

放射線障害防止法におけるクリアランス制度の整備に係る 技術的検討について (中間報告書)

【説明資料】

平成18年6月27日

放射線安全規制検討会

クリアランス技術検討ワーキンググループ

中間報告書の構成

1. はじめに
2. 放射線発生装置の解体等に伴って発生する廃棄物に対するクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法について
 - 2-1 放射線発生装置の種類
 - 2-2 放射化のメカニズム
 - 2-3 クリアランスに係る放射線発生装置の分類
 - 2-4 放射化物に係るクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法について
3. 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄について
 - 3-1 短半減期核種の供給、使用、廃棄の現状
 - 3-2 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄の可能性
- 減衰保管廃棄のケーススタディ -
 - 3-3 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄に係る規制の考え方
4. その他の留意点
 - 4-1 クリアランス対象廃棄物と「放射性廃棄物でない廃棄物」との違い
 - 4-2 免除レベルとクリアランスレベルについて
5. おわりに



1. はじめに

経緯

（原子炉等規制法におけるクリアランス制度の整備について）

- ・ 平成17年5月 原子炉等規制法が改正され、クリアランス制度が導入
- ・ 平成17年12月 具体的なクリアランスレベルや技術基準等を規定した関係政省令が整備・施行

（放射線障害防止法におけるクリアランス制度の検討）

- ・ 平成16年10月 放射線安全規制検討会において、放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に向けた検討を開始
- ・ 平成17年8月 クリアランス制度化に係る技術的な検討の充実を図る目的から、放射線安全規制検討会の下に「クリアランス技術検討ワーキンググループ」を設置

放射線安全規制検討会

→クリアランス制度の枠組みに関する事項を検討

クリアランス技術検討ワーキンググループ

→クリアランス制度化に係る技術的事項を検討

クリアランス技術検討ワーキンググループ 委員

- ◎ 近藤健次郎 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
- 大山柳太郎 (財) 原子力安全技術センター 常務理事
- 大越 実 (独) 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
バックエンド技術部 廃止措置課長
- 反保 浩一 三共(株) 薬剤動態研究所
R I 管理グループ 副主任研究員
- 服部 隆利 (財) 電力中央研究所 原子力技術研究所 上席研究員
- 古川 修 (社) 日本アイソトープ協会 環境整備部長
- 森本 隆夫 (財) 日本分析センター 事務局 参事

◎主査、○主査代理

(敬称略)

検討の対象物

放射線安全規制検討会で示された以下の対象物について検討

①放射線発生装置の解体等に伴って発生する廃棄物

（選定の理由）

- ・ クリアランス対象物の汚染形態は、放射化による汚染であることから、クリアランスレベル以下であることの測定・判断方法として、先行事例である原子炉施設の方法を使用可能と考えられること。
- ・ クリアランス対象物の物量が多く、これらを合理的に再使用・再生利用・処分することにより、クリアランスの意義でもある循環型社会の形成にも資することとなること。
- ・ 解体や改造時におけるクリアランス対象物と放射性廃棄物として扱う必要があるものの分別が容易であること。

②短半減期核種の使用に伴って発生する廃棄物

（選定の理由）

- ・ 適切な保管管理期間を経ることにより、クリアランスレベル以下となることが明らかであり、その判断が容易であること。
- ・ 短半減期核種によって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄は、海外において既に制度として取り入れられている国があること。

検討の内容(1)

1. 放射線発生装置の解体等に伴って発生する廃棄物に対するクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法

- ① 加速粒子の種類、加速エネルギー、対象物の元素組成等がクリアランス対象物にどのような影響を及ぼすかを検討
 - 放射化のメカニズムの明確化
 - 放射化のメカニズムから、放射化物の生成機構に影響を及ぼす因子を整理
 - 放射化物の生成機構に影響を及ぼす因子を放射化計算によって確認
 - クリアランス対象物の特徴を整理
- ② 多種多様な放射線発生装置に対し、合理的な測定・判断方法を検討するにあたり、クリアランスに係る放射線発生装置の分類を検討
 - 放射化物の生成範囲等に着目して、クリアランスに係る放射線発生装置を分類
- ③ 測定・判断方法のうち、事前評価方法について検討
 - 原子炉施設の放射化物における事前評価方法が適用可能かどうか、実際の加速器施設を用いてケーススタディを実施
 - ケーススタディの結果から、放射線発生装置のクリアランスに係る事前評価方法の考え方を検討
 - 他の放射線発生装置への適用性について検討
- ④ クリアランス制度を構築するにあたっての検討課題を抽出

検 討 の 内 容 (2)

2. 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄について

- ① 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄の実行性について検討
 - 短半減期核種の供給、使用及び廃棄の現状を調査
 - 減衰保管廃棄の実行性についてケーススタディを実施
(P-32, P-33, S-35, Cr-51, I-125)
 - 子孫核種の半減期が長い場合(例: Mo-99, Tc-99m)の取り扱いを検討
- ② 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄に係る規制の考え方について検討
 - クリアランスレベル以下であることの評価、短半減期核種の半減期の範囲、減衰保管期間、短半減期核種以外の核種の混入防止措置について検討
 - 減衰保管廃棄の制度設計(国の関与、事業者の役割)について検討
 - 減衰保管廃棄の制度化にあたっての課題を抽出

3. その他技術的な留意点

- ① クリアランス対象物と「放射性廃棄物でない廃棄物」との違いについて整理
- ② 免除レベルとクリアランスレベルの違いについて整理

クリアランス技術検討ワーキンググループにおける検討の経緯

第1回 平成17年9月7日（水）

- ・クリアランス技術検討ワーキンググループの設置について
- ・放射線安全規制検討会における審議状況について
- ・クリアランス技術検討ワーキンググループの進め方について
- ・放射線発生装置及び放射性同位元素の使用の実態について
- ・クリアランス技術検討ワーキンググループにおける検討課題について

第2回 平成17年10月26日（水）

- ・短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の取り扱いについて
- ・免除レベルとクリアランスレベルについて
- ・「放射性廃棄物でない廃棄物」について
- ・品質保証のあり方について

第3回 平成17年11月21日（月）

- ・放射化物に係るクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法について
- ・短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の取り扱いについて

第4回 平成18年3月3日（金）

- ・放射化物に係るクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法について
- ・短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の取り扱いについて

第5回 平成18年5月11日（木）

- ・放射線発生装置使用施設における事前評価ケーススタディについて
- ・中間報告書（案）について

第6回 平成18年5月31日（水）

- ・中間報告書（案）について

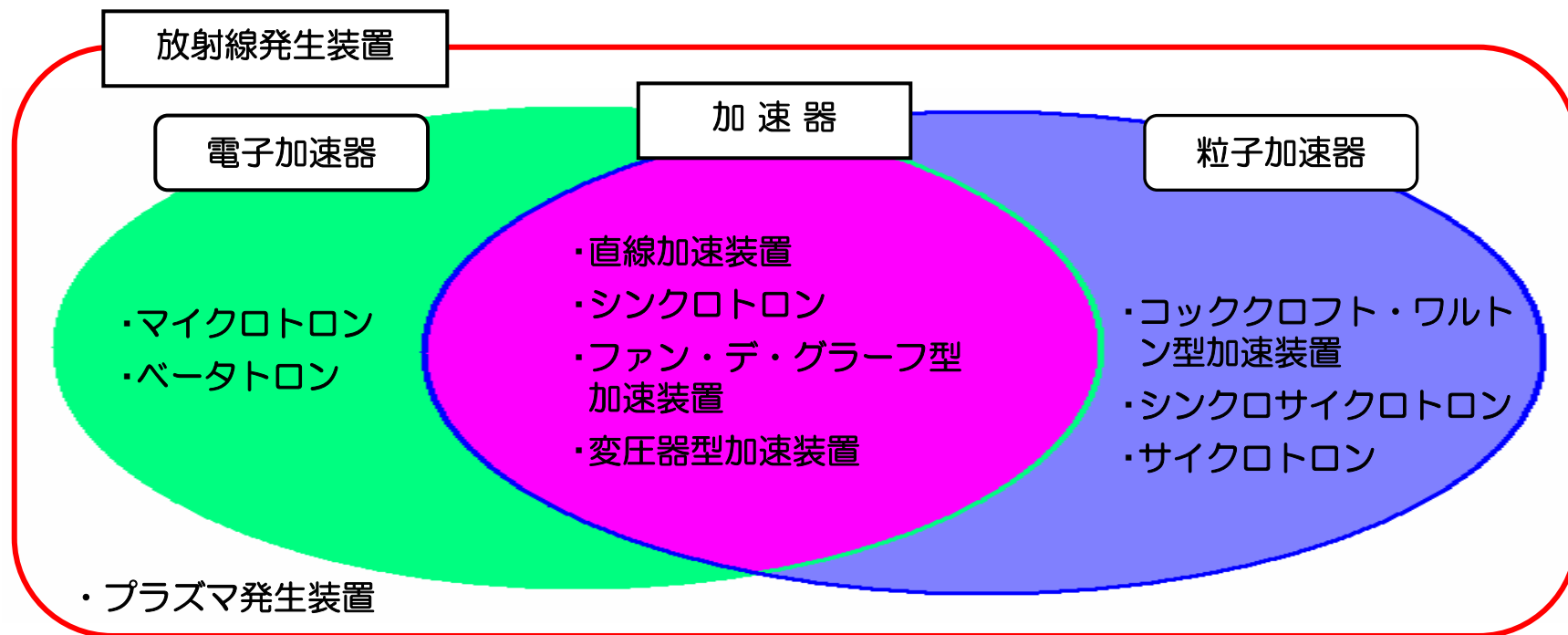


2. 放射線発生装置の解体等に伴って発生する 廃棄物に対するクリアランスレベル以下である ことの測定・判断方法について

放射線発生装置の種類

●放射線障害防止法における放射線発生装置の定義

荷電粒子を加速することにより放射線※を発生させる装置で、下図に掲げる10種類の装置（その表面から10cm離れた位置における最大線量当量率が600nSv/時以下であるものを除く。）



※法令上の「放射線」とは、次のように定義されている。

- (1) アルファ線、重陽子線、陽子線その他の重荷電粒子線及びベータ線
- (2) 中性子線
- (3) ガンマ線及び特性X線（軌道電子捕獲に伴って発生する特性X線に限る。）
- (4) 1メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びX線

2-1 国内における放射線発生装置の利用実態（１）

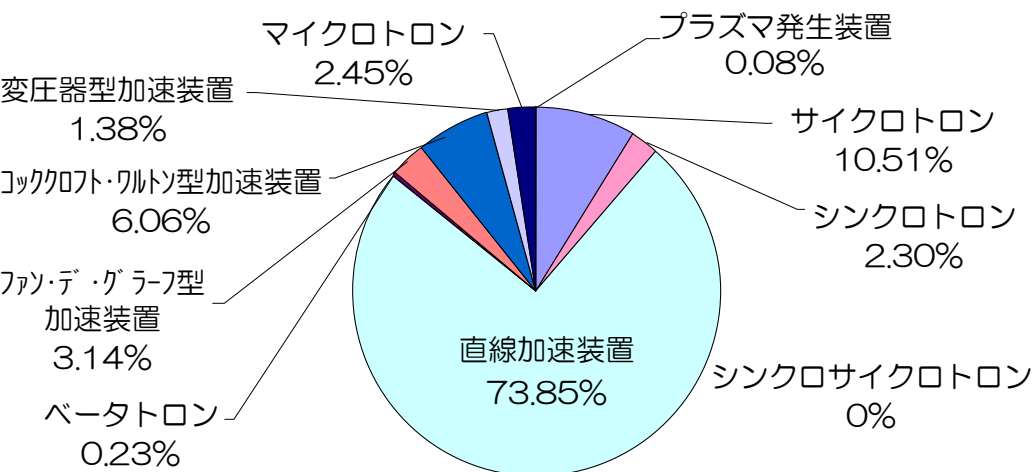
（平成16年度末）

種 類	総数	医療機関	教育機関	研究機関	民間企業	その他の 機関
サイクロトロン	137	86	1	16	32	2
シンクロトロン	30	3	5	17	4	1
シンクロサイクロトロン	-	-	-	-	-	-
直線加速装置	963	813	17	39	64	30
ベータトロン	3	1	-	2	-	-
ファン・デ・グラーフ型	41	-	16	24	-	1
コッククロフト・ワルトン型	79	-	23	26	28	2
変圧器型加速装置	18	-	-	9	9	-
マイクロトロン	32	24	4	1	3	-
プラズマ発生装置	1	-	-	1	-	-
総 数	1,304	927	66	135	140	36

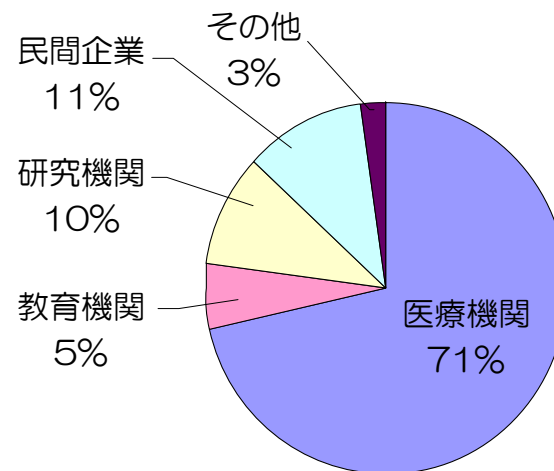
放射線利用統計 2005年（社団法人日本アイソトープ協会発行）より

2-1 国内における放射線発生装置の利用実態（2）

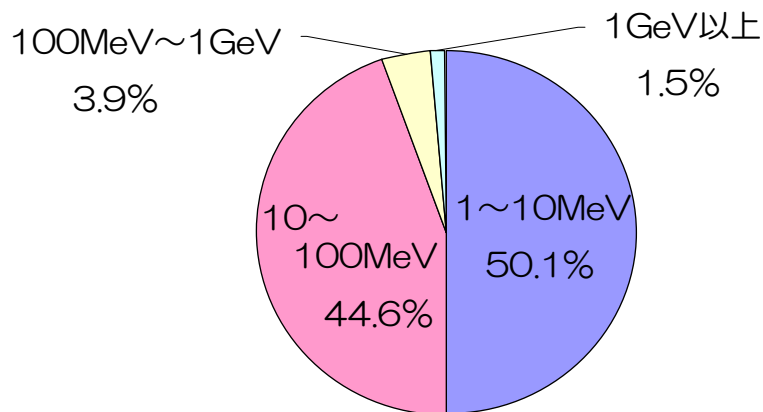
1. 放射線発生装置の種類別台数
（平成16年度末 1,304台）



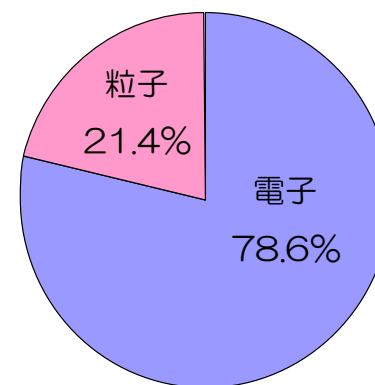
2. 放射線発生装置の機関別台数
（平成16年度末 1,304台）



3. 放射線発生装置のエネルギー別台数 ※

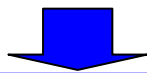


4. 放射線発生装置の加速粒子別台数 ※



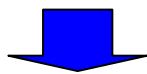
加速器

- **加速粒子**の種類が多種多様（電子、陽子、ヘリウム、鉛……）
- **加速エネルギー**が多種多様（1 MeV～数GeV）
- 加速器本体や周辺機器等の**構成材料**が多種多様（鉄、銅、コンクリート、…）
- **運転条件**（運転時間、運転パターン、出力等）が多種多様



これらの違いが、放射化物の生成機構にどのような影響を及ぼすのか？

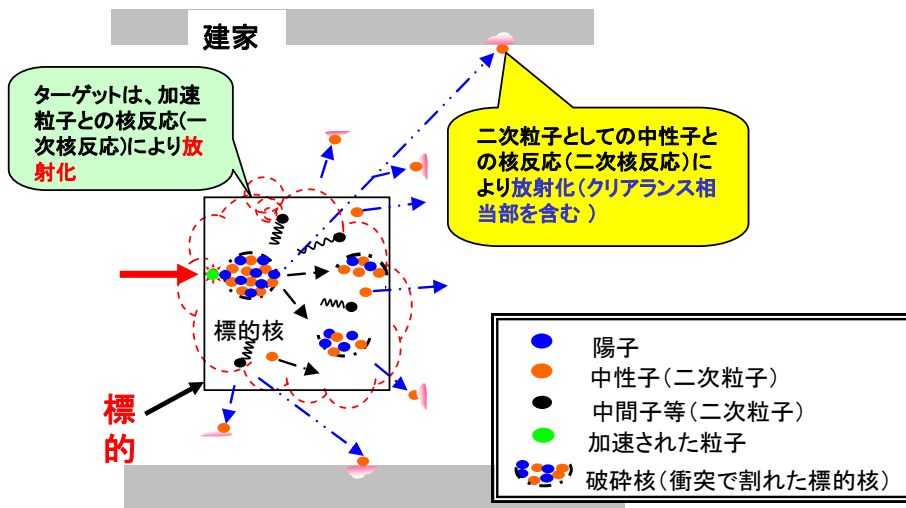
- ・ 放射化によって生成する核種の種類に違いはあるのか。
- ・ 放射化によって生成する核種の放射エネルギーに違いはあるのか。
- ・ クリアランスの対象となる部分の放射化のメカニズムに違いはあるのか。



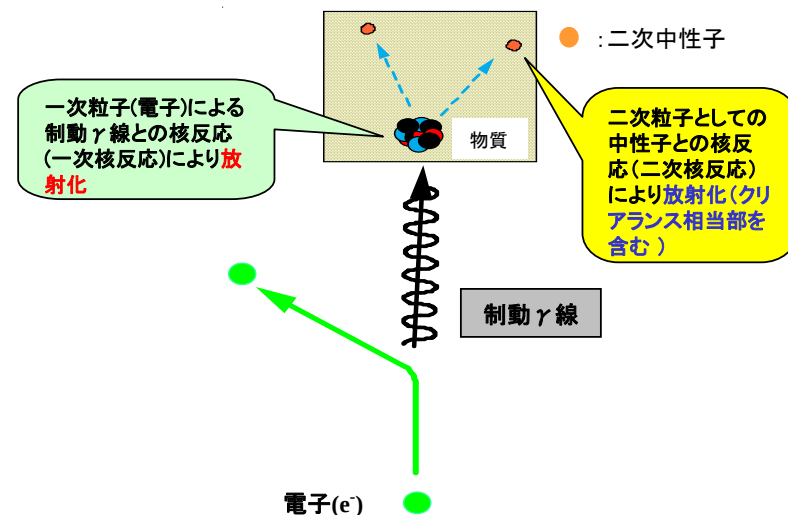
加速器における放射化のメカニズムを明らかにし、放射化物の生成機構に影響を及ぼす因子を整理するとともに、クリアランス対象となる物の特徴を検討

放射化のメカニズムの概念図

建家



粒子加速器による反応概念図



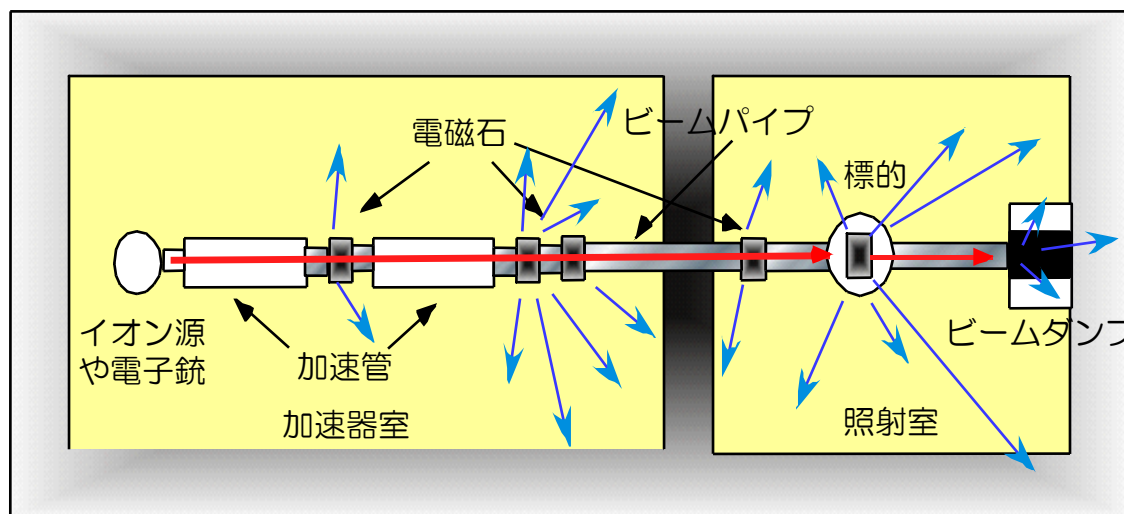
電子加速器による反応概念図

粒子 加速器	一次粒子による主な反応	
	1MeV 以下	; (d, <u>n</u>)
	10MeV 程度	; (p, <u>n</u>)
	数10MeV程度	; (p, 2 <u>n</u>), (p, p <u>n</u>), (<u>α</u> , <u>n</u>)
	数100MeV程度	; (p, x <u>nyp</u>)

電子 加速器	一次粒子(制動γ線)による主な反応	
	数10MeV程度	; (<u>γ</u> , <u>n</u>), (<u>γ</u> , p <u>n</u>), (<u>γ</u> , 2 <u>n</u>)
	数100MeV程度	; (<u>γ</u> , x <u>nyp</u>)

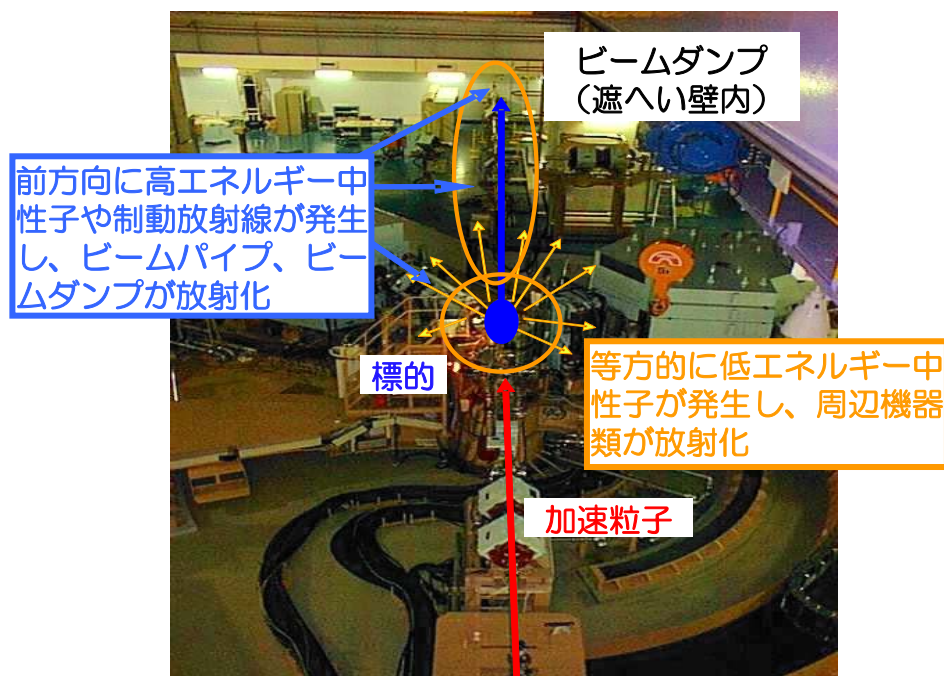
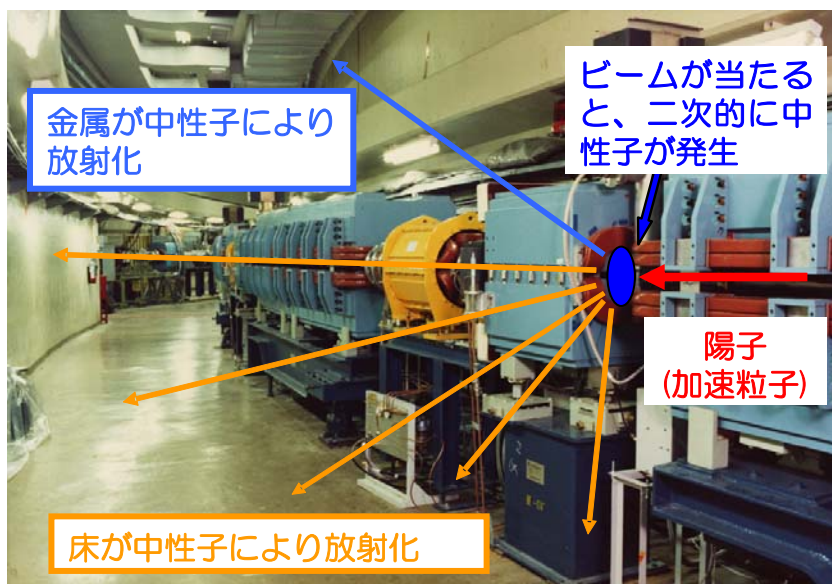
二次粒子による主な反応	
; (<u>n</u> , <u>γ</u>), (<u>n</u> , 2 <u>n</u>)	

2-2 代表的な加速器の構成機器と放射化物の概要



加速粒子(→) 二次粒子(→)

- 加速粒子は、標的やビームダンプ等の加速器本体でその一部或いはすべてが失われる。
- このビーム損失により加速器本体が放射化されるとともに、二次的に発生する粒子により周辺機器や遮へいコンクリート、建家構造物等が放射化される。



① 加速粒子の種類

一次粒子による反応は、加速粒子の種類により異なる。そのため、生成する核種の種類は加速粒子の種類に依存する。

しかし、一次粒子による反応で生成する二次粒子のうち、**周辺に放射化を起こすような粒子は、加速粒子の種類によらずほとんどが中性子**であり、そのエネルギーは高いものから低いものまでである。

② 加速エネルギー、出力、運転時間

加速器の加速エネルギー、出力及び運転時間の増加に伴って、一次粒子による反応が増大し、その結果、発生する二次粒子である中性子量も増加する。

そのため、**中性子との反応により生成される核種の放射能も増大する。**

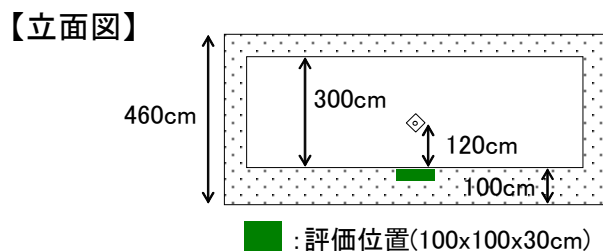
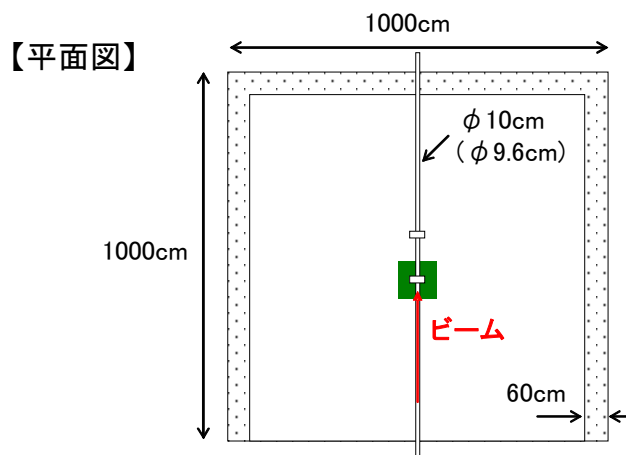
③ 材料の種類及び元素組成

二次粒子による反応によって生成する核種の種類は、加速器本体、周辺機器、遮へいコンクリート及び建家構造物等の材料の種類及び元素組成に依存する。

2-2

放射化物の生成機構に影響を及ぼす因子の計算による確認

放射化物の生成機構に影響を及ぼす因子を確認するため、同一の簡単なモデル体系を組み、加速粒子の種類、加速エネルギー及び対象となる材料を変化させ、生成する核種の種類と放射能及び核種間の組成比についてモンテカルロコードを用いて計算した。



〔 計 算 体 系 〕

	粒子(陽子)加速器		電子加速器		
計 算 モ デ ル					
加速エネルギー	10MeV	30MeV	100MeV	400MeV *1	12GeV *1
出 力	10 ⁸ 個/秒				
照射時間	5年間				
冷却時間	30日				
ターゲットの材質 及び形状	Fe (50×50×20cm及び 110×110×200cm*2)		Ta (3.2×2.0×2.1cm)		
計算対象の位置	ターゲット下120cm(左図  部:100×100×30cm)				
計算対象の材質	コンクリート		ステンレス鋼, 炭素鋼, コンクリート		
計 算 コ ー ド					
光子束・中性子束	PHITS		EGS MCNPX		
放 射 化	DCHAIN-SP2001		DCHAIN-SP2001		

*1: 粒子(陽子)加速器のみ *2: 12GeVのみ

〔 計 算 条 件 〕

(結果) 加速エネルギーが大きくなるにつれて生成する核種の放射能は大きくなるが、核種間の組成比は、それぞれの加速器についてほぼ一定であった。

- ① 放射線発生装置の種類や加速粒子の種類によらず、クリアランス対象となる箇所は、ほとんどが一次粒子との反応によって生じた二次粒子である中性子による放射化物である。
- ② 放射化物中の放射エネルギーは、加速エネルギーや出力、運転時間などの運転条件に依存する。
- ③ 生成する核種の種類及び組成比は、ほぼ対象となる材料の元素組成に依存する。

放射線発生装置の種類と放射化の有無のイメージ

放射線発生装置の種類	主な用途	エネルギー	放射化の有無のイメージ *1			台数 (概数)
			建築物 (壁・床等)	加速器本体	標的	
① 電子直線加速器、 変圧器型加速装置、 ベータトロン及びマイクロトロン	医療、工業利用	2.5～25MeV	×	×	△	880台
② 電子シンクロトロン (入射器を含む)	放射光	数十MeV～8GeV	×	△	△	20台
③ 電子直線加速器	原子核実験	数十～100MeV	○	○	○	10台
④ 小型サイクロトロン	PET用	～20MeV	△	○	○	120台
⑤ 陽子シンクロトロン (入射器を含む)	医学治療	20～200MeV	△	○	△	10台
⑥ サイクロトロン及びシンクロトロン (入射器を含む)	原子核・素粒子実験	数十MeV～12GeV	◎	◎	◎	20台
⑦ コッククロフト・ワルトン型 ファン・デ・グラフ型及び 低エネルギー陽子直線加速器*2	物理実験	～数十MeV	×	△	△	240台

*1：◎放射化のレベル高 ○：放射化のレベル中 △：放射化のレベル低 ×：放射化無し

*2：中性子発生を目的としない

このように放射化の程度が異なる放射線発生装置に対して、同じクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法を用いて放射化物をクリアランスすることは合理的ではない。



クリアランスの測定・判断方法を検討するにあたっては、加速粒子の種類や加速エネルギー、加速原理等の科学的根拠に基づく放射線発生装置の分類が必要

2-4 クリアランスレベル以下であることの測定・判断方法について

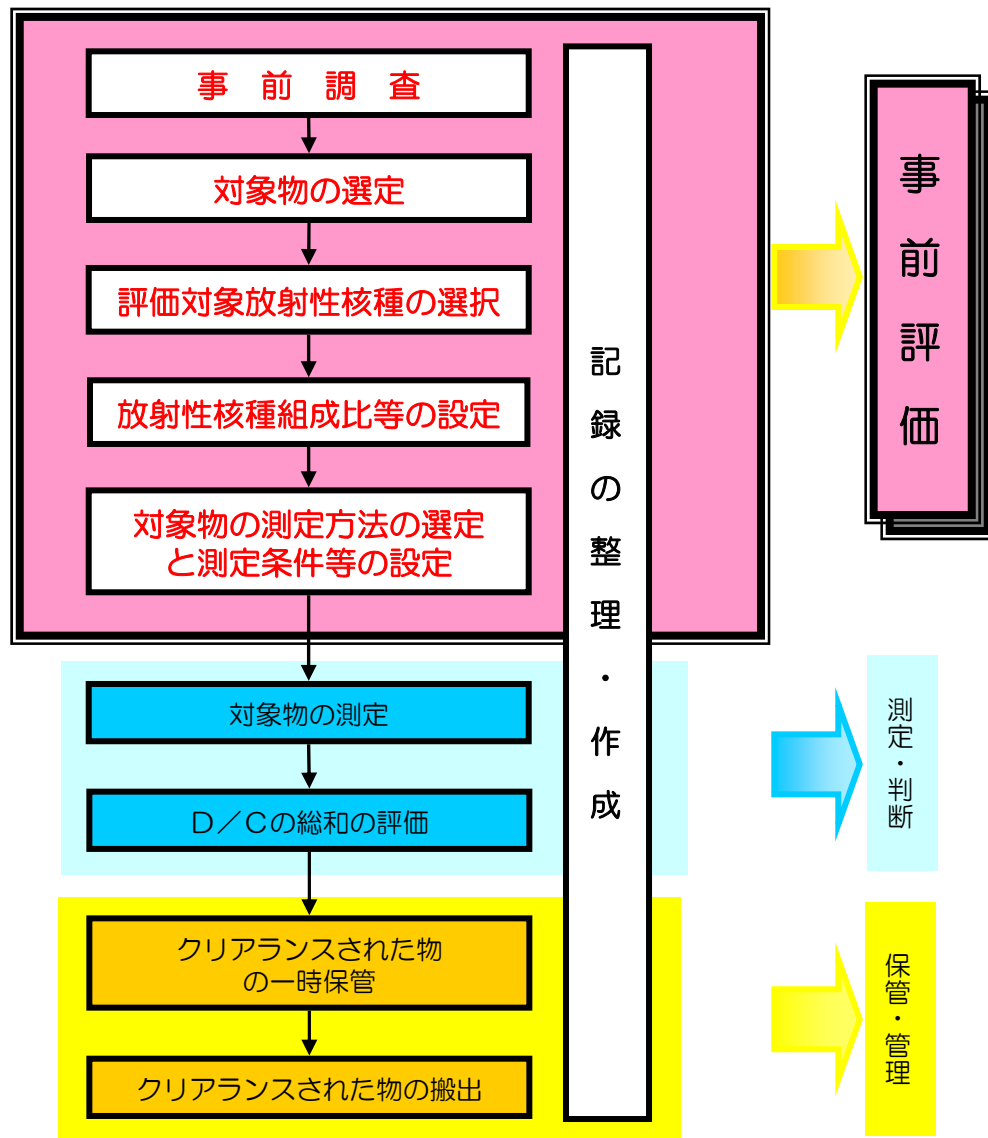
クリアランス対象物の特徴

- 放射線発生装置の種類や加速粒子の種類によらず、**クリアランス対象となる箇所は、ほとんどが一次粒子との反応によって生じた二次粒子である中性子による放射化物である。**
- 放射化物中の**放射エネルギーは、加速エネルギーや出力、運転時間などの運転条件に依存する。**
- 生成する**核種の種類及び組成比は、ほぼ対象となる材料の元素組成に依存する。**

原子炉施設の放射化物に係るクリアランスの事前評価方法が適用できる可能性あり

- 実際の放射線発生装置使用施設を対象に、原子炉施設の放射化物に係る事前評価の手順に沿ったケーススタディを実施
- その結果から、放射線発生装置使用施設のクリアランスに係る事前評価方法の考え方を検討

原子炉施設のクリアランス判断の基本手順 及び放射化物のクリアランス判断に係る事前評価の目的



放射化物の特徴

- 核種間の相関関係を把握することにより、線量評価上影響の大きい核種を制限することで、他の影響の小さい核種も制限できる。
- 同様の理由により、放射能測定が容易な核種の測定結果から、測定が困難な核種の放射能評価が可能である。

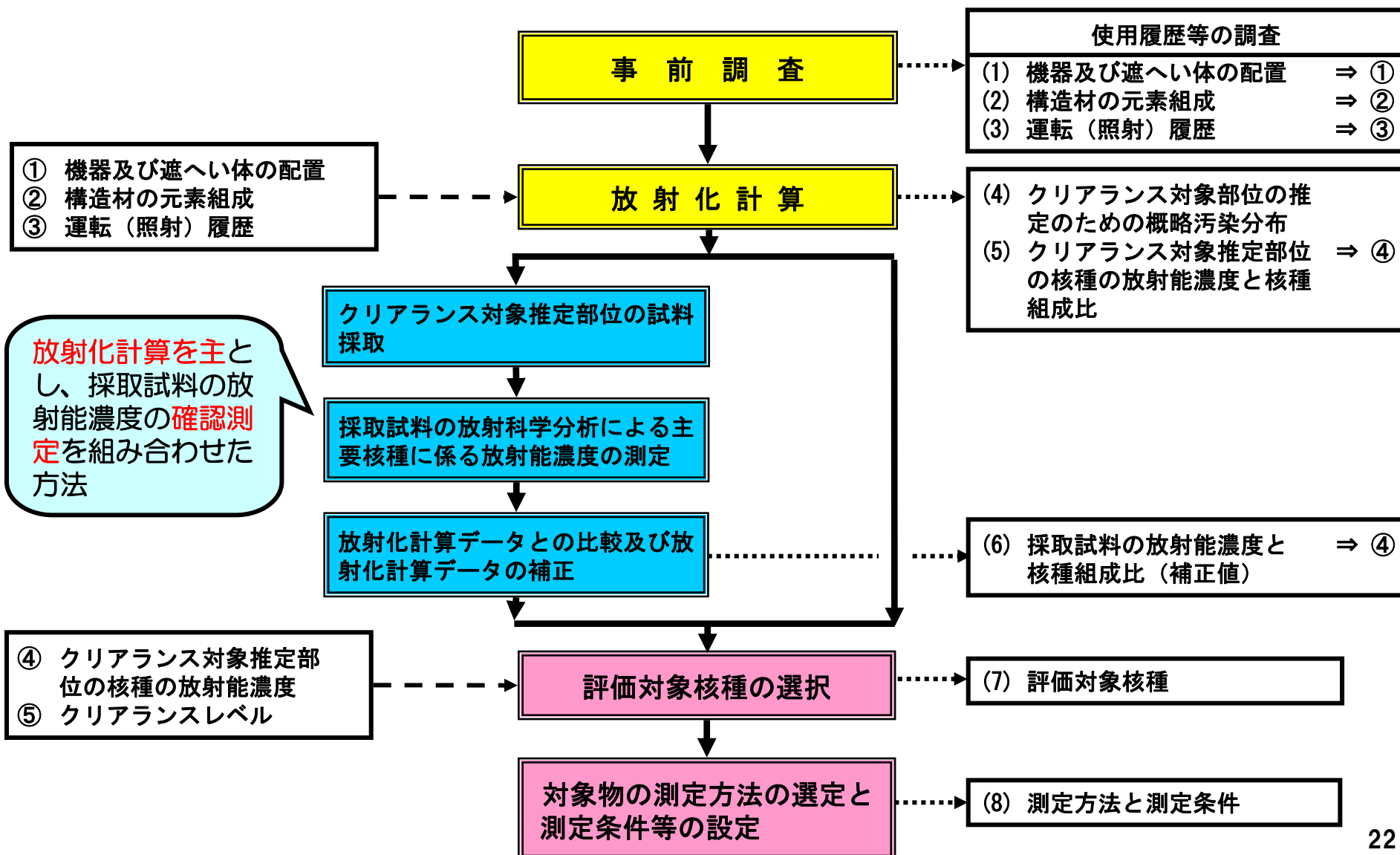
事前評価により

- ◆ クリアランス対象物を選定
- ◆ 線量評価上影響の大きい核種を評価対象核種として選定
- ◆ 評価対象核種の組成比を設定

2-4 原子炉施設における放射化物のクリアランス判断に係る事前評価フロー

主要なデータ

目的・結果(反映先を含む)



実施設を用いた放射化物に係る事前評価方法の検討 (放射化計算の概要・その1)

① 検討対象施設

- 高エネルギー加速器研究機構 陽子加速器施設 (P 1 9 表の⑥に該当)
- 日本原子力研究開発機構 LINAC〔電子直線加速器〕 (P 1 9 表の③に該当)
- 日本アイソトープ協会 仁科記念サイクロトロンセンター (P 1 9 表の④に該当)

② 検討対象部位

今回のケーススタディでは、放射化計算結果と当該部位における放射能濃度の分析・測定結果とを比較・検討するため、過去に遮へいコンクリート等からボーリング試料を採取し、その試料の放射能濃度の分析・測定を行っている部位を検討対象とした。

なお、これらの部位は、放射能濃度や核種組成比へ影響を及ぼすと考えられる加速器の設置状況、ビーム損失点からの距離及び角度、ビーム損失点におけるビーム損失割合などを考慮して選定されている。

③ 放射化計算システム

電子加速器用計算システム：EGSコード、MCNPXコード及びDCHAINコード

粒子加速器用計算システム：PHITSコード及びDCHAINコード

実施設を用いた放射化物に係る事前評価方法の検討 (放射化計算の概要・その2)

④ 放射化計算に必要なデータの収集方法

項目	主要な収集データ	主要な収集方法	ケーススタディでのデータ収集
建家	放射線発生装置の設置場所、設置場所の構成材料	使用許可申請書、建家竣工図、実測	同 左
機器及び遮へい体	放射線発生装置及び遮へい体の構成材料、設置位置及び寸法	機器類竣工図、実測	同 左
構造材	金属及びコンクリートの元素組成	金属：JIS等規格値、材料証明書（ミルシート等）、信頼性の評価された文献値 コンクリート：放射化分析等にて定量	主要な元素を対象にコンクリートの放射化分析により定量 それ以外の元素については、（財）原子力環境整備センター「原子力発電の運転及び解体等に伴い発生する廃棄物の物量、性状等に関する資料集（平成10年10月）」のクリアランスレベル算出に用いた値を使用
運転（照射）履歴	ビーム発生時間、加速粒子の種類及びエネルギー、運転出力、ビーム損失箇所及び損失割合、ターゲット	運転日誌等	同 左

⑤ 放射化計算の結果

放射化計算の結果は、放射線発生装置使用施設の廃止措置工程等を考慮して放射線発生装置停止1年後の値とした。

2-4 既存の放射能濃度の分析・測定結果と放射化計算結果との比較・検討

原子炉施設の放射化物に係る事前評価方法について、放射線発生装置使用施設への適用性を確認するため、既存の採取試料の放射能濃度の分析・測定結果と今回のケーススタディで実施した放射化計算結果とを比較

(結果) 放射化計算結果が分析・測定結果の値より小さくなる核種がある。

そのため、放射化計算を主とした場合、

- 放射化計算結果から相対重要度評価に基づき評価対象核種を選定すると、本来評価対象とすべき核種が漏れる可能性がある。
- 放射化計算結果から評価対象核種の組成比を設定すると、実際の組成比と異なる可能性がある。

(原因)

- ・ 複雑な装置構造、ビーム損失等により、装置の放射化計算用のモデル化、照射履歴の設定等を正確に行うことが困難
- ・ 特に、放射化により生成する核種の種類と放射能の評価にあたっては、中性子のフルエンス率とそのスペクトルに大きく依存しており、原子炉ではこれらがほぼ一定であり、かつ、その履歴は把握されているが、加速器では運転条件が度々変更され、ビームラインの変更も日常的であり、またビーム輸送の状態も一定ではないことから、現時点においては、計算のみで精度良く見積もることはできないため

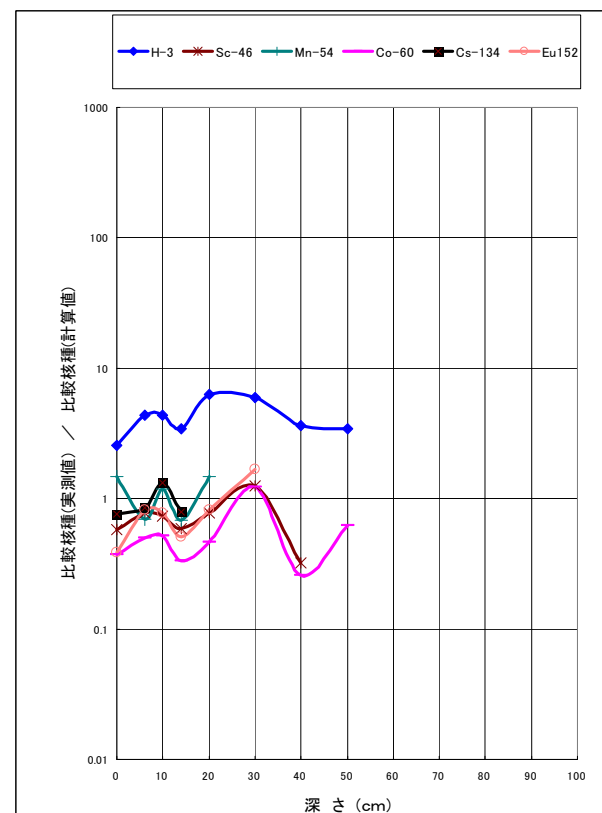
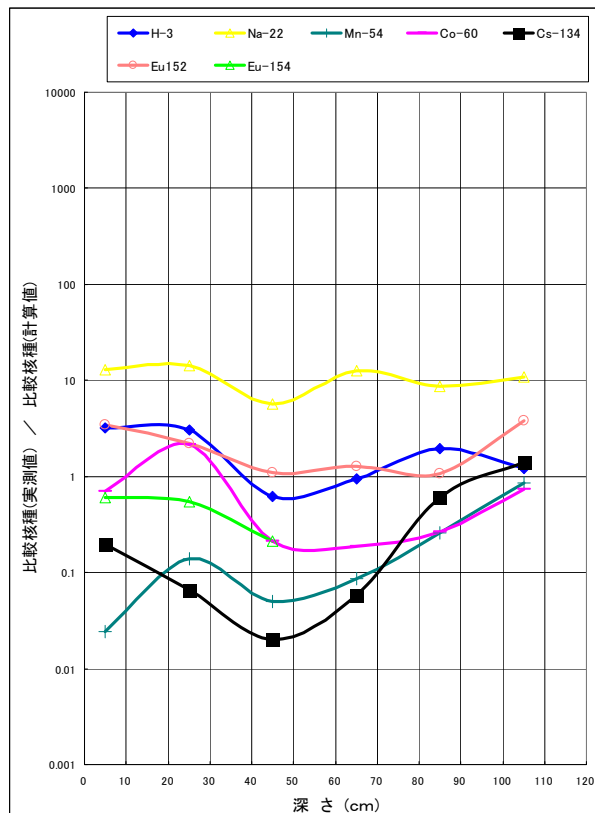
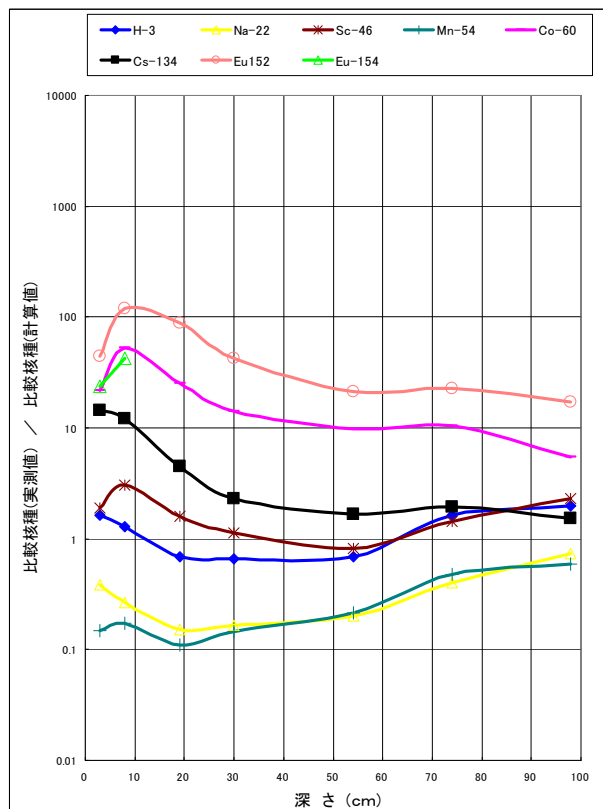
原子炉施設の放射化物に係る事前評価方法をそのまま適用することはできない

2-4 既存の放射能濃度の分析・測定結果と放射化計算結果との比較・検討

KEK 陽子加速器施設

JAEA LINAC

RI協会 仁科記念サイクロトロンセンター



2-4 放射線発生装置使用施設のクリアランスに係る事前評価方法の考え方

放射線発生装置使用施設のクリアランスに係る事前評価方法は、採取試料の放射能濃度の分析・測定を主とし、放射化計算を従とした方法とする必要がある

ポイント

・評価対象核種の選定

放射化計算結果から相対重要度評価に基づき評価対象核種を選定する場合、放射化計算結果と当該部位における採取試料の放射能濃度の分析・測定結果を比較し、本来評価対象とすべき核種が漏れないように、原子炉施設における選定の考え方※に対して裕度をもつことが必要

(例) 今回のケーススタディにおける高エネルギー加速器研究機構の場合

原子炉施設での選定の考え方を適用すると、最重要核種との比が2桁目までとなるが、放射能濃度の測定値と放射化計算値との比の最大が E_{u-152} で2桁であることから、本来評価対象とすべき核種が漏れないよう4桁目まで選定する。

※ 原子炉施設においては、重要核種を含むすべての評価対象核種の (D/C) の総和が、規則に制定された核種に係る (D/C) の総和の90%以上になるように評価対象核種を選定することとしている。今回の放射化計算に基づく選定においても、同様に90%以上になるよう選定することとし、余裕を見て2桁目までの核種とした。

・評価対象核種の核種組成比の設定

採取試料の放射能濃度の分析・測定結果に基づき、選定した評価対象核種の組成比を設定

 : 評価対象核種

(D/C)/(D/C) _{max} *1	KEK 陽子加速器施設	JAEA LINAC	RI協会 仁科記念サイクロトロンセンター
	装置停止1年後 (コンクリート表面から100cm深さ*2)	装置停止1年後 (コンクリート表面から80cm深さ*2)	装置停止1年後 (コンクリート表面*2)
最重要核種	Na-22	Co-60	Co-60
1析目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が 1.0~1.0E-1)	Mn-54	Mn-54 Sb-125 Cs-134 Eu-152 Eu-154	Mn-54 Eu-152
2析目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が 1.0E-1~1.0E-2)	Co-60	Na-22 Sc-46 Zn-65 Ba-133 Ta-182	H-3 Sc-46 Zn-65 Sb-125 Ba-133 Cs-134 Eu-154
3析目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が 1.0E-2~1.0E-3)	H-3 Sc-46 Fe-55 Zn-65 Sb-125 Cs-134 Ba-133 Eu-152	H-3 Ag-110m Sn-113 Te-123m	Ca-45 Fe-55 Te-123m Ta-182
4析目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が 1.0E-3~1.0E-4)	C-14 Co-57 Te-123m Cs-137 Ce-139 Eu-154 Ta-182	C-14 Ca-45 Fe-55 Fe-59 Sb-124 Te-127m Eu-155 Tb-160 Tl-204 Pu-239	C-14 Fe-59 Ag-110m Sn-113 Eu-155 Tl-204
5析目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が 1.0E-4~1.0E-5)	Ca-45 Co-58 Sr-85 Ag-110m Sn-113 Te-127m Eu-150	Cl-36 Ca-41 Co-57 Co-58 Se-75 Sr-85 Nb-93m Nb-94 Zr-95 Ce-139 Gd-153	Pu-239

軽水炉型試験研究用原子炉
原子炉停止0.5年後 (コンクリート)
Eu-152
Sc-46 Co-60 Eu-154
H-3 Mn-54 Zn-65 Cs-134 Ta-182
Fe-59 Ag-110m

研究炉等安全規制検討会技術ワーキンググループ資料4-3の参考資料-3による

*1: D:放射能濃度の計算値(Bq/g) C:RS-G-1.7の放射能濃度(Bq/g) 各放射性核種のD/Cの値を最重要核種(D/Cの値が最大となる核種)のD/Cの値で除して、その値の桁で分類した。

また、半減期が1ヶ月未満、放射性希ガス及び天然起源の放射性核種を除外した。

*2: 放射能濃度の測定部位の位置(深さ)を考慮し、放射化計算結果に基づいたクリアランス対象部位の近傍位置(深さ)

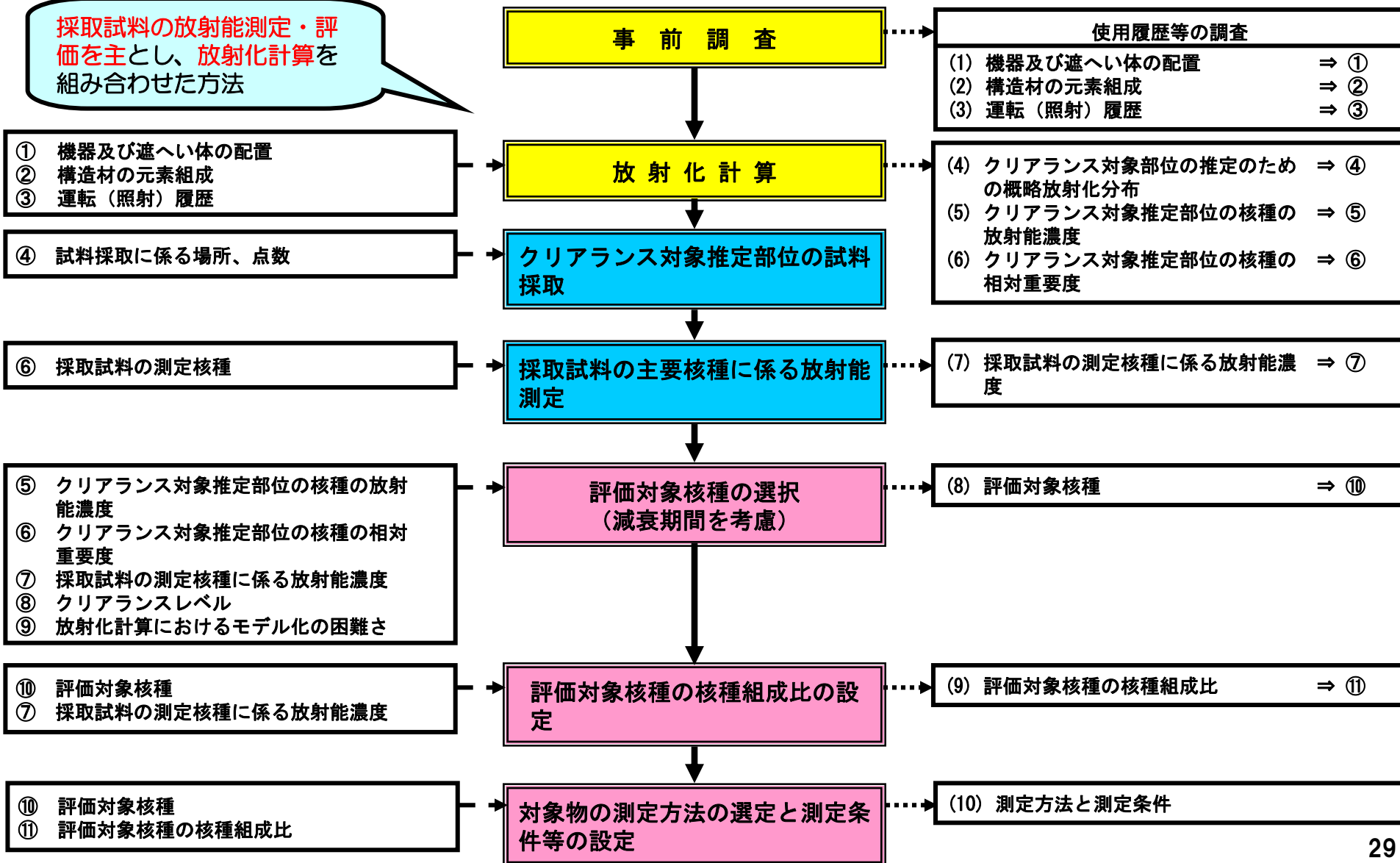
2-4

放射線発生装置使用施設のクリアランスに係る事前評価フロー

主要なデータ

目的・結果(反映先を含む)

採取試料の放射能測定・評価を主とし、放射化計算を組み合わせた方法



小規模の放射線発生装置使用施設については、一般的に以下の特徴を有することから、放射化の状況がほぼ一定であると推定

- ① 放射線発生装置の構造が比較的単純
- ② 加速エネルギー等が小さく、かつほぼ一定
- ③ 運転様式がほぼ一定
- ④ 放射化範囲がほぼ放射線発生装置に限定
- ⑤ 放射線発生装置の構成材料がほぼ一定



評価対象核種及びその核種組成比を**共通化**できる可能性あり

原子炉施設の放射化物に係る事前評価方法について、大・中規模の放射線発生装置への適用性についてケーススタディを実施した。その結果、

- 放射線発生装置は、複雑な装置構造、ビーム損失等により、装置の計算用のモデル化、照射履歴の設定等を正確に行うことが困難であることから、現時点では、**原子炉施設の事前評価方法をそのまま放射線発生装置に適用することはできないことが確認**された。
- しかし、これを踏まえ、**採取試料の放射能濃度の分析・測定と放射化計算とを組み合わせ**、適切に評価対象核種の選定及び核種組成比の設定等を行う放射線発生装置に係る事前評価の考え方を示すことができた。
- 今後、クリアランスに係る放射線発生装置の分類や事前評価方法が確立できれば、出力規模（低出力及び中・高出力）に応じ、評価対象核種及びその核種組成に基づいたクリアランス対象物に係る合理的な測定・判断が行えと考えられる。

(1) クリアランスに係る放射線発生装置の分類

合理的なクリアランスの判断を行うため、放射化物の生成に係るしきい値（加速エネルギー、出力等）を含め、放射化物の生成範囲に着目した放射線発生装置の分類を行うことが必要。

(2) 汎用性のある事前評価方法の考え方

クリアランスの判断を行うためには、汎用性のある事前評価方法の考え方を確立する必要。このため、今回のケーススタディで検討した考え方を元に、試料の採取方法、今回の事前評価方法のコンクリート以外のクリアランス対象材料（金属）への適用性、放射化計算における計算モデルの標準化の考え方等について、（１）の分類を踏まえて更に検討することが必要。

(3) 具体的なクリアランスの判断方法に係る標準化等の検討

放射線発生装置の使用者がクリアランスの判断を合理的かつ迅速に行えるよう、（２）の事前評価方法の考え方を踏まえ、事前評価方法から測定・判断に至るまでの具体的な判断方法等を標準化することが望ましい。そのために、（１）の分類に応じた具体的なクリアランスの判断方法に係る標準化等の検討が必要。

主要な標準化の項目を下記に示す。

- ① 精度の高い放射化計算データの収集方法
- ② 放射化計算における計算モデルの標準化方法
- ③ 放射能の分析・測定用試料の採取方法
- ④ ③の採取試料の分析・測定方法
- ⑤ クリアランス対象物の測定方法



3. 短半減期核種のみによって汚染された 廃棄物の減衰保管廃棄について

3-1

主な非密封放射性同位元素の供給量

〔MBq〕

核種	半減期	2000	2001	2002	2003	2004
H-3	12.33年	790,134	788,760	736,208	471,123	4,208,400
C-14	5.730×10 ³ 年	338,516	388,553	299,729	298,153	371,932
P-32	14.26日	785,499	689,457	654,959	505,918	433,445
P-33	25.34日	41,214	43,005	41,946	39,063	51,814
S-35	87.51日	309,022	302,653	284,505	259,805	225,080
Ca-45	162.6日	5,291	6,858	6,327	3,737	4,524
Cr-51	27.70日	125,774	112,596	113,658	100,724	93,875
Fe-55	2.73年	222	1,077	814	703	407
Co-57	271.7日	1,018	430	339	296	604
Fe-59	44.50日	12,964	12,455	10,166	13,376	12,573
Ni-63	100.1年	185,563	725,776	259,872	482,057	518,539
Ge-68	270.8日	1,591	1,850	1,887	1,295	2,335
Kr-85	10.76年	152,831	190,919	201,658	333,740	424,391
Rb-86	18.63日	2,812	5,032	8,732	5,550	2,812
Mo-99	65.94時間	120,363	216,820	101,972	142,450	114,700
Tc-99m	6.01時間	24,901	27,779	49,287	28,083	77,589
In-111	2.805日	2,335	3,700	2,664	2,257	1,998
I-123	13.27時間	444	5,772	5,852	7,670	5,772
I-125	59.40日	577,111	314,476	324,763	271,854	268,321
I-131	8.021日	60,395	71,893	120,012	133,036	224,864
Xe-133	5.243日	2,800	4,050	3,600	2,000	1,110
Cs-137	30.04年	1,693	915	21	600	858
Pm-147	2.623年	2,220	2,960	6,660	-	3
Tl-201	72.91時間	1,221	999	4,625	2,368	2,519

 半減期が90日未満の核種

注1 (社)日本アイソトープ協会が供給した数量

注2 平成12年度から平成16年度に1000MBq以上の供給量の無い核種は省略した。

注3 平成16年度のH-3の供給量は、特定の事業所が特別合成のために大量購入したため、著しく供給量が多くなっている。

半減期が90日未満である短半減期核種の供給量が多い

● 短半減期核種の使用許可事業所数の実態

非密封放射性同位元素の許可使用者数：約900事業所

主な短半減期核種の許可使用者数

P-32 : 約750事業所

S-35 : 約700事業所

Cr-51 : 約550事業所

I-125 : 約670事業所

- 非密封放射性同位元素の使用許可を受けているほとんどの事業所が、短半減期核種の使用許可も受けている。
- 逆に、短半減期核種の使用しか許可を受けていない事業所は少ない。

● 短半減期核種の使用及び廃棄における分別管理の実態

〔使用〕

- 短半減期核種を用いたトレーサ実験等を行っている事業所では、 ^3H や ^{14}C のような短半減期核種以外の核種も多く使用。
- 短半減期核種と短半減期核種以外の核種との同じ実験系での同時使用はあまりなく、単一核種の実験がほとんど。
- 現状、短半減期核種専用の施設や実験室を設けている事業所はほとんどない。

〔廃棄〕

（廃棄業者（RI協会））

短半減期核種によって汚染された廃棄物を特定しての分別集荷は行っていない。

（使用者側）

短半減期核種によって汚染された廃棄物の容器への分別収納を行っていない。

現状、短半減期核種の使用・廃棄において、分別管理はされていない。

3-1

RI協会が集荷した廃棄物に含まれている放射性同位元素

90日以上β線のみ放出核種 2.4 %

核種	個数	%
Ca- 45	5,398	57.1%
Pm-147	2,081	22.0%
Sr- 90	790	8.4%
Cl- 36	476	5.0%
Ni- 63	455	4.8%
その他	260	2.7%
合計	9,460	100.0%

90日以上γ線放出核種 6.0 %

核種	個数	%
Co- 60	7,384	30.6%
Cs-137	4,626	19.2%
Zn- 65	3,081	12.8%
Na- 22	2,817	11.7%
Mn- 54	1,910	7.9%
その他	4,336	18.0%
合計	24,154	100.0%

注1：平成11～15年度の集荷実績を集計した。
ただし、大規模事業所の廃止に伴う廃棄物及び液体廃棄物を除いた。

注2：集計には、R I 廃棄物の発生パッケージ数を使用した。
容量換算は行っていない。パッケージ数は約14万、核種個数は約40万であった。

注3：R I 廃棄物に含まれる核種個数は、R I 使用事業所が作成したパッケージ毎の廃棄物の内容を示す「アイソトープ廃棄物記録票」から求めた。

60日以上～90日未満の核種 10.5 %

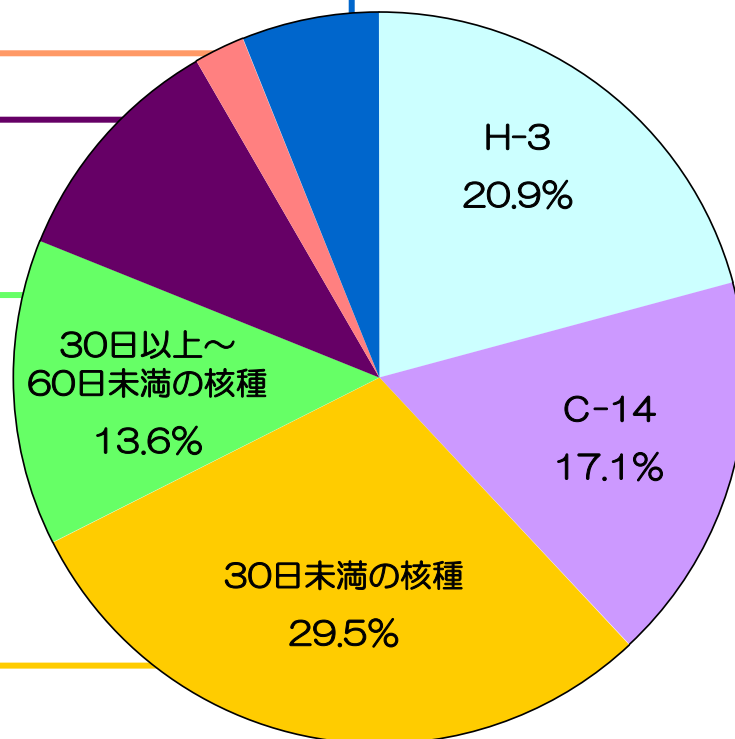
核種	個数	%
S - 35	39,382	93.7%
Co- 56	937	2.2%
Sc- 46	351	0.8%
その他	1,344	3.2%
合計	42,014	100.0%

30日以上～60日未満の核種 13.6 %

核種	個数	%
I -125	50,676	93.4%
Fe- 59	2,183	4.0%
その他	1,411	2.6%
合計	54,270	100.0%

30日未満の核種 29.5 %

核種	個数	%
P - 32	62,539	53.0%
Cr- 51	19,424	16.5%
P - 33	15,111	12.8%
Tc- 99m	2,766	2.3%
Tl-201	2,296	1.9%
I -131	2,090	1.8%
I -123	1,999	1.7%
F - 18	1,711	1.4%
その他	10,128	8.6%
合計	118,064	100.0%

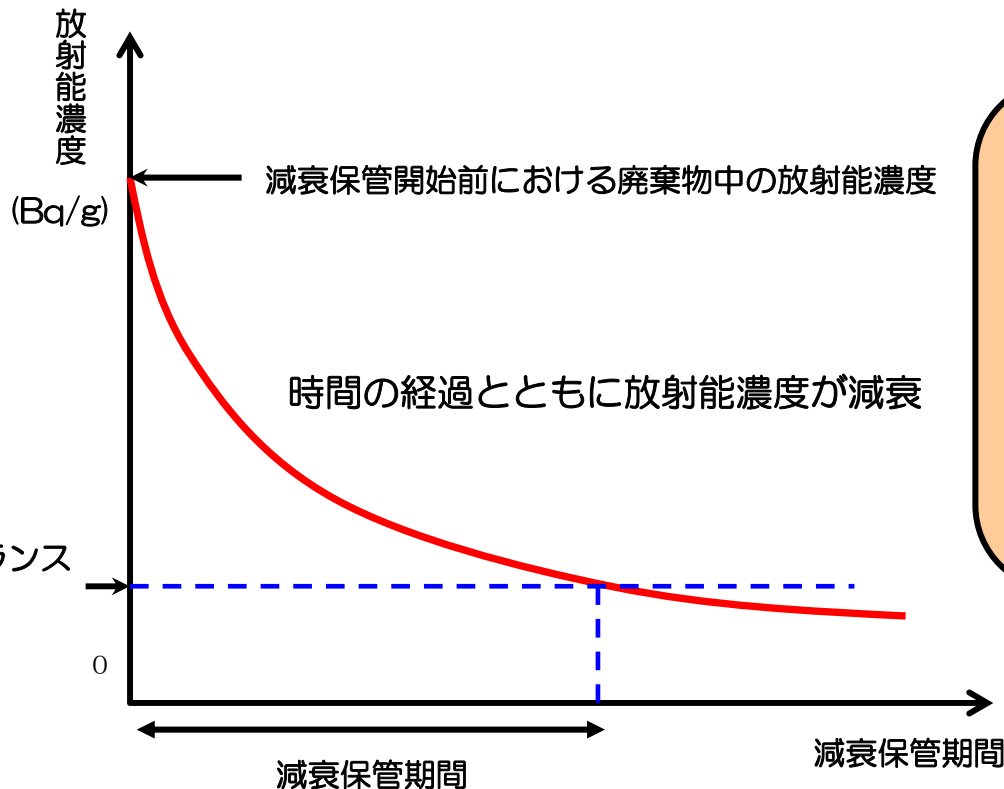


3-2 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄の可能性

— 減衰保管廃棄のケーススタディ —

非密封放射性同位元素の供給量及び廃棄物に含まれる核種割合から、半減期が90日未満である以下の5核種を選定し、RI協会におけるこれらの核種の供給量及び廃棄物重量等のデータを基に、減衰保管廃棄の可能性についてケーススタディを実施

^{32}P (14.26日) ^{33}P (25.34日) ^{35}S (87.51日) ^{51}Cr (27.70日) ^{125}I (59.40日)



短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄の基本的な考え方

⇒ 廃棄物に含まれている短半減期核種の放射能濃度が、ある期間保管することにより減衰し、クリアランスレベル以下になること

① 廃棄物中放射能濃度とクリアランスレベルの逆減衰補正值との比較

選定した5核種の購入実績が平成16年度にある事業所について、当該事業所において発生した廃棄物に含まれている短半減期核種の年間平均放射能濃度（「廃棄物中放射能濃度」と、クリアランスレベル（RS-G-1.7の値）を減衰保管期間（1年，2年，3年）に対して逆減衰補正した値と比較・検討

廃棄物中放射能濃度 = 短半減期核種の年間購入量／年間廃棄物重量※

※廃棄物重量は、当該核種が含まれている50ℓドラム缶内の廃棄物重量を、当該容器に含まれている核種の数で割った値

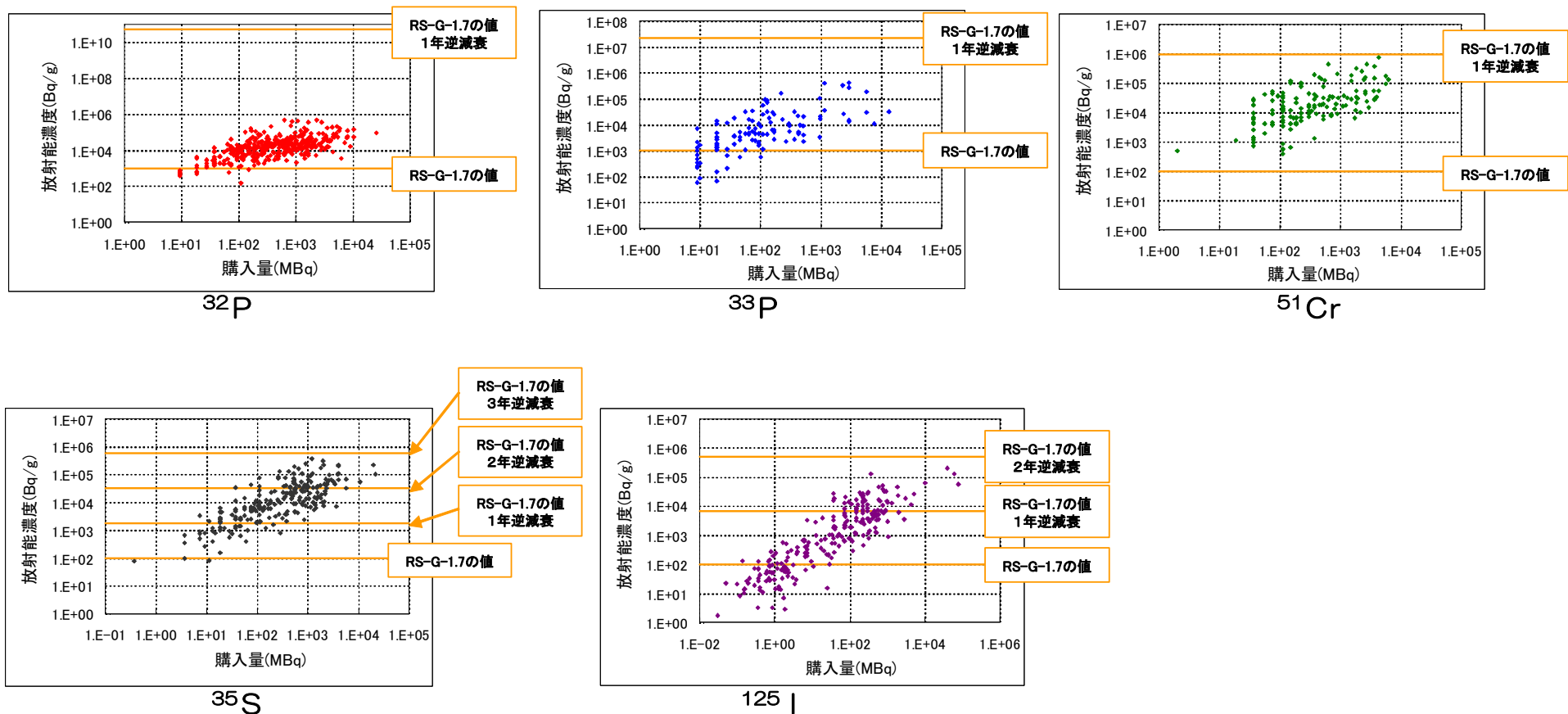
（廃棄物重量 可燃物:5.3kg 難燃物:8.7kg 不燃物:12.0kg 非圧縮性不燃物:40.0kg 動物:5.4kg）



- 短半減期核種の購入量の増加に伴い、廃棄物重量は増加傾向にある。
- 1年の減衰保管期間で半減期が30日未満の ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{51}Cr が、2年の減衰保管期間で半減期が60日未満の ^{125}I が、3年の減衰保管期間で半減期が90日未満の ^{35}S が全ての事業所においてRS-G-1.7の値を下回ると考えられる。

3-2

減衰保管廃棄のケーススタディ・その1



短半減期核種の廃棄物中放射能濃度分布とクリアランスレベル（RS-G-1.7）の逆減衰補正值との比較

② 基準初期放射能レベルと購入量との比較

ある期間減衰保管（1年，2年，3年）した後にクリアランスレベル以下となるような初期放射能レベル（「基準初期放射能レベル」）を算定し、その値と当該事業所における短半減期核種の年間購入量とを比較し、減衰保管廃棄が適用可能な事業所の割合を求めることにより、実行性を検討

（ケース1）RS-G-1.7の逆減衰補正值と廃棄物重量の積から求めるケース

基準初期放射能レベル（Bq）＝ RS-G-1.7の値の逆減衰補正值（Bq/g）× 廃棄物重量（g）

＊廃棄物重量は約2桁異なる2ケース

（ケース2）購入量と廃棄物中放射能濃度の相関関係から導出するケース

短半減期核種の購入量の増加に伴い、廃棄物中放射能濃度も増加するという相関関係から、各核種の相関近似曲線とRS-G-1.7の逆減衰補正值との交点となる購入量、及びその購入量を安全率を考慮して1/10にした値

（ケース3）BSS免除レベルを逆減衰補正して求めるケース

基準初期放射能レベル（Bq）＝ BSS免除レベルの値の逆減衰補正值（Bq）× 安全率

＊安全率 1 及び1/10



- 減衰保管廃棄が適用可能な事業所割合

半減期が30日未満の ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{51}Cr → 減衰保管期間1年で100%

半減期が60日未満の ^{125}I → 減衰保管期間2年で85%、3年で99%

半減期が90日未満の ^{35}S → 減衰保管期間3年で99%

- 減衰保管廃棄が適用可能な事業所の割合は、採用するクリアランスレベル、基準初期放射能レベルの算定に用いる廃棄物重量等の算定条件、減衰保管期間に大きく依存

^{99}Mo (65.94時間) $\rightarrow$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (6.01時間) $\rightarrow$ ^{99}Tc (2.111×10^5 年)

① 親核種から生成する子孫核種の放射能

・ $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$ の場合

^{99}Mo から生成される ^{99}Tc の放射能は、約1640時間(68日)後に最大となり、その量は ^{99}Mo の初期放射能の約 $3.56 \times 10^{-6}\%$

・ $^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$ の場合

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ から生成される ^{99}Tc の放射能は、約170時間(7日)後に最大となり、その量は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の初期放射能の約 $3.24 \times 10^{-7}\%$

$\Rightarrow$ 生成する ^{99}Tc の放射能は、親核種である短半減期核種の ^{99}Mo や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に比べて非常に小さい

② クリアランスレベル以下となることを担保するための放射能濃度の考え方

^{99}Mo や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の半減期は非常に短く、廃棄物中におけるこれらの核種の放射能濃度は時間の経過とともに急速に減衰し、容易にクリアランスレベル以下となる。

しかし、生成する ^{99}Tc の半減期は非常に長いため、これらの3核種の放射能濃度(D)と当該核種のクリアランスレベル(C)との比の総和($\Sigma(D/C)$)が1以下になることを考慮する必要あり

$\Rightarrow$ 短半減期核種である ^{99}Mo や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能濃度だけでなく、生成する ^{99}Tc の放射能濃度にも考慮

③ ^{99}Mo と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の使用実態におけるケーススタディ

RI協会が平成12年度から平成16年度の5年間に販売した ^{99}Mo 及び $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能量と廃棄物重量の実績から、廃棄物中の ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及び生成する ^{99}Tc 放射能濃度を算定し、クリアランスレベル(RS-G-1.7)の値と比較・検討

$\Rightarrow$ 現状の ^{99}Mo 及び $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の使用実態を踏まえて評価した場合でも、これらの短半減期核種から生成する ^{99}Tc の廃棄物中の放射能濃度は、クリアランスレベルを下回る

今回のケーススタディから、半減期が90日未満の核種については、減衰保管期間を3年とすることで、減衰保管廃棄が適用できる事業所の割合はかなり高くなり、十分に実行性があるといえる。

ただし、これは事業者において、短半減期核種以外の核種の混入がないように分別管理が徹底されることや減衰保管を行うための保管廃棄設備の保管能力が十分であることが前提条件である。

また、子孫核種の半減期が長い場合には、子孫核種の放射能についても留意する必要がある。

基本的な考え方

- ◆ 廃棄物に含まれる短半減期核種の放射能が、適切な減衰保管期間を経ることにより十分に減衰し、放射能に起因する線量が自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、また、人の健康に対する影響が無視できるほど小さいレベルになること、すなわちクリアランスレベルを下回ること
- ◆ 短半減期核種以外の核種の混入がないことが、施設で担保されていること
- ◆ 事業者においては、これらが高い信頼性をもって機能するための品質保証活動を確実にするとともに、国が適切に関与する制度とすること

① クリアランスレベル以下であることの評価

測定により判断 → 汚染が不均一、 γ 線放出核種以外の核種あり ⇒ × } クリアランスレベルと比較することは困難
 記録により判断 → 記録の信頼性、意図的な希釈の可能性あり ⇒ × }

ある期間減衰保管することによってクリアランスレベルを下回るような初期の放射能を逆算して求め、国がこの制度を適用する事業者における**年間の最大使用数量として規定**することによって制限
 減衰保管廃棄を行う事業者は、**国が定めた年間最大使用数量を超えない範囲内でのみ使用可能**とする

② 短半減期核種の半減期の範囲

90日未満が適当。子孫核種の半減期が長い場合には、子孫核種の放射能についても十分に留意

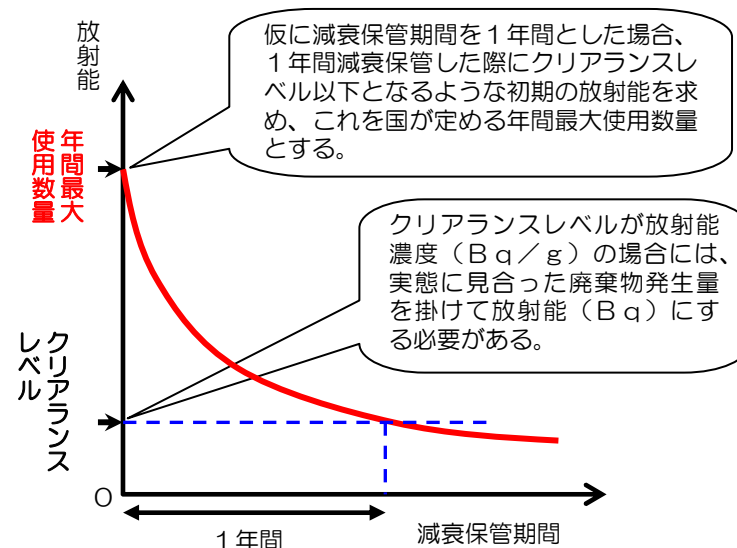
③ 減衰保管期間

長くても**3年間**で十分に実行性あり

④ 短半減期核種以外の核種の混入防止措置（分別管理の方法）

ハード面、ソフト面で分別管理を徹底

	考え方	措置の内容
ハード面	・ 物理的に短半減期核種以外の核種の混入を防止する。	・ 短半減期核種のみを使用する事業所であること。 ・ 短半減期核種専用の「使用施設」、「廃棄施設」、又は専用の「作業室」、「保管廃棄設備」等を設けること。
ソフト面	・ 事業者自らの責任において、短半減期核種以外の核種の混入を防止すること。	・ 短半減期核種の使用、貯蔵、運搬、廃棄にあたっては、短半減期核種以外の核種が混入しないようにすること。 ・ 具体的な方法は、放射線障害予防規程に規定すること。



○ 国

減衰保管廃棄に係る判断基準を定めるとともに、事業者が行う減衰保管廃棄の判断基準への適合性について確認

国の確認 第1段階：短半減期核種の年間最大使用数量や短半減期核種専用の施設・設備の設置等が判断基準に適合していることの確認

第2段階：判断基準に従って適切に減衰保管廃棄を実施していることの確認

○ 事業者

- 短半減期核種の使用、貯蔵、運搬から廃棄までを短半減期核種以外の核種の混入を防止するために厳格に管理
- 保管廃棄設備における減衰保管廃棄を厳格に管理
- これらが適切に実施されるよう品質保証体制を確立

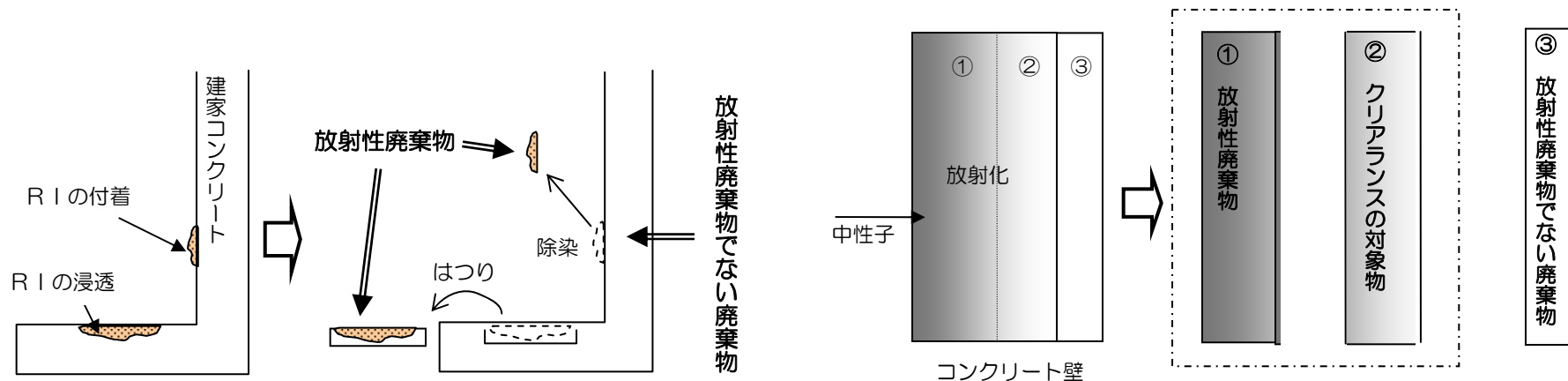
短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄については、**技術的な成立性はある**ものの、これを実施していくにあたっては下記のような課題があり、**今後、制度としての成立性を含めた検討が必要**

- 事業者のニーズ
- 経済的なメリット
- 国民の理解醸成
- 放射線障害防止法と原子炉等規制法の法体系の違いや事業規模の違い
- これまでの活動との整合性への配慮



4. その他の留意点

	区 分	概 念
放射 性 廃 棄 物	放射性廃棄物	放射性同位元素によって汚染された物（放射化物を含む）。
	放射性物質として扱う 必要のないもの （クリアランス対象）	微量の放射性同位元素を含む固体状物質を、含まれる放射性同位元素からの線量が自然界の放射線レベルに比較して十分小さく、また、人の健康に対するリスクが無視できるため、放射線防護に係る規制体系から外して、放射性物質として扱う必要のない物。
	放射性廃棄物でない廃棄物	使用履歴、設置状況等から、放射性物質の付着、浸透等による二次的な汚染がないことが明らかであること、又は、十分な遮へい体により遮へいされていた等、施設の構造上中性子等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であること等から、放射性廃棄物でない廃棄物として区分される物。



〔RIによる二次汚染の場合（非密封RI使用施設の建家コンクリート）〕

〔放射化の場合（放射線発生施設の設置建屋）〕

● 除外、免除及びクリアランスの概念の整理（IAEA RS-G-1.7から引用）

- ・ 除外（exclusion）

ある特定の種類の被ばくを、規制機関による管理の仕組みを使った管理によっては律することができないと考えられるという理由で、その管理の仕組みの適用範囲から意図的に除外すること。

- ・ 免除（exemption）

線源又は行為に起因する被ばく（潜在被ばくを含む）が非常に小さく、規制機関による管理事項の一部又は全部を適用することが正当とは見なされないということを根拠に、その線源又は行為は、そのような管理事項に従う必要がないと規制機関が決定すること。

- ・ クリアランス（clearance）

法的に許されている行為の中で扱われている放射性物質又は放射性の物体を、その時点以降、規制機関による一切の管理から外すこと。

● 免除レベルとクリアランスレベル

免除レベル：法的な規制を適用しない範囲をあらかじめ設定するための数値規準

クリアランスレベル：法的な規制の適用を既に受けているものを、その適用から外すための数値規準

	BSS免除レベル	RS-G-1.7クリアランスレベル
示された値	放射能 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g)	放射能濃度 (Bq/g)
適用範囲	中位（多くても1トン）の量の線源への適用に限定	大量のもの
評価シナリオの前提条件	少量の放射性物質の産業利用及び教育、研究並びに病院などの施設での小規模使用	放射性物質を含む大量の物品の使用、処分等
評価シナリオ	通常使用及び事故時の作業員被ばく 処分場での公衆被ばく	処分場、鋳物工場などの施設における作業員被ばく、並びにこれらの施設周辺の居住者被ばく 汚染材料で建設した家の居住者被ばく及び建設した施設周辺の居住者被ばく
計算モデル及び評価パラメータ	通常時：10 μ Sv/年 事故時：1 mSv/年 (事故発生確率：0.01)	現実的なパラメータ値の場合 ：10 μ Sv/年 保守的なパラメータ値の場合 ：1 mSv/年

規制への適用にあたっての基本原則（BSS 2.19節より）

クリアランスレベルは、（BSSの）付則 I に示されている免除規準（線量規準）を斟酌したものでなければならず、また、規制当局により別途承認されない限り、付則 I に示された免除レベル又は付則 I に示されている（線量）規準に基づいて規制当局が定める免除レベルよりも高いものであってはならない。

5. お わ り に

おわりに

- クリアランス技術検討ワーキンググループにおいては、放射線発生装置の解体等に伴って発生する廃棄物及び短半減期核種のみによって汚染された廃棄物を対象に、放射線障害防止法におけるクリアランス制度の導入にあたって解決すべき技術的課題や技術的な成立性について検討。
- 検討の過程において、
 - 放射線発生装置については、**放射化物の取扱い**や**廃止措置の考え方**等についても整理したうえで、クリアランス制度についての検討を行う必要があること
 - 短半減期核種の減衰保管廃棄については、**ニーズ**や**制度の成立性**についての検討を行う必要があることから、本ワーキンググループとしての技術的な検討内容を現時点で中間報告としてとりまとめ、関係機関における動向を踏まえつつ引き続き検討。
- 今後の検討にあたっては、
 - 関係する事業者は、**廃棄物を排出する者として必要なデータ等**を示していくとともに、**技術的に解決すべき課題について自らが検討を行っていくことが必要**。さらに、循環型社会に貢献するといったクリアランス制度の意義を認識し安全確保に係る自らの責務を果たすことはもちろんのこと、一般社会に受け入れられるように努力をすべき。
 - 国もこれらの情報を適時提供するなど理解の促進に努めていく必要がある。
- また、クリアランス制度の導入にあたっては、経済効果に対する評価も必要であり、制度化にあたっては留意されるべき。