

NRの判断方法と クリアランス検認方法

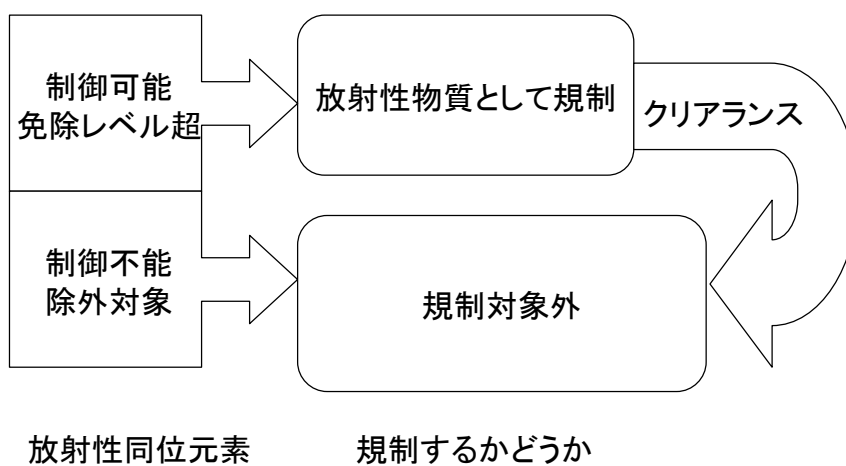
NR=放射性でない廃棄物
クリアランス=RIとしての
規制を解除

山口一郎, NIPH

NRとは何か？

- 法令上、放射性ではない廃棄物
 - クリアランス検認手続きなしに、事業所から、非放射性廃棄物として搬出できる
 - クリアランス検認はCo-60換算で0.1Bq/g未満の担保が求められる
 - ・ 原電では百万円／t
 - ・ 非圧縮放射性廃棄物廃棄料金：4.8百万円／t
 - ・ 1m³容器を使った場合
 - ・ 放射性として扱くと諸々のコストが大幅に増大

放射性物質の規制枠組み



これまでのNR

- 原子力安全委員会
 - 低レベル放射性廃棄物の固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第2次中間報告）
 - ・平成4年2月14日
 - 原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について
 - ・平成13年7月16日

原子力安全委員会の考え方

- 事業所からの固体状の廃棄物のうち
 - 汚染がないことまたは放射化の影響を考慮する必要がないことが明らか
 - ・ 「放射化の影響」はリスクベースであることではないか
- 汚染がない
 - 汚染部分が限定されていることが明らか
 - 当該汚染部分が分離された
- 放射化の影響を考慮する必要がない
 - 放射化の影響を評価し有意な差がある部分が分離
 - 有意な差を生じさせていないと評価される
 - ・ GM計数管の理論検出限界から導出と考えられる

4

NRの判断方法（放射化）

- 十分な遮へい体により遮へい
 - 施設の構造上、中性子線による放射化の影響を考慮する必要がないことが明らか
- 計算等により、中性子線による放射化の影響が、一般的に存在するコンクリートとの間に有意な差を生じさせていないと評価
- 計算等により、中性子線による放射化の影響を評価し、一般的に存在するコンクリートとの有意な差がある部分が分離された

5

「有意な差」のこれまでの解釈

- 暗黙の了解がある
- 自然放射能に比べて高い放射能
 - Reference 自然放射能の定義なし
- 今後の課題としている

6

「有意な放射化」の問題点

- 有意水準が設定されていない
 - 第一種の過誤の程度が明示されていない
 - ・ 放射化物でないものを一定の確率で放射化物として扱うことの不合理性が吟味されていない
- 第二種の過誤の制御がなされていない
 - 有意な差が検出されなかったことは必ずしも同等であることを保証しない
 - ・ 放射化物として扱うべきものを誤って非放射性とすることのエラーへの配慮が欠けている（と批判されかねない）
- コストをかけると差の検出力が高まる
 - 放射線防護上意味のない差を放射化として検出しかねない

7

NRの判断方法（汚染）

- 使用履歴、設置状況等から、放射性物質の付着、浸透等による汚染がないことが明らか
- 使用履歴、設置状況等から、放射性物質の付着、浸透等による汚染部分が限定されていることが明らか
 - 当該汚染部分が分離されたもの

8

汚染がないことが明らか？

- 「有意な放射化」と同様に定量的でない
- 程度を示しておかないと原電東海発電所でのクリアランス作業ストップと同様のことが起こりえる
- 「あり」「なし」ではなく、どの程度に制御されているかで規定しては
 - 医療機関からの環境放出RIは環境放射線・放射能モニタリグで検出されている現状

9

念のための放射線測定評価

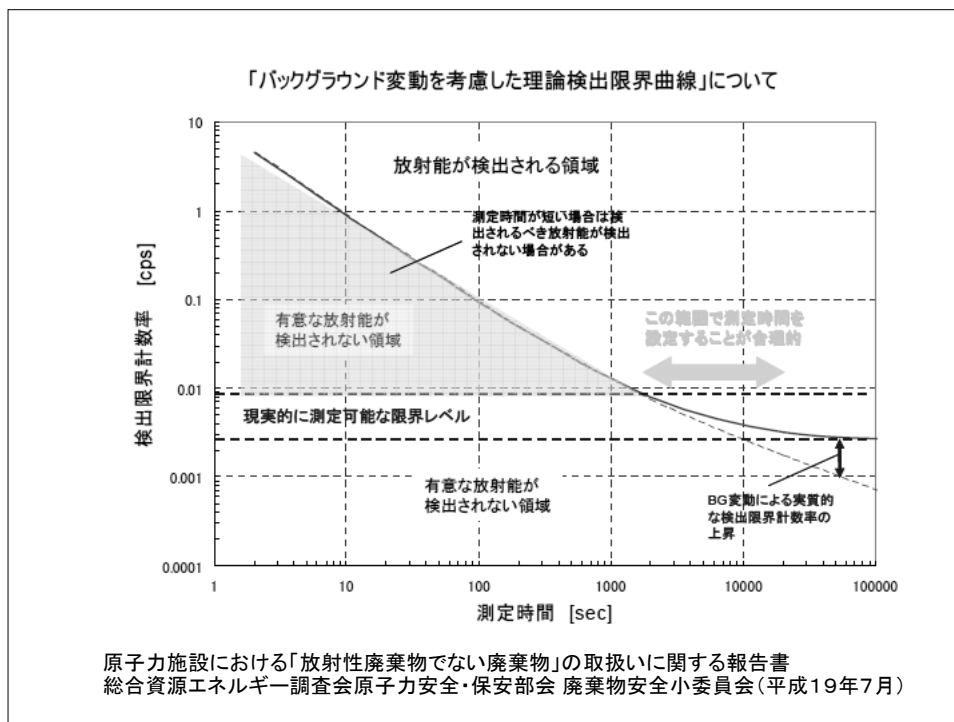
- より信頼性を高めるため念のため測定
 - 放射線事業所からの排出物を測定なしで排出することは産廃業者らに受け入れがたい
- 放射化汚染に関する評価
 - 中性子線測定
 - 放射化計算
 - 放射線測定
 - ・ 理論検出限界曲線の測定不能領域にあることを確認

10

十分遮へいされた

- 中性子線量当量率のレベル
 - $6.25 \mu\text{Sv/h}$

11



C病院（15MeV）の床ネジ

- NIPHの低バックグラウンド環境
 - 10回測定の平均値で検出限界1.6nSv/h
- BG:203 counts/10分間
 - 包括係数2とした場合の検出限界計数率
・ 2.8cpm(=0.047cps)
- 床ネジ試料：231 counts/10分間
 - 正味計数率2.8cpm

NRの提案

- 放射線防護上配慮が不要なレベル
 - 少物量に対しては免除レベル相当
 - 大物量ではクリアランスレベル相当
- 包括的に判断
 - 個別の判断を要しない
 - 評価シナリオ内であることは記録で担保
 - ・ 汚染が拡大していないことは日常管理測定で担保
- 例
 - 18MeV以下の治療用加速器の建屋
 - 6MeV以下の治療用加速器

14

15

サーベイメータによる クリアランス検認

NIFSの山西さんの方法

NaIサーベイメータを用いて [Bq/g]を評価する方法

自然科学研究機構
核融合科学研究所 安全管理センター
山西弘城

概要

放射化レベルを測定して、クリアランスレベル以下であることを確認したい。NaI検出器によるガンマ線サーベイを行う際、計数を放射能密度(Bq/g)に変換して、非放射性であることを確認するのだが、測定対象の核種や材料や放射能分布によってその変換係数が異なる。本報告では、鉄(2m径x20cm厚)を測定対象物、核種はCo-60として、放射能分布を均一と仮定して、NaIで得られると期待される計数をMCNPを用いて算出した。そして、いくつかの[材質、核種]の組み合わせについて最小検出放射能を評価した。

内 容

MDA評価

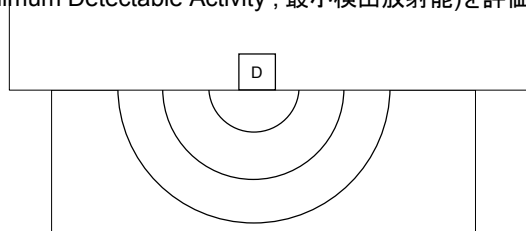
最小検出放射能の評価方法
(鉄、Co-60を例に方法について述べる)
(放射能分布は均一を仮定)

いくつかの[材質、核種]に関する評価結果

MDA評価

サーベイメータで得られるのは、「計数率 (cpm) 」または「線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) 」である。一方で、クリアランスレベルは核種ごとに[Bq/g]で示される。そこで、測定対象の[Bq/g]を知りたい。すなわち、cpmを[Bq/g]に変換したい。この変換は、測定対象の材質、核種、放射能分布によって異なる。第1のケースとして、[材質:鉄、核種:Co-60、放射能分布:均一]のときのMDA(Minimum Detectable Activity; 最小検出放射能)を評価する。

Iron
Co-60



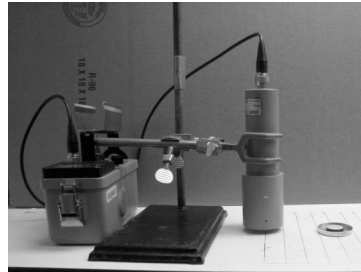
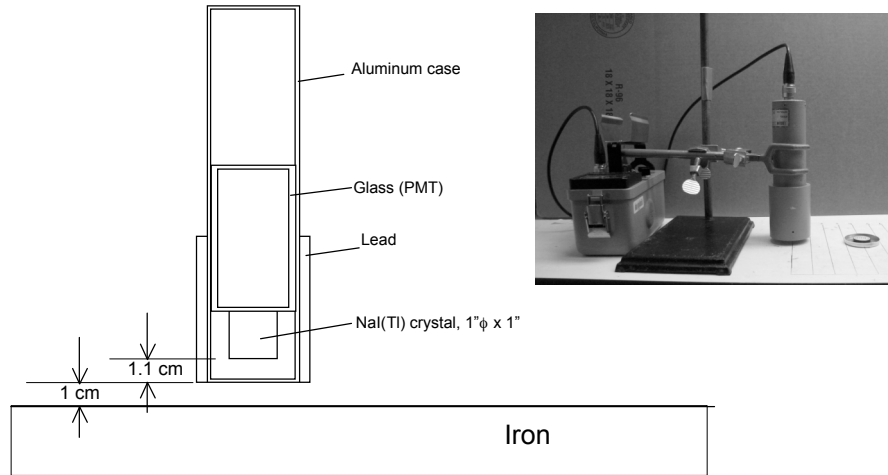
サーベイメータで検出される γ 線は、測定対象物質内での減弱を経て、検出器に到達したものである。あまりに深いところで発生した γ 線は検出されない。検出可能な領域をモンテカルロ計算コードMCNPを用いて算出する。そうすることによって、検出可能領域あたりの放射能と計数率とを対応づける。

MDA評価

サーベイメータプローブ

MCNP input

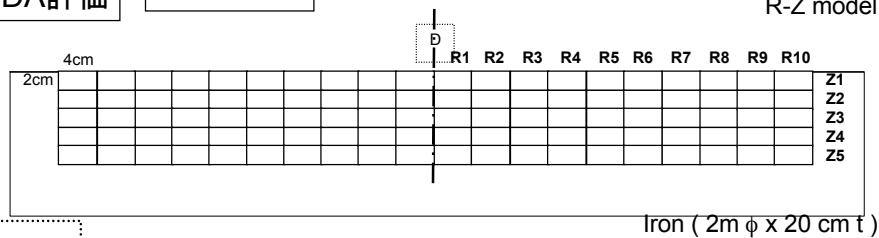
Ludlum Model 44-2



MDA評価

Source model

R-Z model

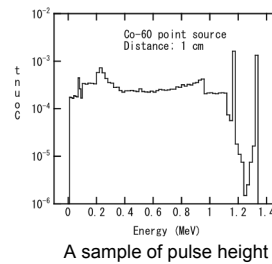


Iron
Co-60

計算体系は、R-Zモデル(円環モデル)である。
(R_i,Z_j)セルからCo-60のγ線を放出させ、
そのときに検出器内で生じるパルスの総数を「検出器で得る計数」とする。

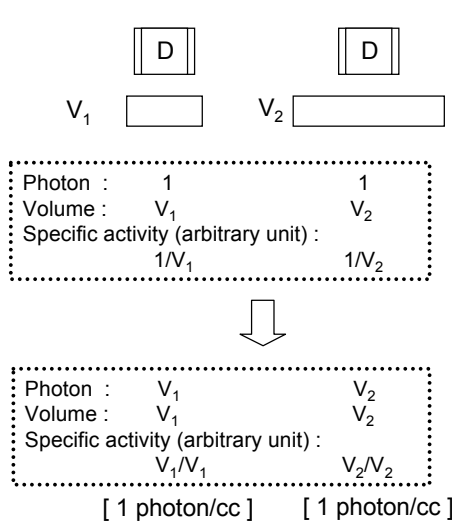
各(R_i,Z_j)セルを線源としたときの
計数P(R_i,Z_j)がそれぞれ得られる。

Tally: pulse height
pulse count ; P(R_i,Z_j)



MDA評価

計数P(Ri,Zi)を相互比較できるように規格化する

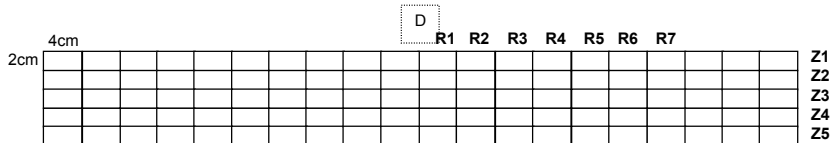


計数P(Ri,Zj)は、1photonあたりの値なので、(Ri,Zj)セルの体積を乗じて、線源強度を1photon/ccに規格化する。

Q(Ri,Zj)は、線源強度1photon/ccの(Ri,Zj)セルからの計数を意味する。

MDA評価

計数に寄与するセル → 検出可能領域

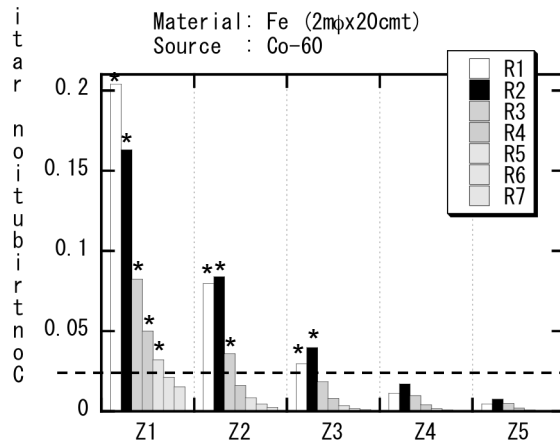


寄与率は、次の式で求める。

$$\frac{Q(Ri,Zj)}{Q(Total)}$$

検出器直近のセルの寄与が最大である。寄与率が大きなセルを選んだ結果、寄与率合計80%となった。上図の赤の領域。これを検出可能領域とした。

(R1,Z1)+(R2,Z1)の場合
は、寄与率37%



MDA評価

検出感度： 検出可能領域からの[Bq/g]あたりの計数

Activity (Bq/g)

$$A(R,Z) = \left[\frac{1}{k} \frac{V(R,Z)}{V(R,Z)} \right] / \left[\frac{1}{\rho} \frac{V(R,Z)}{V(R,Z)} \right] \left[\frac{\text{photon/k}}{\text{g}} \right]$$

$$[\text{Bq/g}] \quad \left[\frac{(\text{photon/cc}) (\text{cc})}{(\text{photon/Bq})} \right] / \left[\frac{(\text{g/cc}) (\text{cc})}{\text{g}} \right]$$

V(R,Z) : volume of (R,Z) cell

: number of photons

k : gamma-ray abundance

ρ : density

R: No. of Cylindrical Shell

Z : No. of Layer

検出感度

$$S = \eta \sum_{R,Z} Q(R,Z) / \sum_{R,Z} A(R,Z)$$

η : efficiency (conversion MCNP data to Detector)

計数を検出可能領域の[Bq/g]で除して、その結果、検出感度 4378 cpm/(Bq/g)を得た。このときの検出可能領域の寄与率は80%である。

検出効率の実測例

Co-60

Ludlum; 1450/10s, 0.093uCi

$$= 145 / (0.093 * 37000)$$

$$= 0.042 \text{ [cps/ Bq (at 1 cm)]}$$

[Same geometry]

$$\text{MCNP; } 0.040 \text{ [cps/ Bq (at 1 cm)]}$$

Detector No: 126143

HV: 538 V

Threshold : 25mV

WIN : OFF

$$= 105\%$$

$$\eta = 1.05$$

検出感度の計算では、η = 1とした。

MDA評価

Definition of MDA



Fractional standard deviation on RATE METER (Ref. KNOLL, p604)

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{1}{\pi 2yRC}$$

y ; count rate
RC ; time constant
Model-18 fast ; 1.8s
slow ; 10.4s

MDA(最小検出放射能)をバックグラウンド計数率のばらつきの4倍(4σ_B)と定義する。

すなわち、Bkgd+ 4σ_Bを超えたときに「バックグラウンド以外の放射能を検出した」とする。

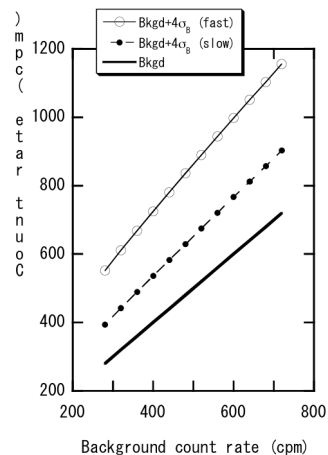
計数率計を用いたとき、その振れ幅は時定数によって異なる(上式を参照)。ここではこの振れ幅をσと考えた。

右図は、異なる時定数のときのBkgd+ 4σ_Bを示す。

Definition:

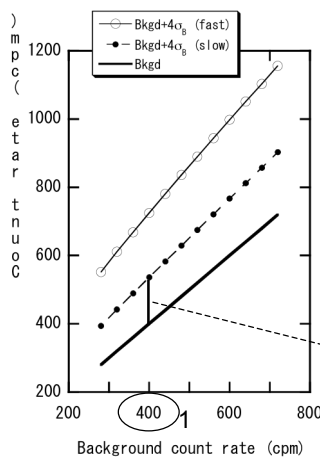
4σ_B is a detectable level

Less than B+4σ_B → N.D.

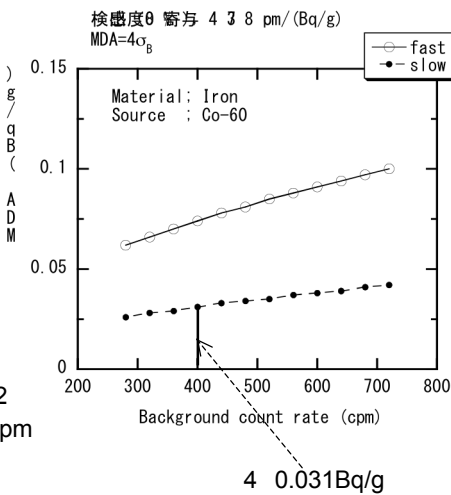


MDA評価

Definition of MDA

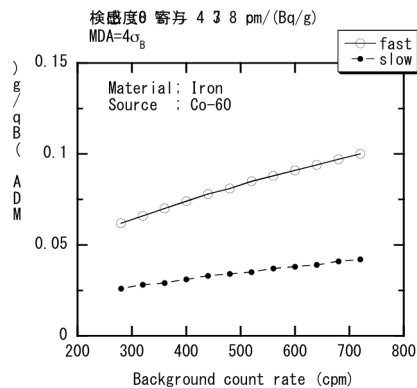
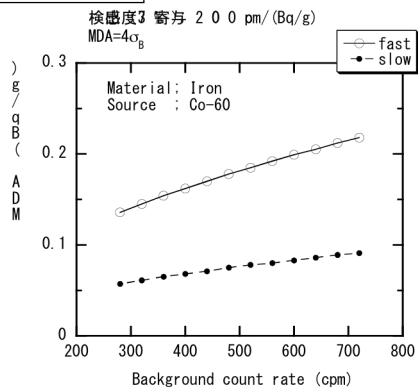


$4\sigma_B$ に対応する[Bq/g]を検出感度から算出する。(手順1~4)
それがMDAとなる。



3 4378cpm 1 Bq/g ←検出感度
136cpm 0.031 Bq/g
0.1 Bq/g can be detected

MDA評価



上図は、検出可能領域(37%寄与)と(80%寄与)についてMDAを評価した結果である。時定数を10秒にした場合では、MDAは0.1Bq/g以下である。

補足

今回、検討を行ったのは、計数率cpmを得るタイプのサーベイメータであるが、線量率 $\mu\text{Sv/h}$ を得るタイプでも本報告の手法でMDAを評価できる。
放射能分布がある場合も、別途検討した。検出感度は均一の場合が最小であったので、均一の場合の検出感度を用いるのが保守的であろう。

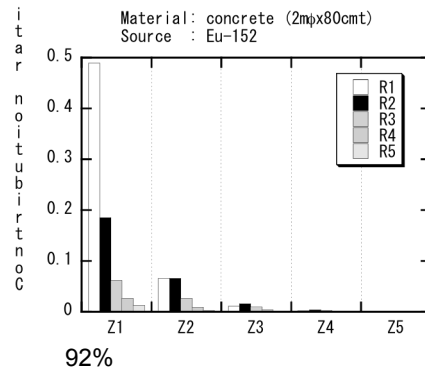
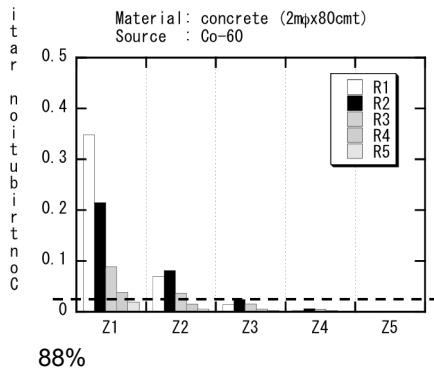
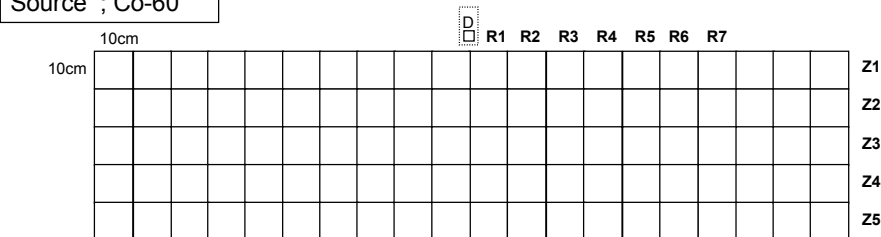
いくつかの[材質、核種]に関する評価結果

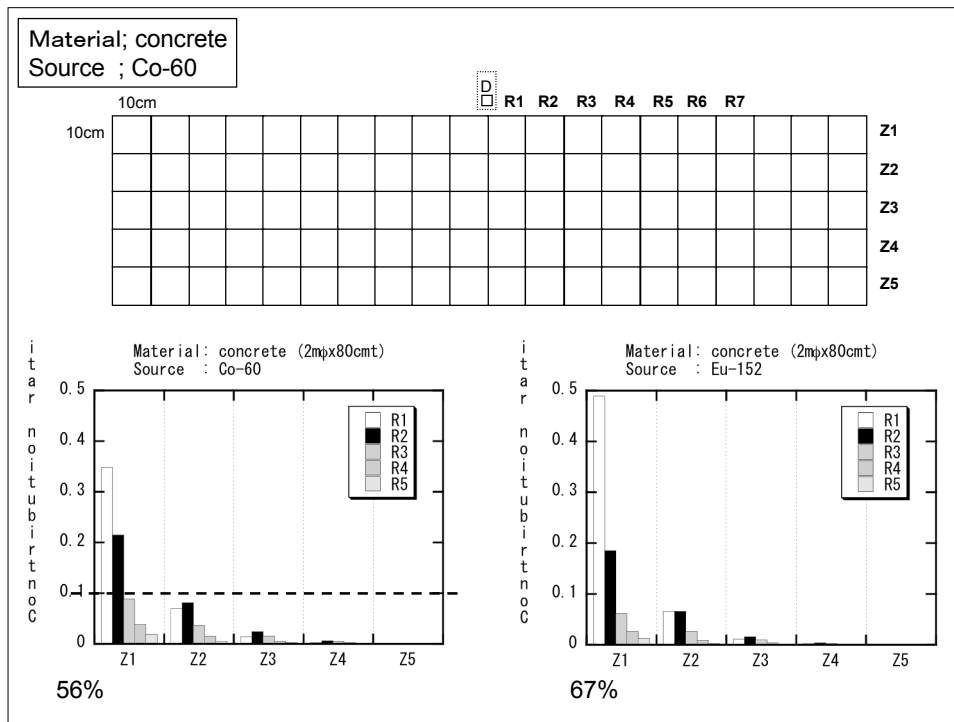
材質	核種	[検出可能領域]		検出感度 cpm/(Bq/g)	MDA(注) Bq/g
		寄与率	寄与容積		
		%	c c		
鉄	Co-60	37	402	2000	0.083
鉄	Co-60	80	3820	4378	0.038
鉄	Co-57	90	83	378	0.440
アルミ	Mn-54	87	35343	5514	0.030
コンクリート	Co-60	88	78540	5568	0.030
コンクリート	Eu-152	92	78540	3081	0.056

(注) Bkg d=600cpm
時定数10sec

[材質、核種] ごとに検出感度[cpm/(Bq/g)]を算出した。
この評価では、放射能分布は均質を仮定している。
[鉄、Co-57]以外では、Bq/gあたりの計数率が2000cpm以上なので、1Bq/gの検出は容易であると考えられる。
検出判断基準をバックグラウンド計数率のばらつきの4倍($4\sigma_B$)とした場合、[鉄、Co-57]以外で、最小検出放射能が0.1Bq/gを下回っている。
すなわち、サーベイをしたとき $B+4\sigma_B$ を上回らなければ、最小検出放射能未満であるといえる。

Material; concrete
Source ; Co-60





もっと本質的な問題

- リサイクル施設のゲートモニタ
 - 廃棄物業界が適切な対応が取れるように支援
 - 重要ゲートモニタの正しい運用の方法を提示する必要がある
 - ・ 検出時の調査費用など保険制度が必要
 - ・ 排出者責任を追及しがたい