

## ウラン取扱施設に係るクリアランスレベルの確率論的解析

平成 21 年 4 月 24 日  
日本原子力研究開発機構  
安全研究センター

これまでのウ検第4-2号及びウ検第5-1-3号の資料に示すように、ウラン取扱施設に係るクリアランスレベルについて、現実的に起こりえると想定される評価パラメータ及び評価経路の条件に対する単位濃度当たりの線量を計算し、線量のめやす値との比較からU-234、U-235、及びU-238のクリアランスレベルを検討した。また、これまでの原子力安全委員会による「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」報告書（以下、「クリアランスレベル報告書」）では、モンテカルロ法による確率論的解析の結果を基に、クリアランスレベル算出のために設定した評価パラメータ及び評価経路が適切かつ保守的に選定されていることを確認している。ウラン取扱施設に係るクリアランスレベルに対しても同様に、クリアランスレベル報告書において検討された確率論的解析を行い、その結果を基に評価パラメータ及び評価経路に対する妥当性の評価・確認を行った。

### 1. クリアランスレベルの妥当性評価・確認の考え方

クリアランスレベルの算出のために用いた評価パラメータには、ある分布（分布幅、分布型）をもったばらつきが考えられ、決定論的な方法により算出したウラン取扱施設に係るクリアランスレベルの結果の妥当性を確認するために、原子力安全委員会によるクリアランスレベル報告書の中で行われた以下の2つの評価をウラン取扱施設に対しても同様に行った。

#### (1) 評価パラメータのばらつき評価

本資料の確率論的解析とは、ばらつきのある各評価パラメータに対して、文献等から分布幅及び分布型を設定し、各評価パラメータの組み合わせによる線量解析を行い、その結果から線量のめやす値（ $10 \mu\text{Sv/y}$ ）に相当する核種濃度の累積分布関数（CDF）を求めるものである。評価パラメータのばらつき評価では、図1に示すように、確率論的解析から求めた核種濃度の累積分布を用いて、決定論的な方法により算出した $10 \mu\text{Sv/y}$ に相当する核種濃度が累積分布の確率の中央値（ $P=0.5$ ）から97.5%片側信頼区間下限値（以下、「97.5%下限値」）（ $P=0.025$ ）の間の範囲にあることを確認することにより、対象物に起因して線量を受ける集団のなかで線量を高く受ける人々を代表していること、及び評価上適切かつ保守的なパラメータを選定していることを確認する。

#### (2) シナリオ（評価パラメータ及び評価経路）の妥当性評価

評価経路の発生確率については、決定論的な方法によるクリアランスレベルの算出において保守的に全ての評価経路の発生確率を1としている。また、評価パラメータにはばらつきが考えられ、評価パラメータ及び評価経路の組み合わせの設定であるシナリオが適切かつ保守的に選定されていることを確認する必要がある。そこで、(1)で述べた確率論的解析を実施することで得られる各評価経路の97.5%下限値の値を、「発生頻度が小さいと考えられるシナリオ」の一つとして

取扱い、その場合の個人の線量については $100\mu\text{Sv}/\text{年}$ を超えないことを確認する<sup>1</sup>ことにより、シナリオ（評価パラメータ及び評価経路）の妥当性を評価する。具体的には、図2に示すように、97.5%下限値の最小値と決定論的解析による決定経路のクリアランスレベル（ $10\mu\text{Sv}/\text{y}$ 相当濃度）とを比較し、97.5%下限値の最小値が $1/10$ 以下の低い濃度ではないことを確認する。

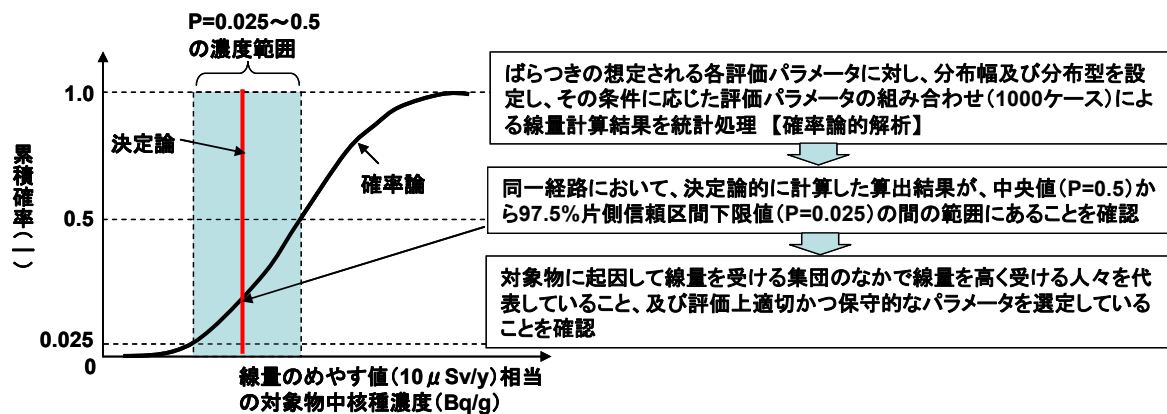


図1 評価パラメータのばらつき評価の方法

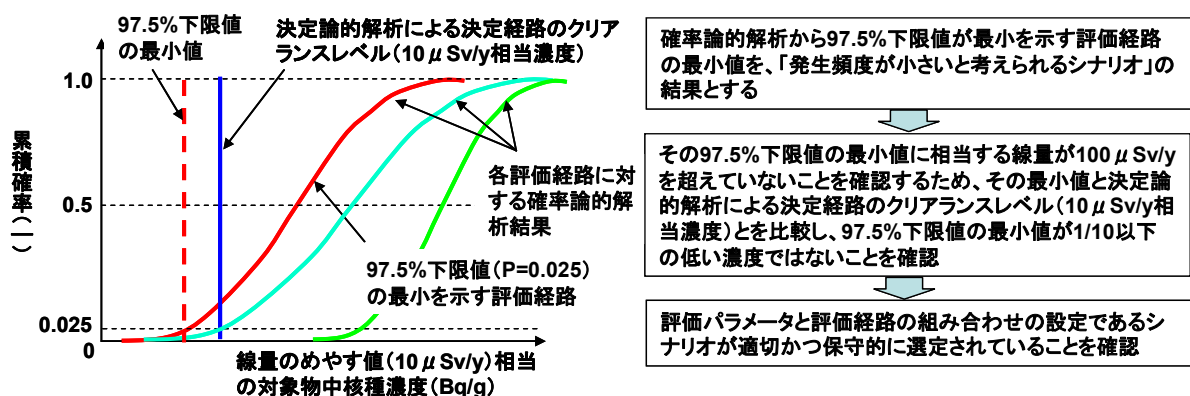


図2 シナリオ（評価パラメータ及び評価経路）の妥当性評価の方法

## 2. 確率論的解析の手順

以下のような手順により確率論的解析を行う。

- ① クリアランスレベルの算出に使用する評価パラメータのうち、ばらつきのある評価パラメータを選定する。
- ② 各評価パラメータに対して、文献等から分布幅、分布型（正規、対数正規、一様、対数一様の分布）を選定する。
- ③ 各パラメータが独立に変動するとして、いずれの経路においてもモンテカルロ法により1000個のパラメータセットをサンプリングする。
- ④ 決定論的な手法により用いた各評価モデルにより、クリアランス対象物中の核種濃度を $1\text{Bq/g}$ とする線量計算を行う。

<sup>1</sup> IAEAのTECDOC-855「固体状物質に含まれる放射性核種のクリアランスレベル」において、発生頻度が小さいと考えられるシナリオに対して $100\mu\text{Sv}/\text{y}$ を使用しており、本解析における線量のめやす値はIAEAのTECDOC-855と整合的である。

- ⑤ 線量のめやす値に相当するクリアランス対象物中の核種濃度の累積分布関数（CDF）を求める。
- ⑥ 決定論的に求めたクリアランスレベルの値と累積分布関数を比較し、評価パラメータ及び評価経路に対する妥当性の評価・確認を行う。

### 3. 解析条件

#### （1）評価対象経路

確率論的解析の評価対象経路は、ウ検第4－2号においてウラン取扱施設に係るクリアランスレベル試算において対象とすべき評価シナリオとして選定した「金属再利用のシナリオ」の41の評価経路のうち、各被ばく形態（外部被ばく、粉塵吸入被ばく、経口摂取被ばく）において決定論的方法による線量の高い各上位3つの評価経路（全9経路）を対象とした。確率論的解析の評価対象経路を表1に示す。

#### （2）評価モデル・パラメータ

確率論的解析に使用した評価モデルは、決定論的な方法によるクリアランスレベル試算に用いたモデルと同じとした。

評価パラメータのばらつき（分布幅、分布型）については、原子力安全委員会のクリアランスレベル報告書において採用された評価パラメータのばらつきを基本とするが、「再利用される金属中のクリアランス対象物割合」、「積み下ろし作業者の年間作業時間」については、ウラン取扱施設から発生するクリアランス対象物の物量を考慮し、以下のように分布幅を設定した。

- 再利用される金属中のクリアランス対象物割合（スクラップ積み下ろしを対象）： ウラン取扱施設（JAEA人形、JNFL六カ所、燃料加工4社）から10年間に発生する平均的なクリアランス対象物（金属）量から計算したクリアランス対象物割合の範囲（0.79～1.0）から、最小値0.8、最大値1.0を選定した。【選定値：1.0】
- 再利用される金属中のクリアランス対象物割合（スクラップ積み下ろし作業以外）： 流通経路における他の金属スクラップとの混合を考慮して分布幅を設定した。最小値はウラン取扱施設の運転及び廃止措置に伴い発生したクリアランス対象物2千tonが電炉1工場で使用された場合、1工場当たりのスクラップ使用量約60万tonより混合割合0.003（普通鋼電炉工業会によれば、国内で1年間に約3200万トンのスクラップが使用されている。したがって、クリアランス対象金属がスクラップ市場を介して流通する場合の混合割合は、選定値0.1よりも、さらに小さくなることが予想される。しかしながら、全国流通の程度を定量化することは困難であることから、ここでは、電炉1工場当たりのスクラップ使用量との混合割合によって最小値0.003を設定することとした）とし、最大値はクリアランスされた金属が他の産業から発生した金属スクラップとの混合を全く想定しない場合である1.0とした。【選定値：0.1】
- 積み下ろし作業者の年間作業時間： 鉄スクラップの処理（切断、圧縮、破砕など）プラントの能力は、主なメーカーによる機器の処理能力の仕様より10～200（ton/h）程度のばらつきが想定される。この処理の速度で一連の作業が行われると仮定し、2千tonのスクラップに対する作業時間（被ばく時間）として、10～200（h/y）の分布幅を設定した。【選定値：100h/y】

その他の評価パラメータのばらつき（分布幅、分布型）設定の一覧を添付資料1に示す。

表1 確率論的解析の評価対象経路

No.	評価対象	再利用形態	再利用品分類／ 処理工程	再利用品／ 処理作業等	被ばく形態		被ばく者		確率論的解析対象経路	
1	日常時	金属再利用用途	消費財	冷蔵庫	外部	直接線	消費者			
2				ベッド	外部	直接線				
3				フライパン	内部	経口摂取				
4				飲料水缶	内部	経口摂取				
5			建築材	鉄筋	外部	直接線	居住者			
6				水道管	内部	経口摂取				
7			金属再処理	スクラップ作業場周辺居住		内部	粉塵吸入	スクラップ作業場周辺居住者	成人	
8						内部	経口摂取			
9						内部	粉塵吸入		子供	
10						内部	経口摂取			
11	就業時	金属再利用処理	スクラップ輸送	積み下ろし	外部	直接線	作業者			
12					皮膚					
13				内部	粉塵吸入	○				
14				内部	直接経口					
15			運転	外部	直接線	運転手				
16			スクラップ前処理	前処理		外部	直接線	作業者		
17						皮膚				
18						内部	粉塵吸入			
19						内部	直接経口			
20			スクラップ溶融・鋳造	溶融・鋳造		外部	直接線	作業者		○
21						皮膚				
22				内部		直接経口				
23				スラグ処理		皮膚				
24			内部		粉塵吸入	○				
25			内部	直接経口	○					
26			製品加工	加工		外部	直接線	作業者		
27						皮膚				
28						内部	粉塵吸入			
29						内部	直接経口			
30			金属再利用用途	消費財	トラック	外部	直接線	消費者		
31						外部	直接線			
32	外部	直接線								
33	外部	直接線								
34	外部	直接線								
35	外部	直接線				○				
36	再使用品	外部			直接線					
37		内部			粉塵吸入					
38	内部	経口摂取			○					
39	建築材	スラグ駐車場				外部	直接線	作業者		○
40			皮膚							
41			内部	粉塵吸入		○				
				内部	直接経口			○		

#### 4. 解析結果

U-234、U-235、U-238に対するクリアランスレベルの確率論的解析結果を図3～図11に示す。各図とも、決定論的手法により計算した線量のめやす値（ $10 \mu\text{Sv/y}$ ）に相当するクリアランス対象物中の核種濃度（以下、「決定論的解析結果」と、確率論的解析から得られる累積分布関数との比較を示している。

評価パラメータのばらつきがクリアランスレベルに与える影響に関しては、U-234、U-235、U-238ともに、重要経路として選定した9つの全ての評価経路において、クリアランスレベルの決定論的

解析結果が集団の平均的な値である中央値 (P=0.5) よりも低い (中央値から97.5%下限値 (P=0.025) の間にある) ことから、決定論的解析に使用した評価パラメータが適切かつ保守的に選定されているといえる。

さらに、評価経路と評価パラメータの組み合わせの設定であるシナリオが適切かつ保守的に選定されていることの確認のために、各評価経路の97.5%下限値の値を「発生頻度が小さいと考えられるシナリオ」の一つとして取扱い、その場合の個人の線量については $100 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を超えないことを確認する。その結果を表2に示す。表2は、決定論的解析結果が最小となる決定経路と97.5%下限値の最小を示す経路の $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ 相当の核種濃度との比較を示している。決定論的解析による決定経路は、U-234、U-235、U-238ともにスラグ処理時の粉塵吸入経路であるが、ばらつきの想定されるパラメータの影響がより大きいスラグ駐車場の作業時の粉塵吸入経路が97.5%下限値の最小を示す経路となった。両者を比較した結果、表2に示すように両者の濃度比は1オーダー未満であることが示され、U-234、U-235、U-238ともに「発生頻度が小さいと考えられるシナリオ」が $100 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないことを確認した。

以上の確率論的解析の結果から、U-234、U-235、U-238に対するクリアランスレベル試算のために設定した評価パラメータ及び評価経路に対する妥当性を確認した。

表2 クリアランスレベルの算出結果と97.5%下限値(確率論的解析結果)との比較

放射性核種	決定論的解析結果			確率論的解析結果			確認 A/B<10
	経路番号*1	経路名*1	算出結果(A) (Bq/g)	経路番号*2	経路名*2	97.5%下限値の 最小値(B) (Bq/g)	
U-234	24	スラグ処理(吸入)	1.5	40	スラグ駐車場(吸入)	3.3E-01	○
U-235	24	スラグ処理(吸入)	1.4	40	スラグ駐車場(吸入)	3.1E-01	○
U-238	24	スラグ処理(吸入)	1.8	40	スラグ駐車場(吸入)	4.2E-01	○

\*1 決定論的解析結果が最小となる経路番号と経路名を記載している。

\*2 確率論的解析による97.5%下限値が最小となる経路番号と経路名を記載している。

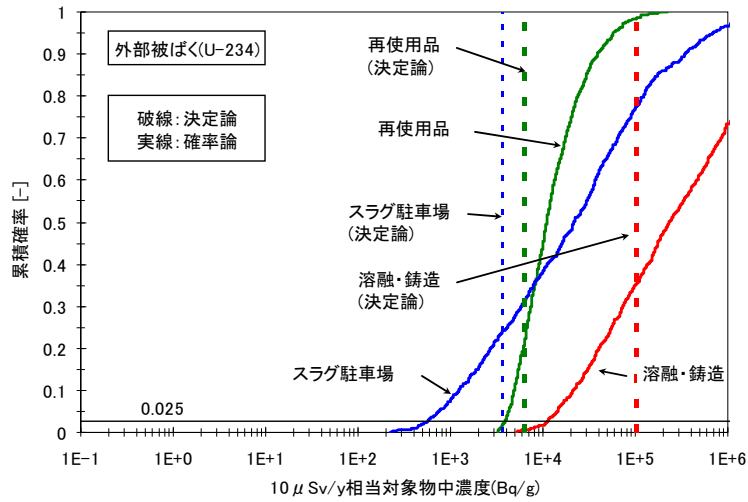


図3 10  $\mu$  Sv/y 相当対象物中濃度の累積分布関数(外部被ばく(U-234))

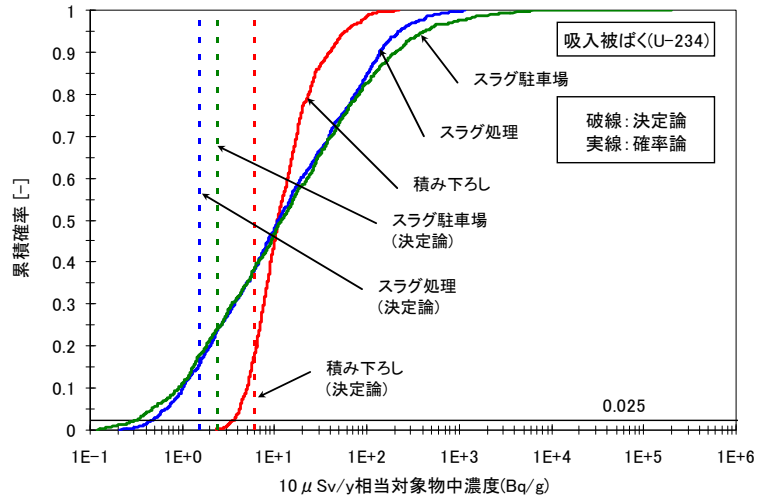


図4 10  $\mu$  Sv/y 相当対象物中濃度の累積分布関数(吸入による被ばく(U-234))

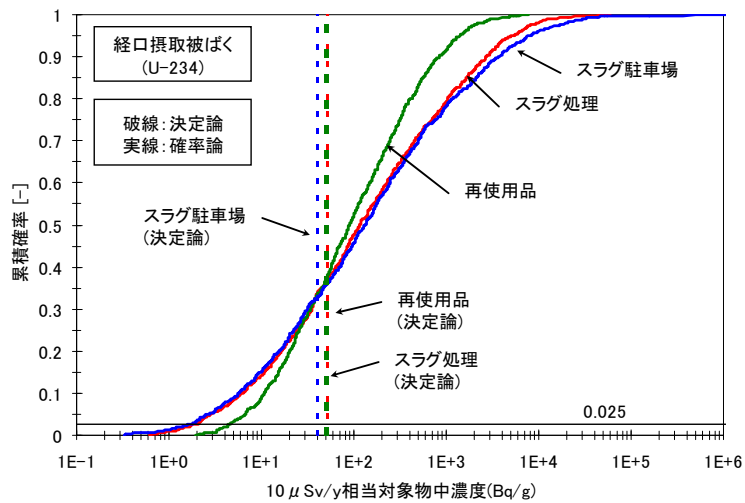


図5 10  $\mu$  Sv/y 相当対象物中濃度の累積分布関数(経口摂取による被ばく(U-234))

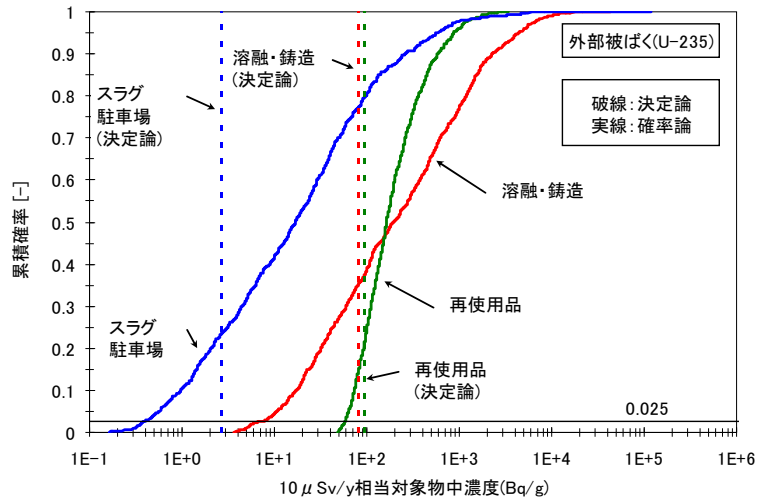


図6 10 μSv/y 相当対象物中濃度の累積分布関数(外部被ばく(U-235))

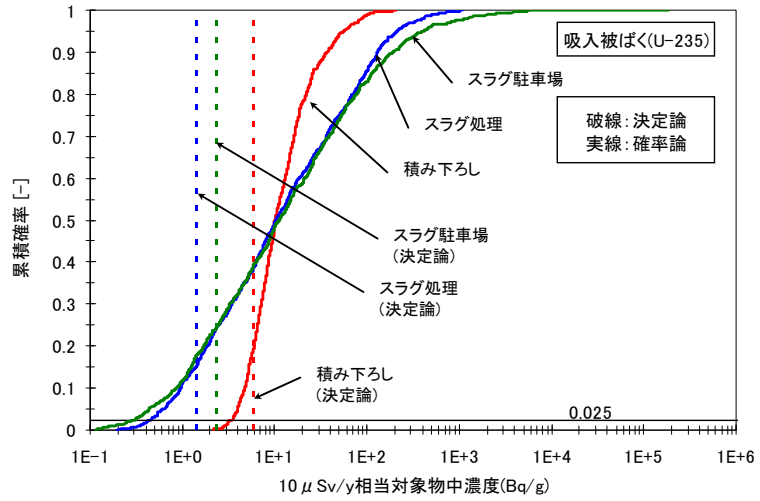


図7 10 μSv/y 相当対象物中濃度の累積分布関数(吸入による被ばく(U-235))

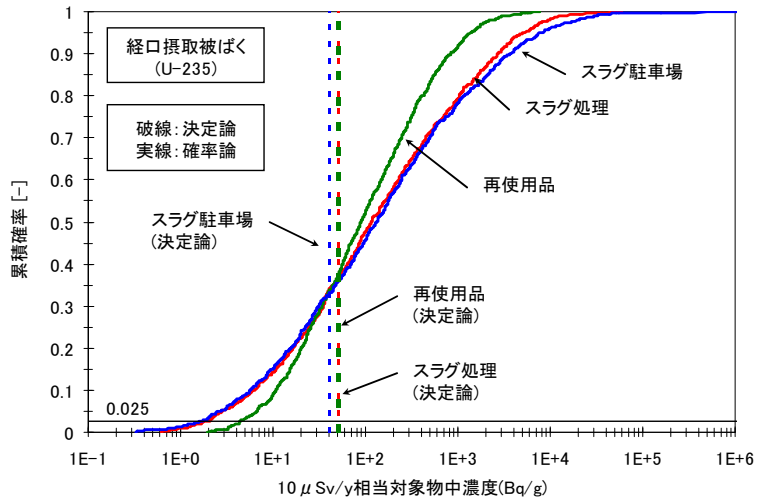


図8 10 μSv/y 相当対象物中濃度の累積分布関数(経口摂取による被ばく(U-235))

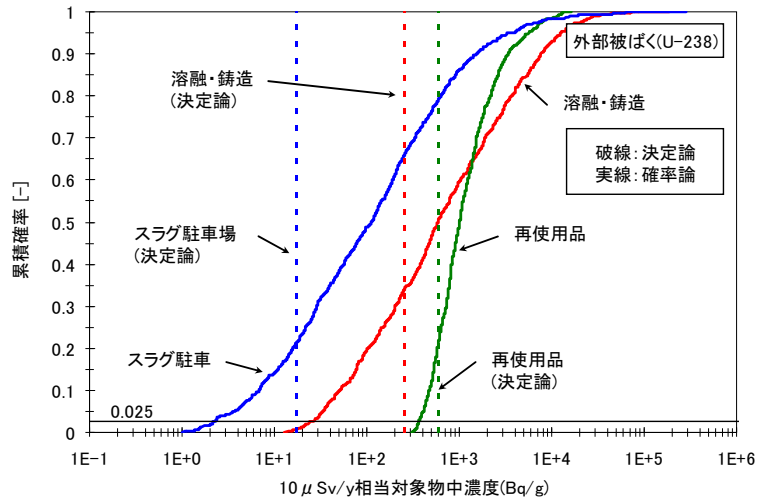


図9 10  $\mu\text{Sv/y}$  相当対象物中濃度の累積分布関数(外部被ばく(U-238))

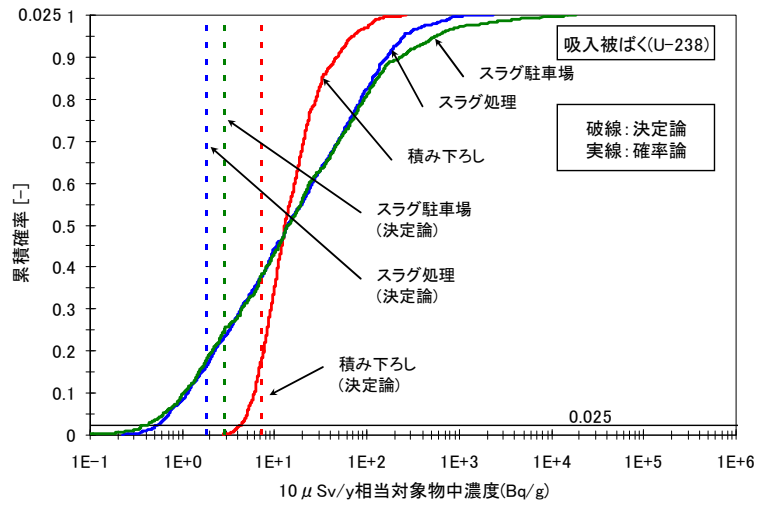


図10 10  $\mu\text{Sv/y}$  相当対象物中濃度の累積分布関数(吸入による被ばく(U-238))

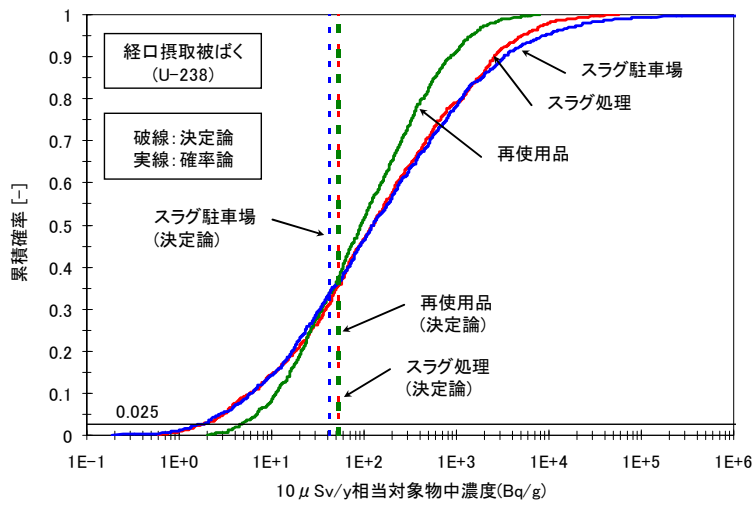


図11 10  $\mu\text{Sv/y}$  相当対象物中濃度の累積分布関数(経口摂取による被ばく(U-238))