(Ag)の発光
- ・光電子増倍管による光電変換
- ・計数, レートメータによる測定



ZnSサーベイメータ測定例



計数表示部

ZnS表面測定の校正

◆校正線源・機器と校正手順

- ・年1回, 製造メーカーに委託実施
- ・校正用線源 (Am-241)より機器効率 (ϵ_i)を校正する
校正用線源はZnSサーベイメータの中心に設置し, 検出器との距離を5mmに設定

【校正の例】

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------|---|---|
| 標準線源・検出器等 | ●校正用参照標準 | Am-241 | 形状:10cm×15cm 面積:150cm ² |
| | ● α 線表面放出率(ρ)の測定 | 2.61 (s ⁻¹ ・cm ⁻²) | (392 (s ⁻¹)/150cm ²) |
| | ●検出器の入射窓面積(W) | 71.5cm ² | |
| 機器効率 (ϵ_i)の算出 | ①自然計数率の測定 | 0.015(s ⁻¹) | 9count/10min |
| | ②基準線源の測定 | 67.569(s ⁻¹) | 40541count/10min |
| | ③正味計数率(N)の算出 | 67.55(s ⁻¹) | ②-① |
| | ④機器効率 (ϵ_i)の算出 | 36.2% | $\epsilon_i = N / (\rho \times W) \times 100$ |
| | ⑤線源効率 (ϵ_s) | 0.25 | |

◆換算係数(CF)

$$CF = \frac{1}{\epsilon_i \epsilon_s} = 1 / (0.362 \times 0.25) = 11.05 \text{ (Bq/s}^{-1}\text{)}$$

ZnS表面測定の評価事例

◆測定対象物 : ステンレス平板(14.3cm × 5.0cm × 2mm t, 重量 113g)

◆検出限界計数率(N_{DL}) = 0.2(s⁻¹)

$$n_B = 0.03(\text{s}^{-1}), r_1 = 0.23, r_2 = 0$$

$$t_T = t_B = 60(\text{s})$$

$$N_{DL} = \frac{\frac{k^2}{t_T} \sqrt{\left(\frac{k^2}{t_T}\right)^2 + 4(1 - k^2 r_2^2) k^2 \left\{ n_B \left(\frac{1}{t_T} + \frac{1}{t_B} \right) + r_1^2 n_B^2 \right\}}}{2(1 - k^2 r_2^2)}$$

◆検出限界放射能(A_{LD}) = $N_{DL} \times CF$
 = 0.2 × 11.05
 = 2.21(Bq)

ここに, N_{DL} : 検出限界計数率(s⁻¹)
 k : 定数(一般に3)
 n_B : バックグラウンド計数率(s⁻¹)
 r_1 : バックグラウンドの変動に起因する相対誤差
 r_2 : 換算係数の相対誤差
 t_T : 測定対象物表面測定時のサーベイメータの時定数(s)
 t_B : バックグラウンド測定時の時定数(s)

◆測定対象物の全 α 放射能濃度

裏表の全表面 : 2.21(Bq) × 2 = 4.42(Bq)

全 α 放射能濃度: 4.42(Bq) / 113(g) = 0.039(Bq/g)

◆配分評価法により核種別放射能濃度を算出

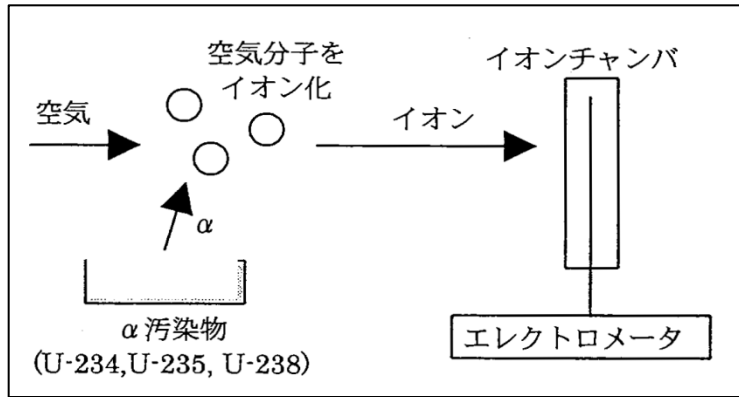
全 α 放射能濃度に核種毎の配分係数を乗ずる
 (配分評価法: 配分係数による場合)



| 全 α 放射能濃度 (Bq/g) | 核種 | 配分係数 * | 核種別放射能濃度 (Bq/g) |
|-------------------------|-------|--------|-----------------|
| 0.039 | U-232 | 0.0006 | 2.3E-05 |
| | U-234 | 0.88 | 3.4E-02 |
| | U-235 | 0.05 | 2.0E-03 |
| | U-236 | 0.005 | 2.0E-04 |
| | U-238 | 0.83 | 3.2E-02 |

* : 濃縮度5%以下で、濃縮度不明の場合

②電離イオン測定の概要



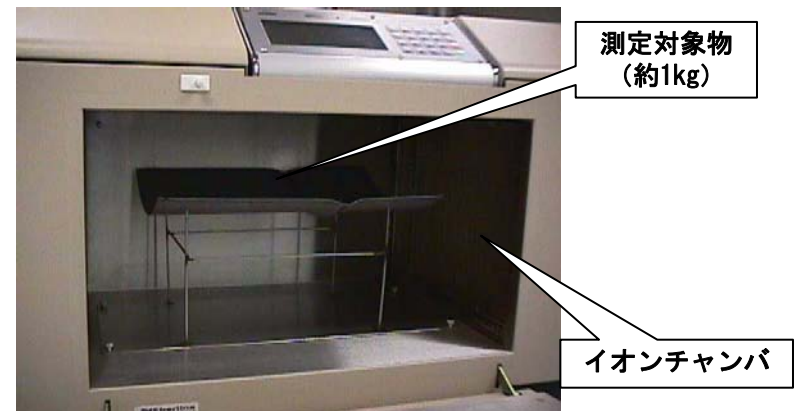
測定原理



市販の電離イオン測定器の外観

特徴(市販品の電離イオン測定器の場合)

- 短時間で全 α 放射エネルギーの測定が可能
(1試料当たり45秒×5回測定)
- 空気中ラドンがバックグラウンド因子になる
(適切な頻度でのバックグラウンド補正が必要)
- イオン空気流を阻害するような形状には不向き



測定室内部

電離イオン測定器の校正と検出下限値

- 校正用線源を同形状の非汚染試料の上に置いて試料と同様に測定
- 校正用線源：天然ウラン線源
2インチ直径
176.6(s-1)、25.59(Bq)、他
- 校正頻度：測定の都度1日1回
- メーカーによる機器校正・点検を年1回実施
- 検出限界放射能＝25(Bq)
(測定対象物 1,000(g) 当たりの全 α 放射能量)
- 全 α 検出下限値＝0.025(Bq/g)

$$A_{LD} = \frac{3\sqrt{2} \cdot CF \sqrt{\sigma_{B0}^2 + (i_{B0} \cdot r_1)^2}}{\sqrt{1 - 9 \cdot r_2^2}}$$

$$CF = CF_1 \times CF_2$$

ここで、 A_{LD} ：検出限界放射能(Bq)

CF ：電流値(Hz)から放射能への換算係数($Bq \cdot Hz^{-1}$)

CF_1 ：電流値から α 線放出率(s^{-1})への換算係数 = $CF/4$

CF_2 ： α 線放出率から α 放射能への換算係数 = 4

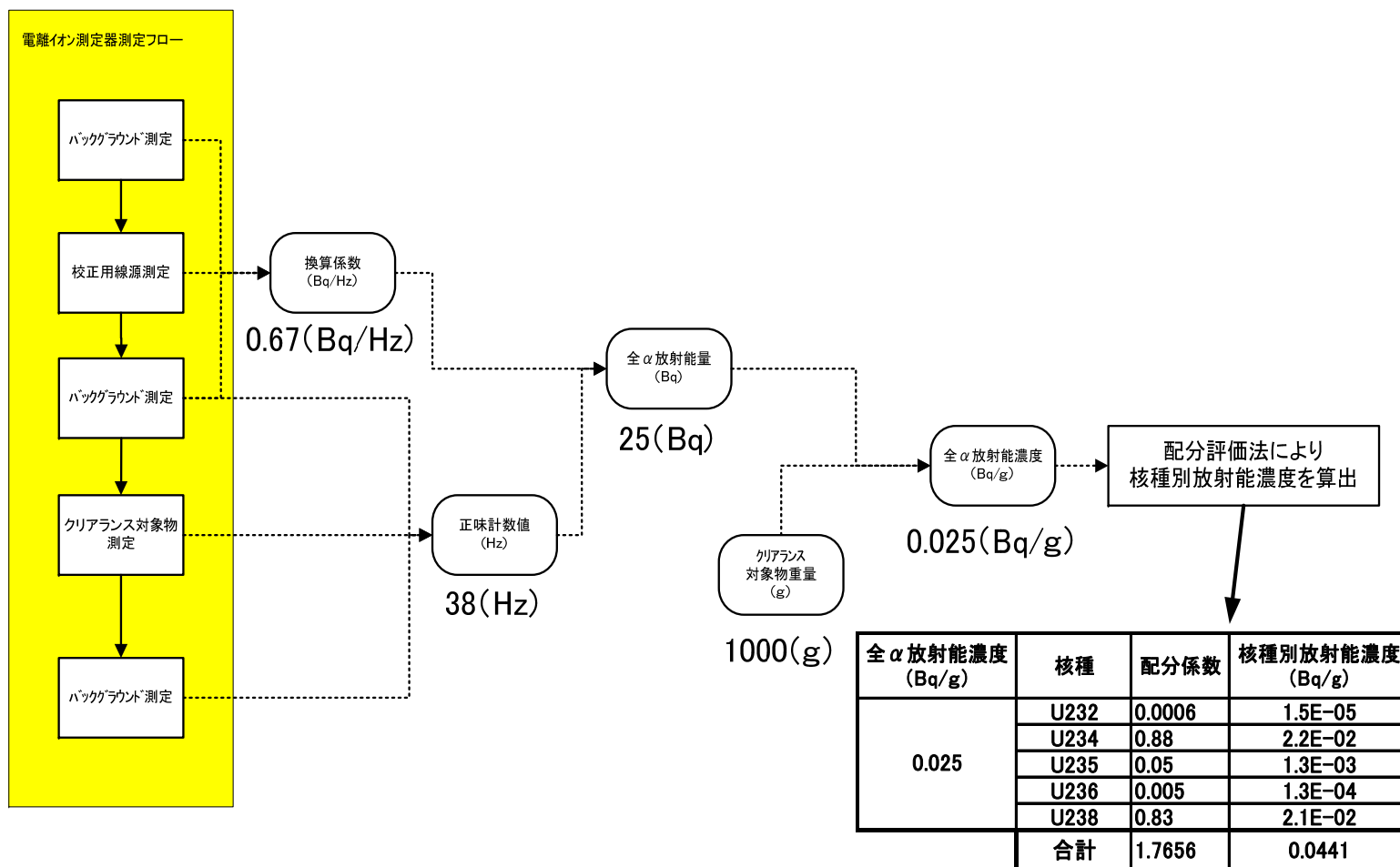
I_{B0} ：バックグラウンド電流(Hz)

σ_{B0} ：バックグラウンド電流の標準偏差(Hz)

r_1 ：測定対象の形状などによるバックグラウンド変動に起因する誤差

r_2 ：換算係数 CF の相対誤差

電離イオン測定・評価フローと事例



(配分評価法: 配分係数による場合)

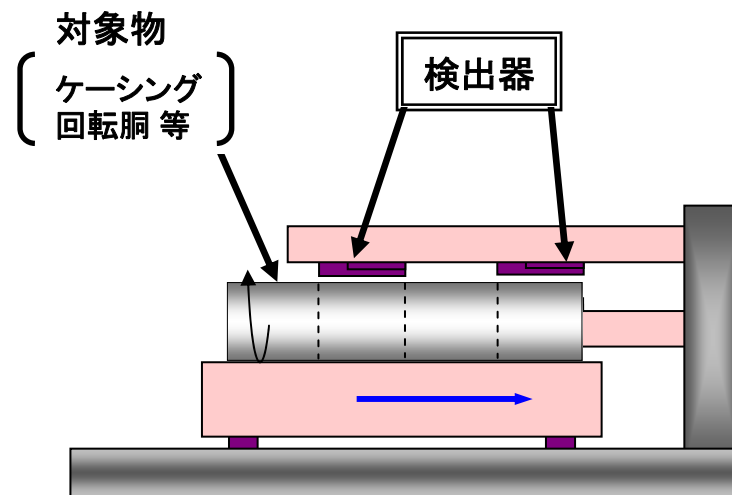
③ 曲面 α 測定の例 <概要>

- ◆ 測定単位 約 1kg:切断後の回転胴
約60kg:切断後のケーシング
- ◆ 測定対象 全 α 放射能
- ◆ 測定装置 サーベイ装置



(右図参照)

内蔵 { ZnSシンチレータ
プラスチックシンチレータ



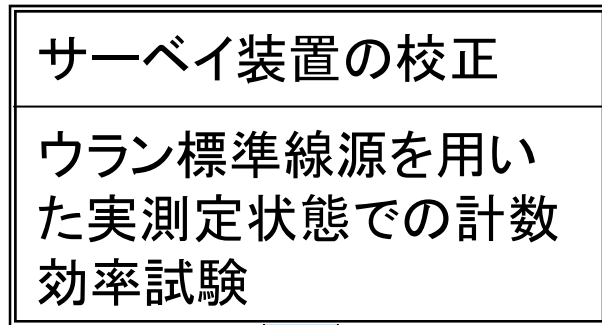
サーベイ装置の概略図

- ◆ 検出限界濃度 <math>< 0.1\text{Bq/g}</math>

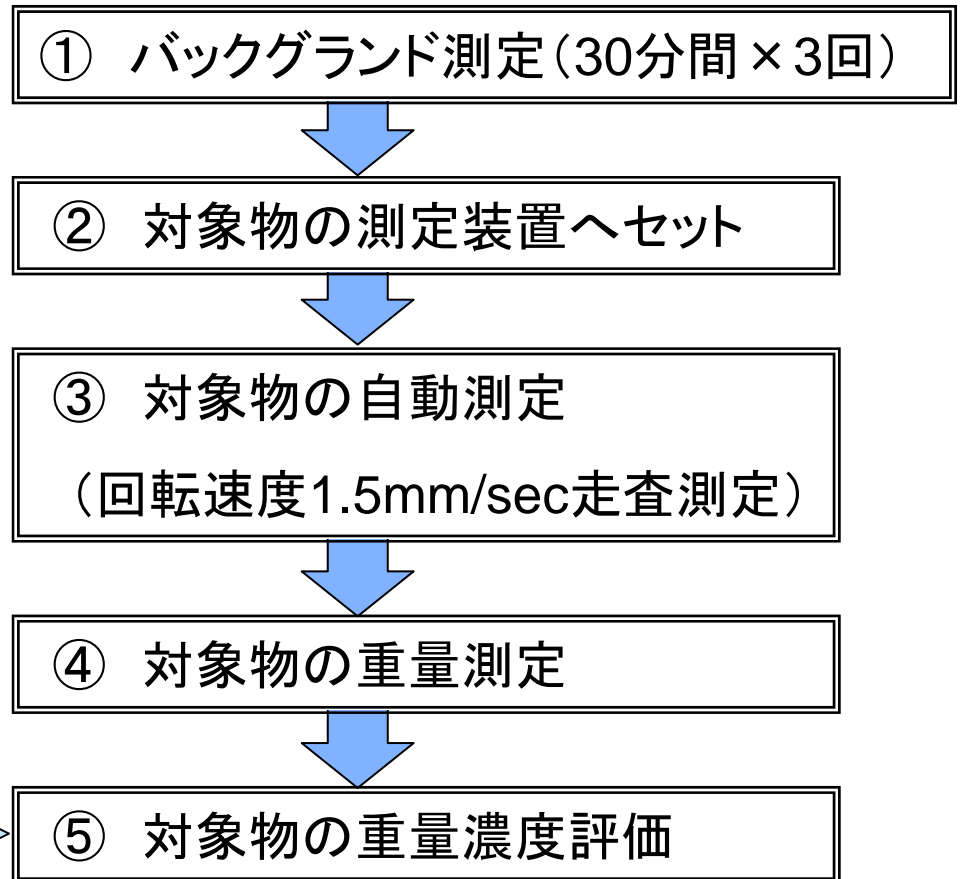
サーベイ装置による測定フロー

校正作業

測定作業

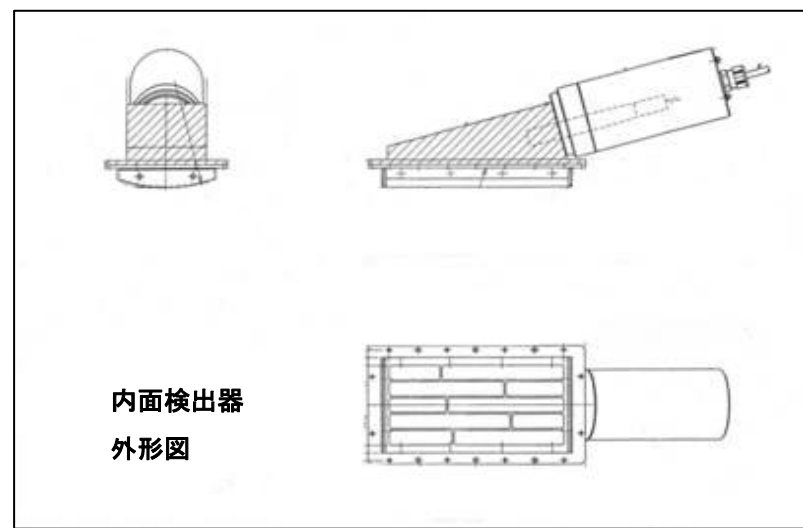
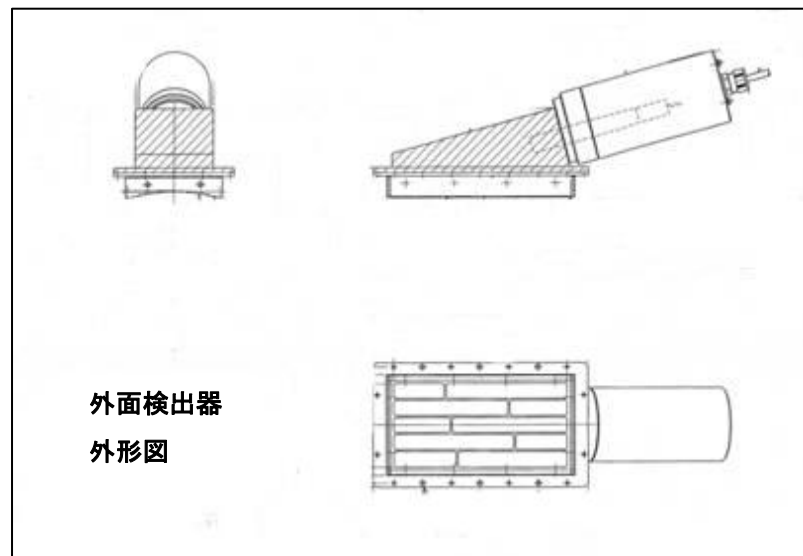


- ・機器効率
- ・検出限界計数
- ・B. G変動把握



サーベイ装置の検出器仕様

| No | 項目 | 仕様 |
|----|--------|--|
| 1 | 検出器基数 | サーベイ装置1:内外面とも4 サーベイ装置2:内外面とも2 |
| 2 | 測定線種 | 全 α 放射能, 全 β (γ)放射能 (クリアランス測定線種:全 α 放射能) |
| 3 | シンチレータ | ZnS(Ag), プラスチックシンチレータ |
| 4 | 遮光膜 | 0.25mg/cm ² Alナイズドマイラ3枚 |
| 5 | 検出面寸法 | W 70 × L 150 mm |
| 6 | 検出面開口率 | 約90% |
| 7 | プリアンプ | α , β 分離方法:波形弁別方式 通信方法:Aloka SS bus |



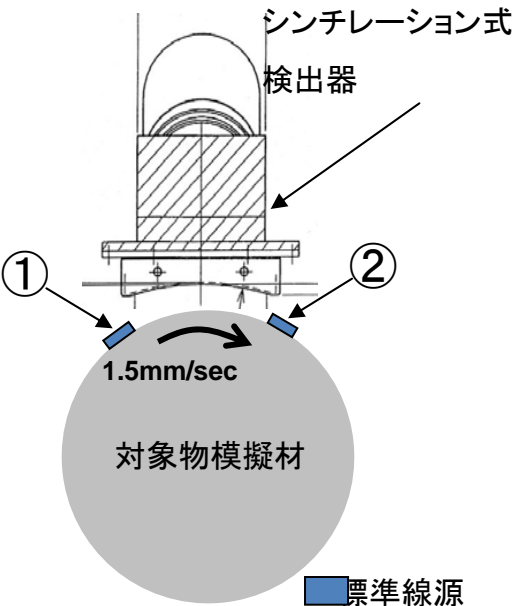
サーベイ装置の測定条件

| No | 測定条件名 | 測定条件値等 | 備 考 |
|----|------------------------|---------------|--|
| 1 | 対象物の回転速度 | 1.5mm/sec | |
| 2 | 間 隔 (シンチレータ vs 対象物) | 2mm~10mm | レーザ変位センサーにより常時測定 (測定誤差:FS1%, FS:20mm) |
| 3 | 測定時間 (データ採取間隔) | 53sec | 検出面の幅と回転速度から設定 |
| 4 | 高圧電圧 | 1,050V~1,150V | |
| 5 | 計数方法 | スケーラ | |
| 6 | 測定方法 | 直接法 | |

サーベイ装置の校正方法：機器効率

◆ 校正方法

天然ウラン標準線源を用いた実測定状態における測定間隔をパラメータにした計数効率試験を行い機器効率を求める。



①から②まで(検出面にそった)の計数値を測定し、計数値と測定時間を下記の式により算定し、機器効率を求める。

$$\text{校正計数率}(\text{sec}^{-1}) = \frac{\text{計数値}(c)}{\text{測定時間}(\text{sec})} \quad \dots \text{式1.1}$$

$$\text{機器効率}(\%) = \frac{(\text{校正計数率}(\text{sec}^{-1}) - \text{B.G計数率}(\text{sec}^{-1})) \times 100}{\text{標準線源の放出率}(\text{sec}^{-1})} \quad \dots \text{式1.2}$$

◆ 標準線源仕様

- ・ 幅:10mm, 長さ:150mm,
- ・ α 線放出率:59.6sec⁻¹(2 π 方向)
- ・ 線源番号:協-1545



標準線源写真

サーベイ装置の校正方法：測定誤差

◆ 機器効率の相対誤差

測定条件の測定間隔等の設定誤差により発生するため、それぞれの測定条件をパラメータにした計数効率試験を行い、測定条件の設定誤差による機器効率の変動量を求め、変動量の機器効率に対する割合を機器効率の相対誤差として設定する。

測定間隔の設定誤差による機器効率の相対誤差例

| 項目 検出器 | 測定間隔の 設定誤差 (mm) | 減衰カウント (min ⁻¹ /mm) | 相対誤差 (%) | | | |
|-----------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---|---|----|
| | | | 測定間隔の 設定値 (mm) | 4 | 7 | 10 |
| 内面検出器1 | 0.2 | 68 | | 4 | 5 | 6 |
| 外面検出器1 | 〔 レーザ変位 センサー誤差 FS:1% 〕 | 79 | | 5 | 6 | 8 |

* ケーシングサーベイ装置での試験結果

測定評価対象放射性物質の種類

◎ 推定放射能濃度

| 汚染源 核種 | 想定CL (Bq/g) | 濃縮製品ウラン | | 転換製品ウラン (濃縮原料) | | 濃縮廃品ウラン | |
|------------------|----------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | | 推定放射能濃度 (Bq/g-U) | D/C | 推定放射能濃度 (Bq/g-U) | D/C | 推定放射能濃度 (Bq/g-U) | D/C |
| ^{232}U | 0.1 | 3.73E+02 | 3.73E+03 | 7.47E+01 | 7.47E+02 | 7.47E+01 | 7.47E+02 |
| ^{234}U | 1.0 | 3.53E+04 | 3.53E+04 | 1.60E+04 | 1.60E+04 | 1.12E+04 | 1.12E+04 |
| ^{235}U | 1.0 | 9.91E+02 | 9.91E+02 | 6.11E+02 | 6.11E+02 | 5.21E+02 | 5.21E+02 |
| ^{236}U | 10.0 | 3.02E+03 | 3.02E+02 | 9.97E+02 | 9.97E+01 | 1.22E+03 | 1.22E+02 |
| ^{238}U | 1.0 | 1.23E+04 | 1.23E+04 | 1.24E+04 | 1.24E+04 | 1.24E+04 | 1.24E+04 |

* 想定CL: 平成21年10月5日原子力安全委員会「ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて」(p10)
推定放射能濃度: 同上(付属資料4-5 表3)

放射能濃度の決定

◎ 全α放射能濃度の算出

$$\text{全}\alpha\text{放射能濃度} = \frac{(\text{計数率}(\text{sec}^{-1}/\text{cm}^2)[\text{最大値評価}] - \text{B.G計数率}(\text{sec}^{-1}/\text{cm}^2)) \times \text{表面積}(\text{cm}^2)}{\text{対象物重量}(\text{g}) \times \frac{\text{機器効率}(\%)}{100} \times \frac{\text{線源効率}(\%)}{100}} \quad \dots\text{式2.1}$$



◎ 放射能濃度

全α核種の放射エネルギーを測定評価対象ウラン核種の核種存在比により按分し、各ウラン核種の放射能濃度を算出

核種存在比の設定例 (%)

| 汚染源 \ 核種 | ²³² U | ²³⁴ U | ²³⁵ U | ²³⁶ U | ²³⁸ U | 合計 |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| 濃縮製品ウラン | 0.7 | 67.9 | 1.9 | 5.8 | 23.7 | 100.0 |
| 転換製品ウラン (濃縮原料) | 0.2 | 53.2 | 2.0 | 3.3 | 41.2 | 100.0 |
| 濃縮廃品ウラン | 0.3 | 44.1 | 2.0 | 4.8 | 48.8 | 100.0 |

* B.G計数率及び機器効率には、測定誤差を加味する。(配分評価法:核種存在比による場合)

D/Cの確認

◎ ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U (天然ウラン核種)

$$\frac{D \text{ } ^{234}\text{U}}{C \text{ } ^{234}\text{U}} \leq 1 \quad \frac{D \text{ } ^{235}\text{U}}{C \text{ } ^{235}\text{U}} \leq 1 \quad \frac{D \text{ } ^{238}\text{U}}{C \text{ } ^{238}\text{U}} \leq 1$$

◎ ^{232}U , ^{236}U (回収ウラン核種)

$$\frac{D \text{ } ^{232}\text{U}}{C \text{ } ^{232}\text{U}} + \frac{D \text{ } ^{236}\text{U}}{C \text{ } ^{236}\text{U}} \leq 1$$

C: クリアランスレベル

D: 放射能濃度