

放射線発生装置使用施設の放射化物に係る
クリアランス判断の事前評価について
(実施設を用いたケーススタディ)

CL

KEK JAEA

2006年 3月 3日



目 次

- 1. これまでにわかった事項・・・・・・・・・・・・・・・・ P 2
- 2. 原子炉施設でのクリアランス判断方法・・・・・・・・ P 3～P 5
- 3. ケーススタディ
 - 3.1 ケーススタディでの条件・・・・・・・・ P 6～P 8
 - 3.2 ケーススタディでの計算・・・・・・・・ P 9～P14
 - 3.3 ケーススタディでの評価結果・・・・・・・・ P15～P19
 - 3.4 ケーススタディでの考察・・・・・・・・ P20～P25
- 4. 低出力の放射線発生装置の検討・・・・・・・・ P26～P27
- 5. 今後の検討課題・・・・・・・・ P28



これまでに
分った事項

1 放射線発生装置のクリアランス対象物の特徴 (第3回クリアランス技術検討WG資料3 - 2に基づく)

2

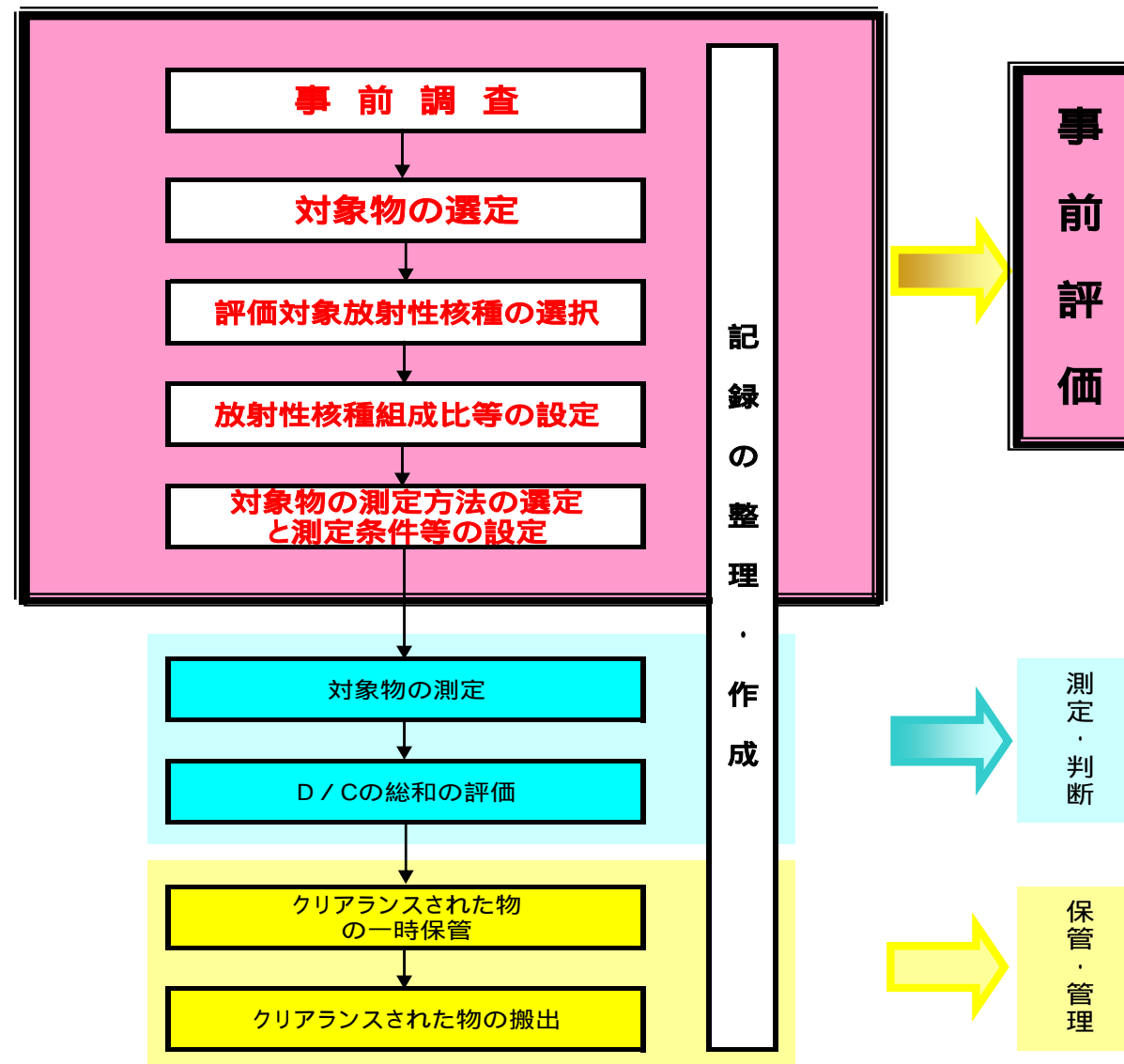
- 放射線発生装置の種類や加速粒子によらず、クリアランス対象物のほとんどは二次粒子である中性子による放射化物である
- 放射化物中の放射エネルギーは、運転条件*に依存する
- 生成する核種の種類及び組成比は、ほぼ構成材料の組成に依存する

*: 加速エネルギー、電流値及び運転時間

**原子炉施設の放射化物に係るクリアランスの事前
評価が適用できる可能性がある**



2.1 原子炉施設のクリアランス判断の基本手順



2.2 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：

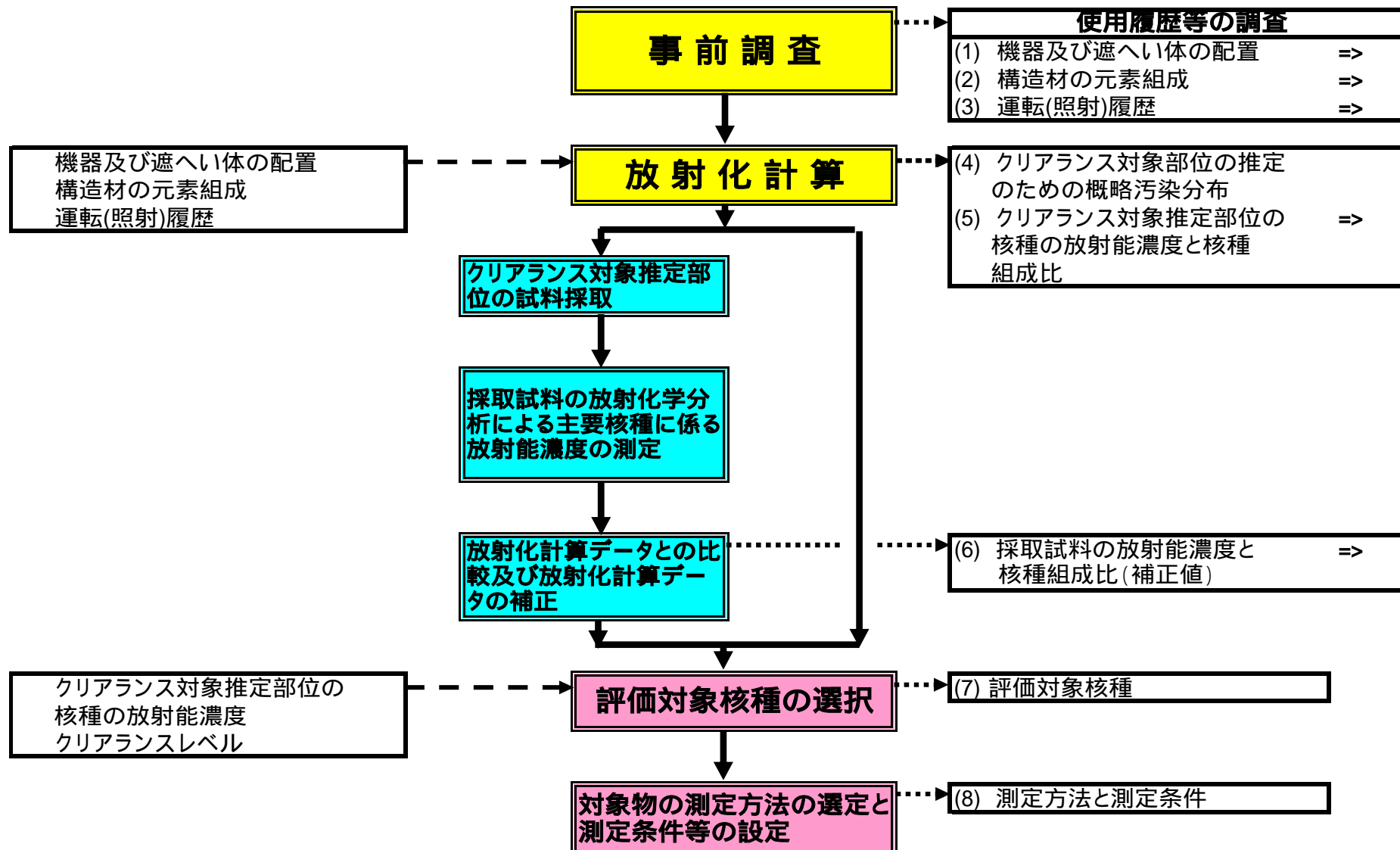
- 核種間に組成比が存在することから、線量評価上影響の大きい核種を制限すれば、他の影響の小さい核種は自ずと制限される。
- 同様の理由により、放射能測定が容易な核種の測定結果から、測定が困難な核種の放射能評価が可能である。

- 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



主要なデータ

目的・結果(反映先を含む)



3.1.1 クリアランス判断に係る事前評価のケーススタディ

原子炉施設に係る事前評価方法の放射線発生装置使用施設への適用性についてケーススタディを実施する。

- 加速粒子の種類及び規模の異なる放射線発生装置使用施設を対象とする。
- 使用する計算コードシステムは、放射線発生装置使用施設に適したものを使用する。
- 評価対象範囲は、これまでに試料採取し、その放射能分析を行った部位を含む範囲とする。

3.1.2 放射線発生装置の使用の状況

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	
電子直線加速器及び マイクロトロン	医療、X線検査	2.5 ~ 25 MeV	×	×		830台
電子シンクロトロン (入射器を含む)	放射光	数十MeV ~ 8 GeV	×			20台
電子直線加速器	原子核実験	数十 ~ 100 MeV				10台
小型サイクロトロン	PET用	~ 20 MeV				100台
陽子加速器	医学治療	20 ~ 200 MeV				10台
サイクロトロン及びシンクロトロン (入射器を含む)	素粒子実験	数十MeV ~ 12 GeV				20台
コッククロフト・ワルトン型 ファン・デ・グラーフ型及び 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もの

: ケーススタディを行う放射線発生装置

3.1.3 事前評価のケーススタディ対象施設

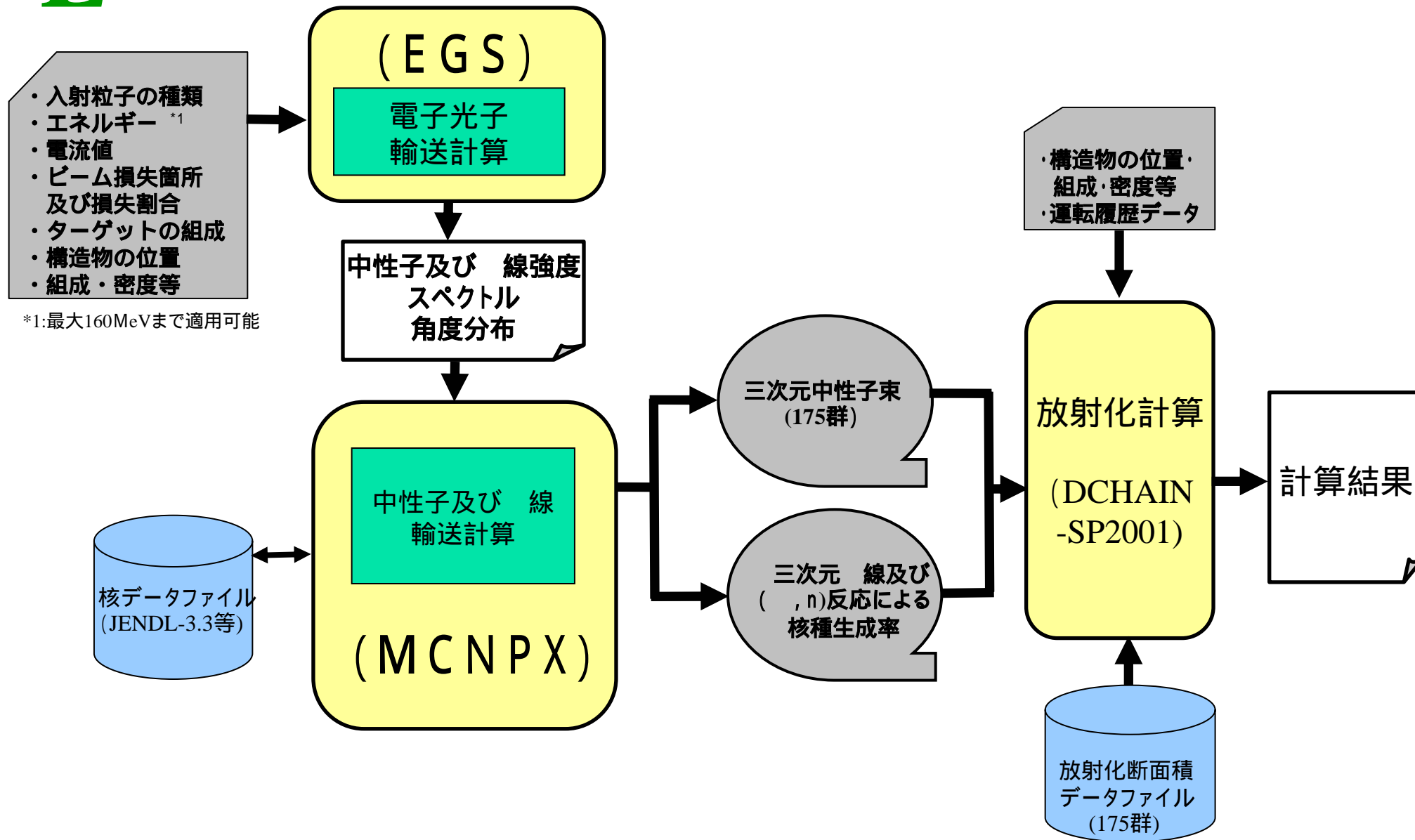
- **【電子直線加速器(電子加速器・大型)】**
 - ・ JAEA LINACターゲット室(Tc)

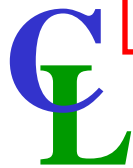
- **【サイクロトロン(粒子加速器・中型)】**
 - ・ 日本アイソトープ協会 仁科記念サイクロトロンセンター

- **【サイクロトロン及びシンクロトロン(粒子加速器・大型)】**
 - ・ KEK 陽子加速器施設 EP2ビームライン(東カウンターホール)

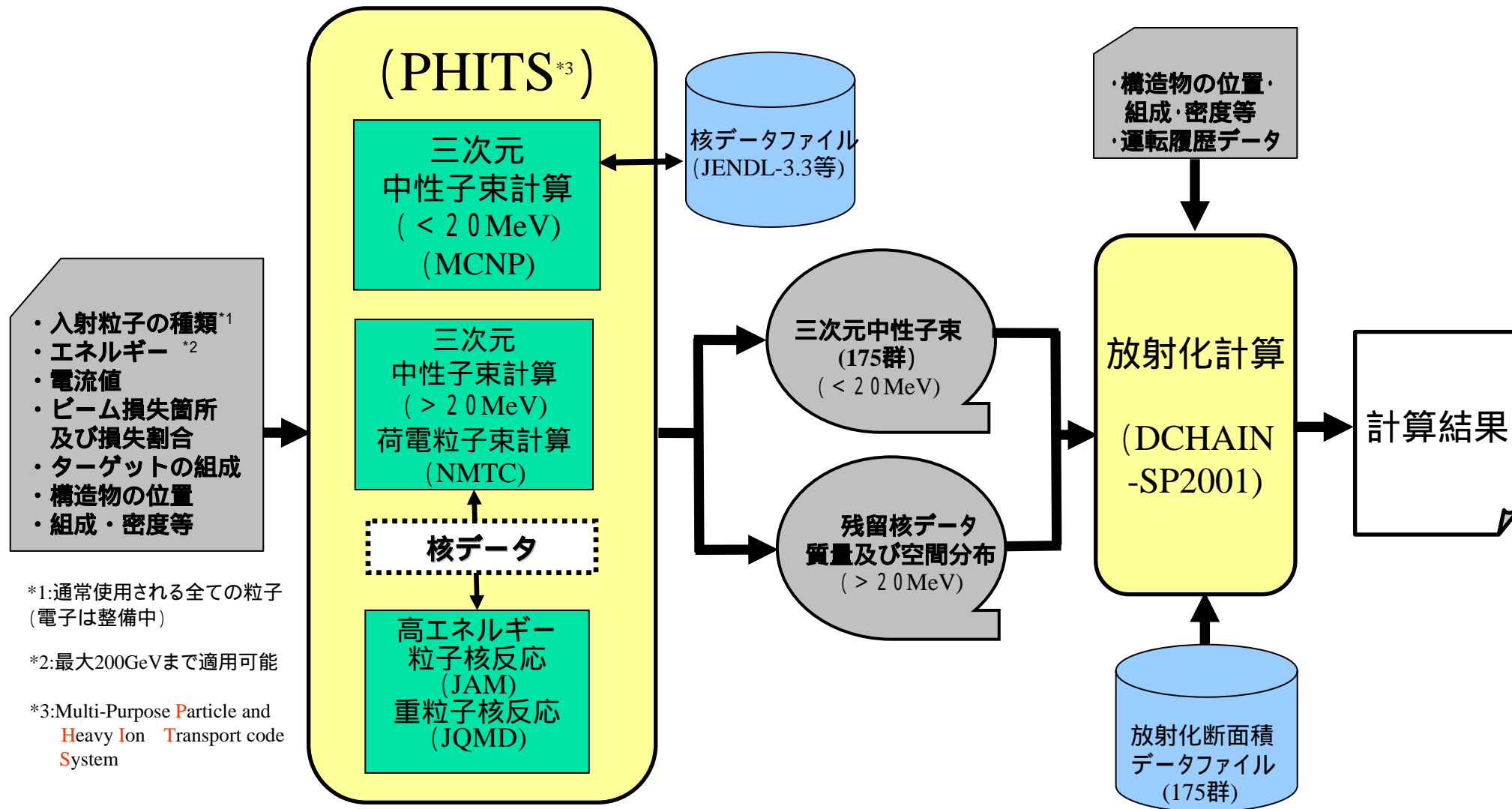


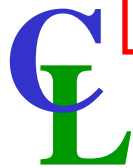
3.2.1 放射線発生装置使用施設の放射化計算システムの概要(電子加速器)





3.2.2 放射線発生装置使用施設の放射化計算システム の概要(粒子加速器)



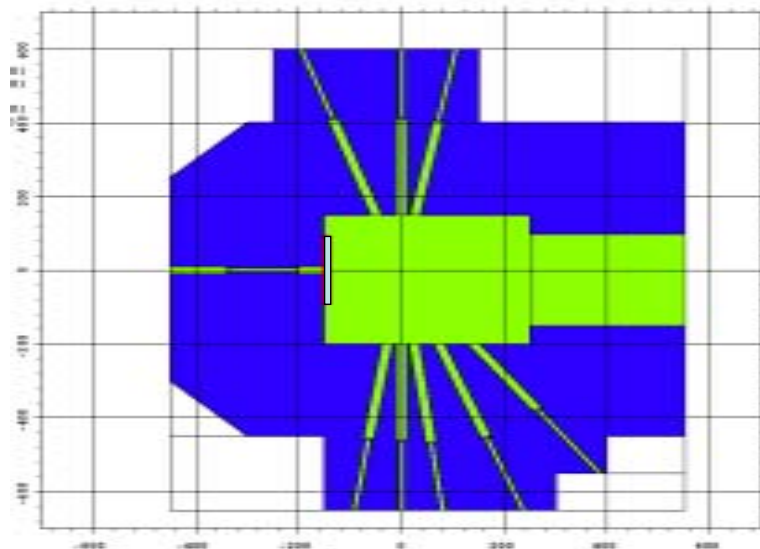
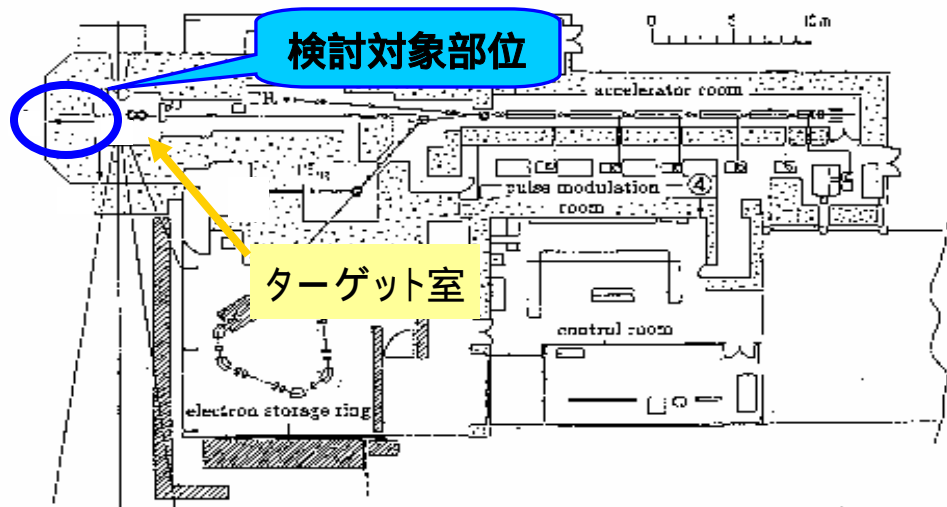


使用履歴等に係るデータの収集

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
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

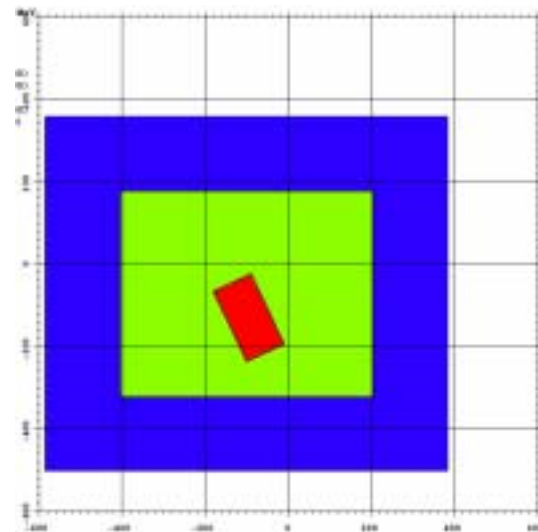
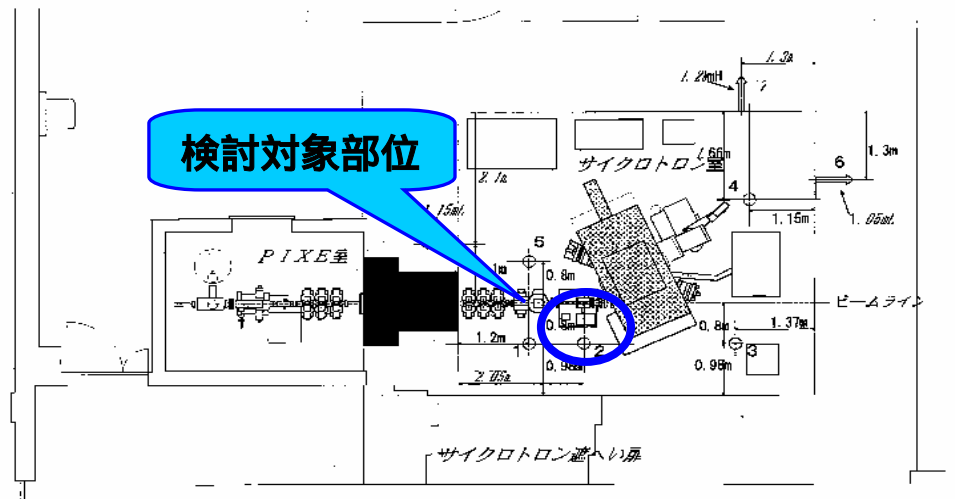


3.2.4 LINAC(JAEA)の使用履歴等に係るデータ

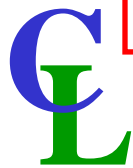


建 家	計算体系	ターゲット室を左下図のとおりモデル化
機器及び遮蔽体		
構 造 材	コンクリート	主な元素組成(放射化分析) L i 9.2 ppm N a 1.57 % M n 0.0463 % F e 2.96 % S c 11.56 ppm C s 2.01 ppm C o 8.86 ppm E u 0.74 ppm <small>他の元素は、(財)原子力環境整備センター「原子力発電所の運転及び解体に伴い発生する廃棄物の物量、性状等に関する資料集」のクリアランスレベル算出に用いた値を使用した</small>
運 転 (照 射) 履 歴	電子エネルギー	1 0 0 M e V (代 表 値)
	電子ビーム強度	$5 \times 10^{-5} \text{ A}$ (代 表 値)
	運転時間	3.2×10^4 時間
	ターゲット	T a

3.2.5 仁科記念サイクロترونセンター (日本アイソトープ協会)の使用履歴等に係るデータ

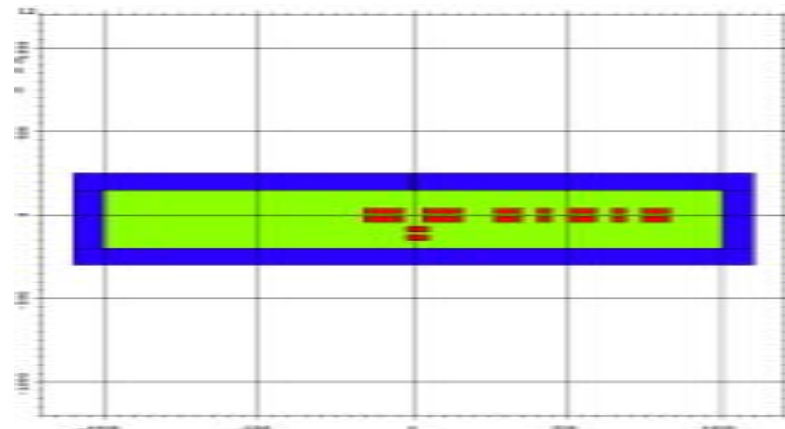
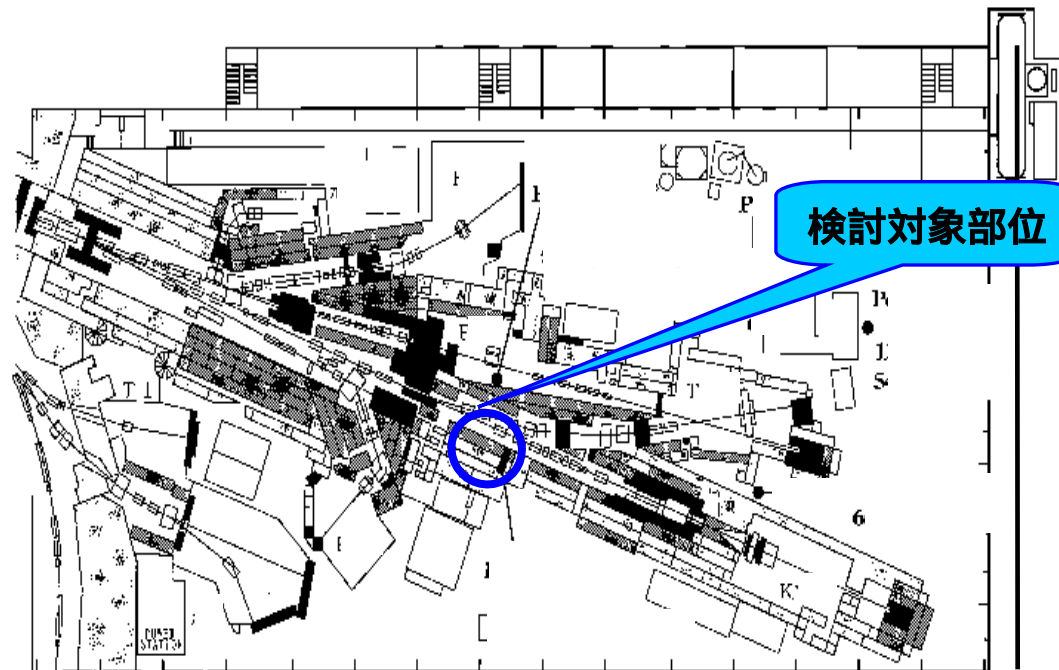


建 家	計算体系	サイクロترون室を左下図のとおりモデル化
機器及び遮蔽体		
構 造 材	コンクリート	<p>主な元素組成(放射化分析)</p> <p>Li 6.1 ppm Na 0.59 % Mn 0.017 % Fe 3.07 % Sc 11.1 ppm Cs 1.26 ppm Co 16.71 ppm Eu 0.47 ppm</p> <p>他の元素は、(財)原子力環境整備センター「原子力発電所の運転及び解体に伴い発生する廃棄物の物量、性状等に関する資料集」のクリアランスレベル算出に用いた値を使用した</p>
運転(照射)履歴	陽子エネルギー	17 MeV
	陽子ビーム強度	$1.25 \times 10^{-6} \text{ A}$ (代表値)
	運転時間	20年間、連続運転

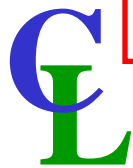


3.2.6 KEK陽子加速器施設の使用履歴等に係るデータ

East Counter Hall



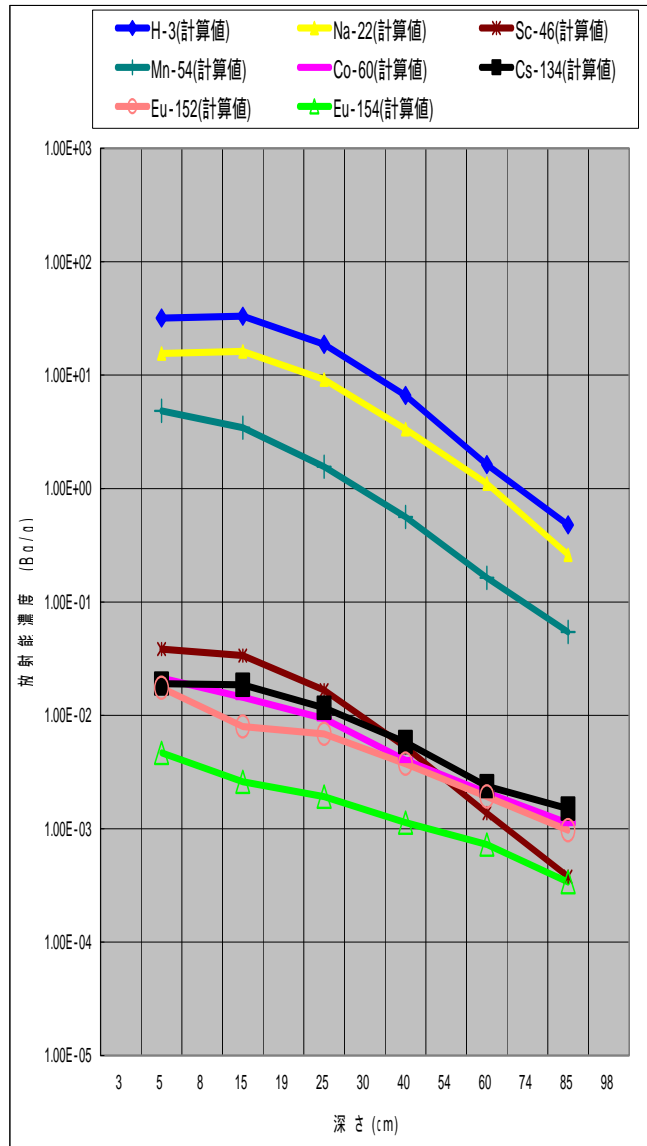
建 家	計算体系	EP2ビームライン (East Counter Hall)を左下図のとおりモデル化
機器及び遮蔽体		
構 造 材	コンクリート	主な元素組成(放射化分析) L i 18.8 ppm N a 1.41 % M n 0.0416 % F e 2.94 % S c 10.22 ppm C s 4.75 ppm C o 7.85 ppm E u 0.73 ppm <small>他の元素は、(財)原子力環境整備センター「原子力発電所の運転及び解体に伴い発生する廃棄物の物量、性状等に関する資料集」のクリアランスレベル算出に用いた値を使用した</small>
運 転 (照 射) 履 歴	陽子エネルギー	1 2 G e V
	加速磁石 陽子ロス	磁石数 8 台 計 1.0×10 ⁹ 個/秒
	曲げる磁石 陽子ロス	磁石数 1 台 計 1.0×10 ¹¹ 個/秒
	運転時間	20年間、連続運転



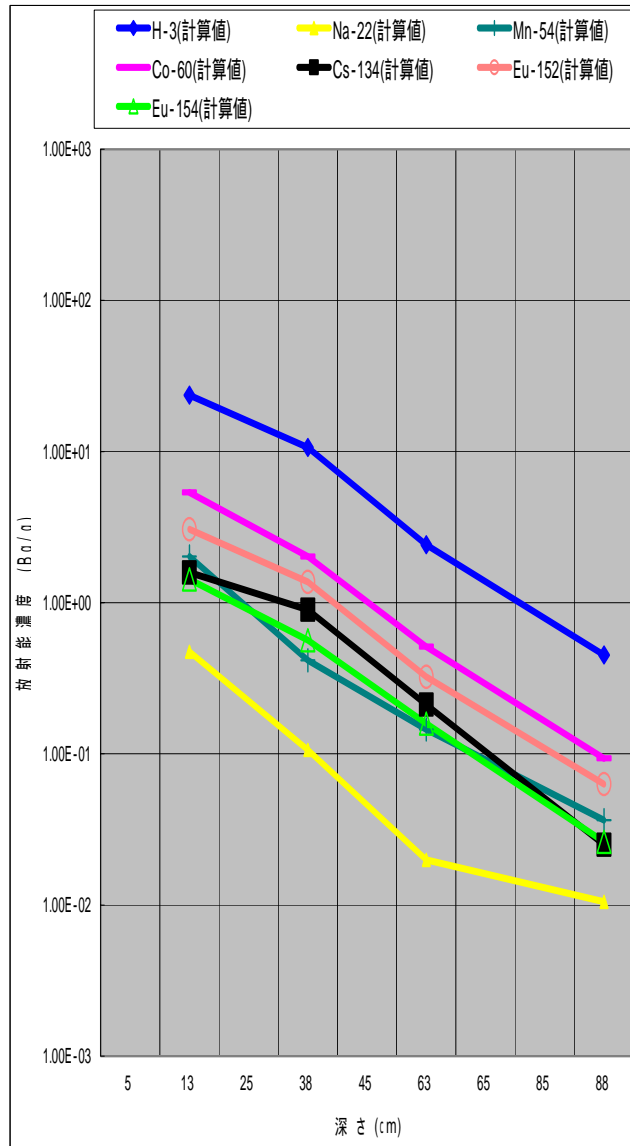
ケーススタディ
での計算結果

3.3.1 放射線発生装置使用施設におけるコンクリートの放射化計算値 (装置停止後1年後)

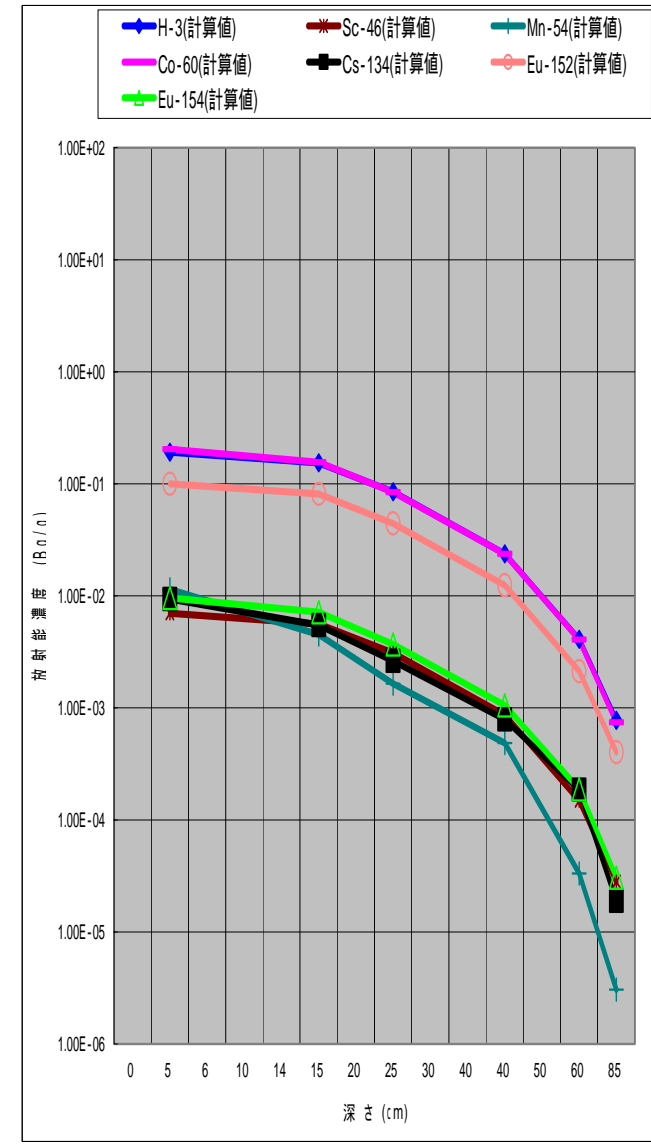
KEK



JAEA



RI協会





ケーススタディ
での計算結果

3.3.2 放射化計算結果に基づく放射化コンクリート中の含有核種の相対重要度評価結果

(参考)

(D/C)/(D/C)max*	KEK陽子加速器施設	JAEA LINAC	RI協会 仁科記念サクロトンセンター
	装置停止後1年 (コンクリート表面から100cm 深さ)	装置停止後1年 (コンクリート表面から80cm 深さ)	装置停止後1年 (コンクリート表面)
最重要核種	Na-22	Co-60	Co-60
1 桁目 (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 桁目 (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 桁目 (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 桁目 (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 桁目 (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	Cl-36 Ca-41 Co-58 Se-75 Sr-85 Nb-94 Sb-124 Te-127m Gd-153 Tb-160 Pu-239

軽水炉型試験研究用原子炉
原子炉停止後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-キンググループ資料4-3の参考資料-3による

* 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。



原子炉施設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、放射化計算結果と採取試料の放射化学分析等による測定値とを比較する。



3.3.4 採取試料の放射能測定・評価方法

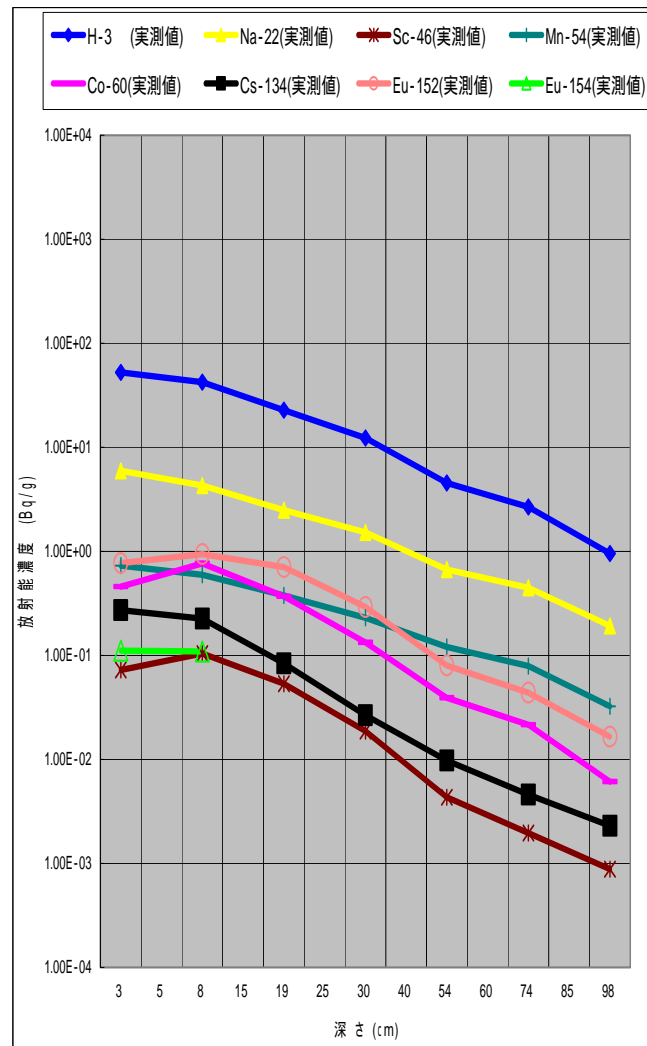
	核種	半減期(年)	測定線種	測定方法	ケーススタディ施設での測定核種()		
					KEK	JAEA	RI協会
1	H-3	1.2E+01	線	手法が確立している放射化学分析により分離・精製した後、液シン等により測定			
2	C-14	5.7E+03	線	手法が確立している放射化学分析により分離・精製した後、液シン等により測定			
3	Na-22	2.6E+00	線	線スペクトロメトリーにより測定			
4	Ca-45	4.5E-01	線	手法が確立している放射化学分析により分離・精製した後、液シン等により測定			
5	Sc-46	2.3E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
6	Mn-54	8.6E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
7	Fe-55	2.7E+00	X線	手法が確立している放射化学分析により分離・精製した後、X線スペクトロメトリーにより測定			
8	Fe-59	1.2E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
9	Co-57	7.4E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
10	Co-60	5.2E+00	線	線スペクトロメトリーにより測定			
11	Zn-65	6.7E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
12	Ag-110m	6.9E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
13	Sn-113	3.2E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
14	Sb-124	1.6E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
15	Sb-125	2.8E+00	線	線スペクトロメトリーにより測定			
16	Te-123m	3.3E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
17	Te-127m	3.0E-01	線	手法が確立している放射化学分析により分離・精製した後、線スペクトロメトリーにより測定			
18	Ba-133	1.1E+01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
19	Cs-134	2.1E+00	線	線スペクトロメトリーにより測定			
20	Cs-137	3.0E+01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
21	Ce-139	3.8E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
22	Eu-152	1.3E+01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
23	Eu-154	8.6E+00	線	線スペクトロメトリーにより測定			
24	Eu-155	5.0E+00	線	線スペクトロメトリーにより測定			
25	Tb-160	2.0E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
26	Ta-182	3.2E-01	線	線スペクトロメトリーにより測定			
27	Tl-204	3.8E+00	線	手法が確立している放射化学分析により分離・精製した後、線スペクトロメトリーにより測定			
28	Pu-239	2.4E+04	線	線スペクトロメトリーにより測定			



ケーススタディ
での計算結果

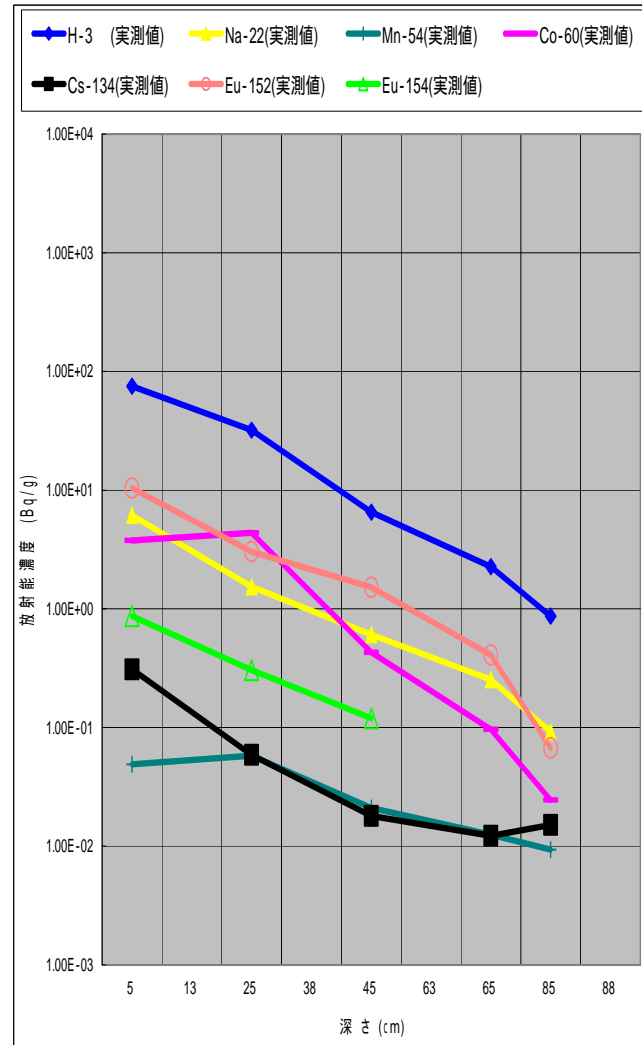
3.3.5 放射線発生装置使用施設における放射化コンクリートの放射能濃度の測定値 (装置停止後1年後)

KEK



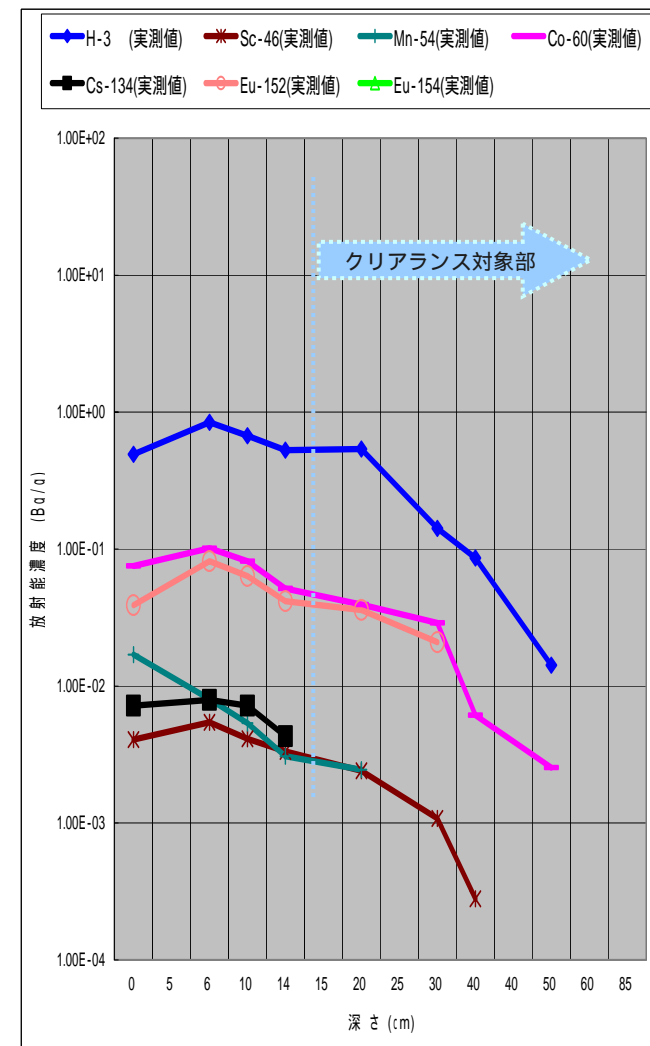
約110cm以深部がクリアランス対象部

JAEA

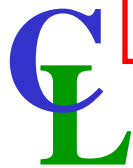


約110cm以深部がクリアランス対象部

RI協会



約15cm以深部がクリアランス対象部

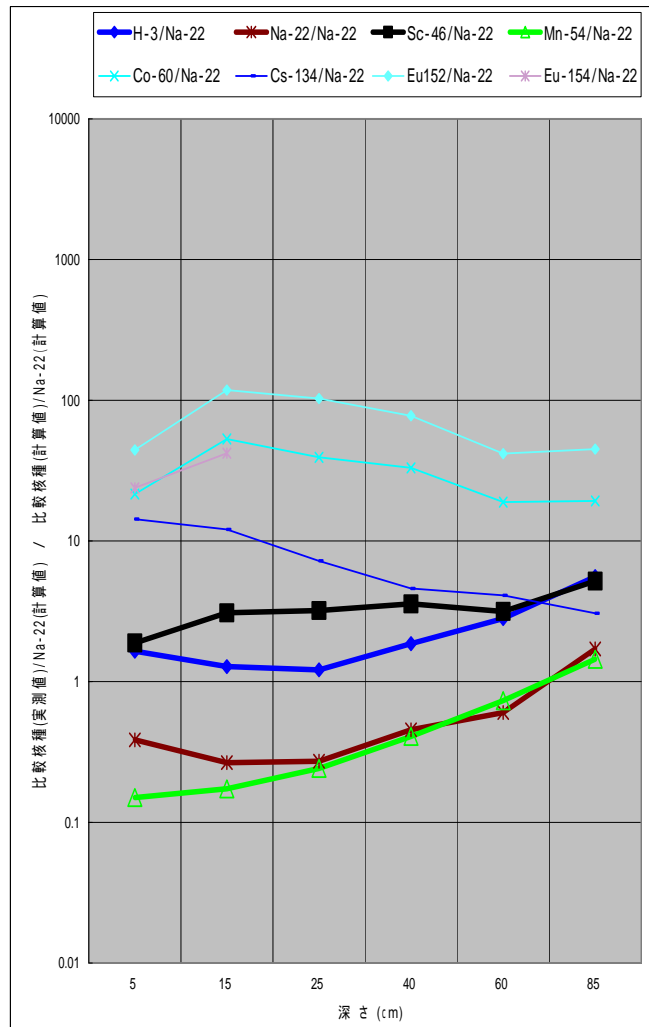


ケーススタディ
での考察

3.4.1

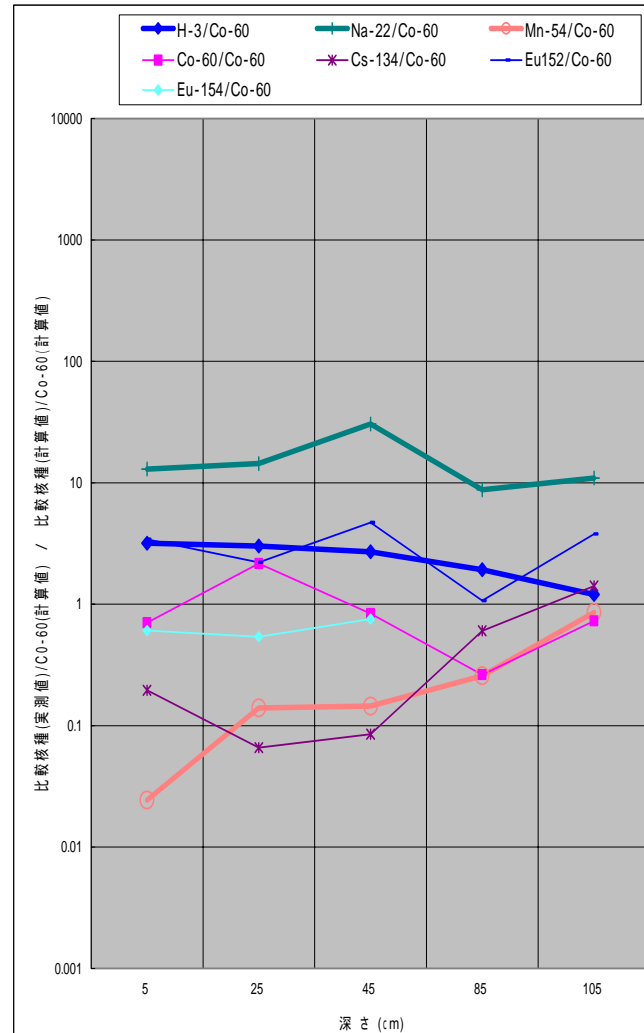
放射化コンクリートの放射能濃度の放射化計算結果 と測定値との比較

KEK



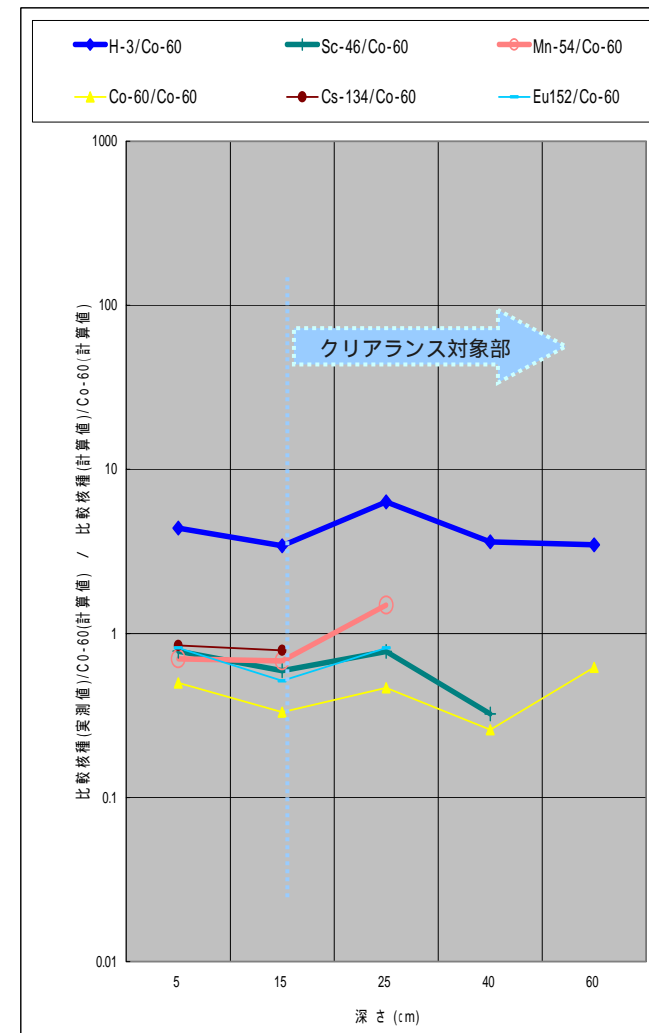
約110cm以深部がクリアランス対象部

JAEA



約110cm以深部がクリアランス対象部

RI協会



約15cm以深部がクリアランス対象部

3.4.2 放射線発生装置使用施設における評価対象核種の選定

- 今回対象とした放射線発生装置に係る放射化計算結果と測定値との比較の結果、計算結果が実際の値より小さくなる核種がある。
- そのため、原子炉施設と同様の基準で、相対重要度評価に基づき評価対象核種を選定すると、本来評価対象核種となるべき核種が漏れる可能性がある。
- これは、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ためと考えられる。

相対重要度評価に基づき評価対象核種を選定する場合、放射化計算結果と放射化計算により得られる放射性核種の採取試料の放射化学分析等による測定値とを比較し、本来評価対象核種となるべき核種が漏れないように、原子炉施設の選定基準を広げる*ことが適切である。
合理的なクリアランス対象物の測定を行うため、採取試料の放射化学分析等による測定値に基づき、選定した評価対象核種の組成比を設定する。

*:例えば、KEK陽子加速器施設の場合、原子炉施設での選定基準を適用すると2桁目までとなるが、前頁の実測値と計算値に基づき本来評価対象核種となるべき核種が漏れないよう4桁目まで広げる。



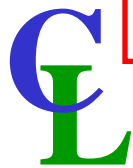
ケーススタディ
での考察

3.4.3 放射化コンクリートの放射能濃度に係る計算結果と測定結果とに基づく評価対象核種の選定

: 評価対象核種

(D/C)/(D/C)max*	KEK陽子加速器施設	JAEA LINAC	RI協会 仁科記念サクロトンセンター
	装置停止後1年 (コンクリート表面から100cm 深さ)	装置停止後1年 (コンクリート表面から80cm 深さ)	装置停止後1年 (コンクリート表面)
最重要核種	Na-22	Co-60	Co-60
1 桁目 (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 桁目 (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 桁目 (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 桁目 (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 桁目 (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	Cl-36 Ca-41 Co-58 Se-75 Sr-85 Nb-94 Sb-124 Te-127m Gd-153 Tb-160 Pu-239

* 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。

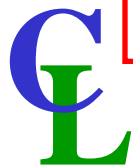


ケーススタディ
での考察

3.4.4 ケーススタディ施設における評価対象核種の核種組成比

番号	核種	半減期 (年)	核種組成比		
			KEK 陽子加速器 (コンクリート表面から100cm深さ)	JAEA LINAC (コンクリート表面から80cm深さ)	RI協会 仁科記念サイクロトロン センター (コンクリート表面)
1	H-3	1.20E+01	8.58E+03	1.41E+01	1.02E+01
2	C-14	5.73E+03			
3	Na-22	2.60E+00	3.18E+01	2.71E+00	
4	Sc-46	2.30E-01	1.79E-01		8.01E-02
5	Mn-54	8.60E-01	5.59E+00	6.04E-01	6.28E-02
6	Fe-55	2.70E+00			
7	Co-57	7.40E-01			
8	Co-60	5.20E+00	1	1	1
9	Zn-65	6.70E-01			
10	Ag-110m	6.90E-01			
11	Sn-113	3.20E-01			
12	Sb-125	2.80E+00			
13	Te-123m	3.30E-01			
14	Ba-133	1.10E+01			
15	Cs-134	2.10E+00	3.81E-01	9.84E-01	8.43E-02
16	Cs-137	3.04E+01			
17	Ce-139	3.80E-01			
18	Eu-152	1.30E+01	2.70E+00	2.94E+00	8.02E-01
19	Eu-154	8.60E+00			
20	Ta-182	3.20E-01			

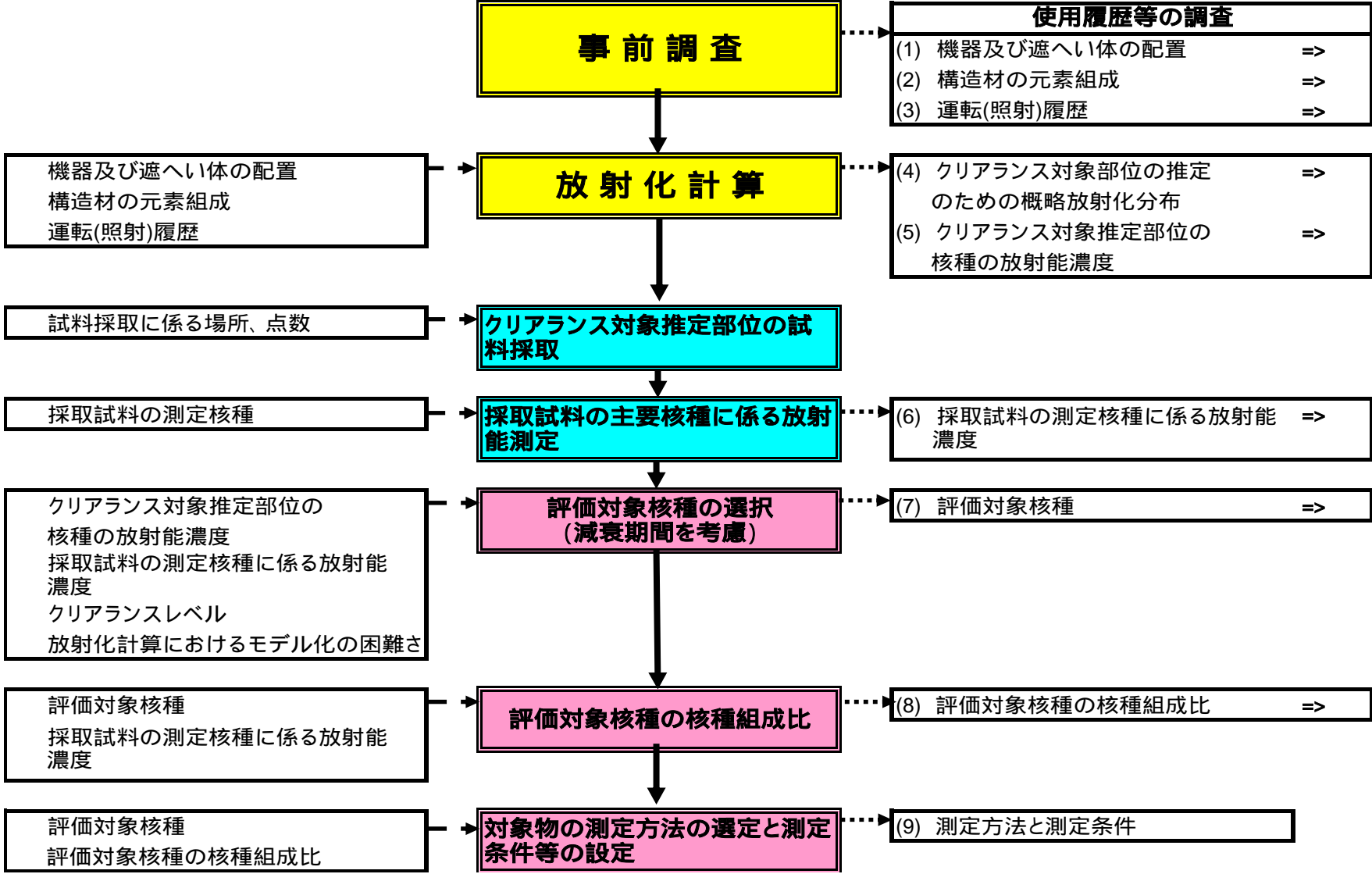
評価対象核種
今回、放射化学分析等により評価した放射能濃度に基づく



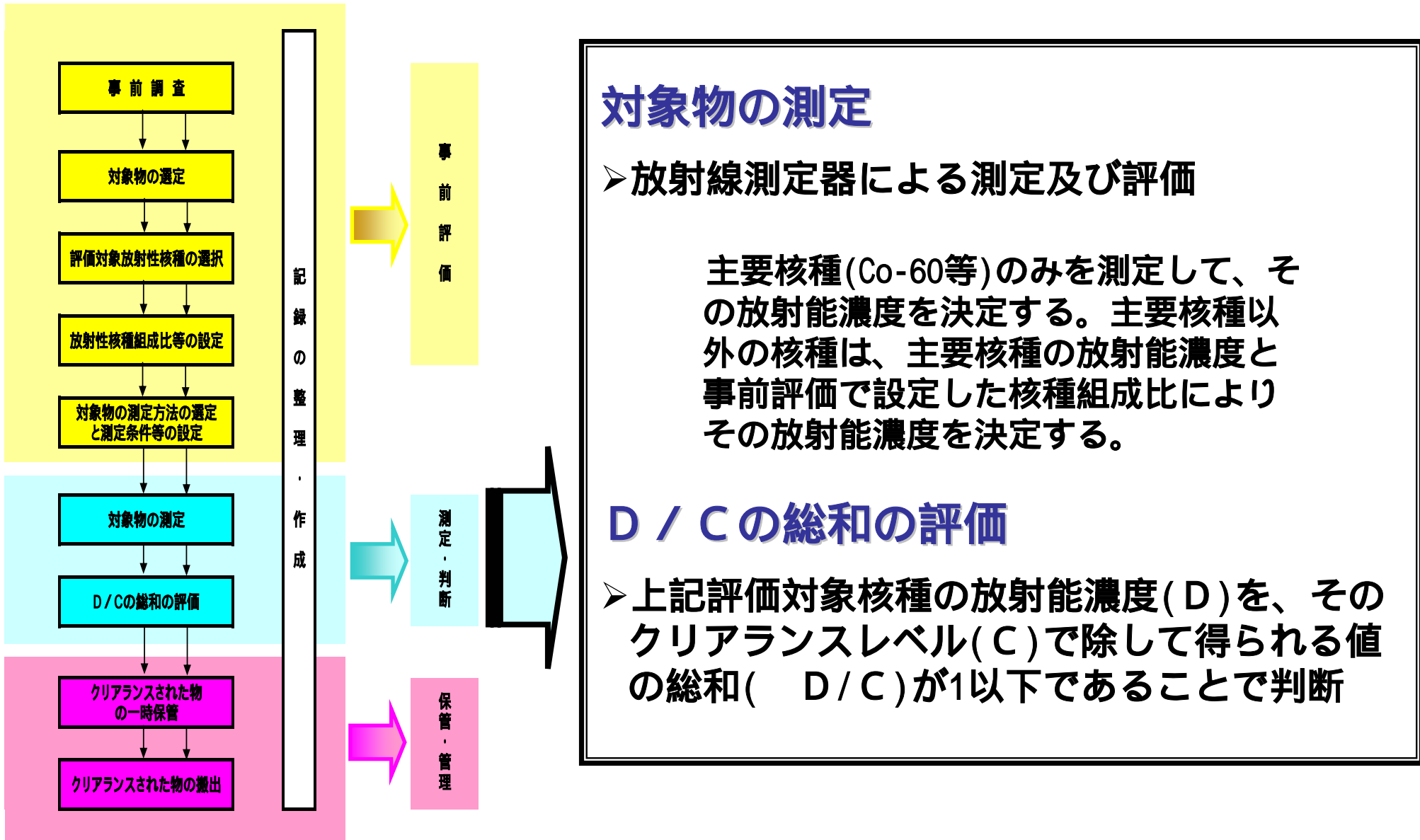
3.4.5 放射線発生装置使用施設（放射化物）のクリアランス判断に係る事前評価の概略フロー

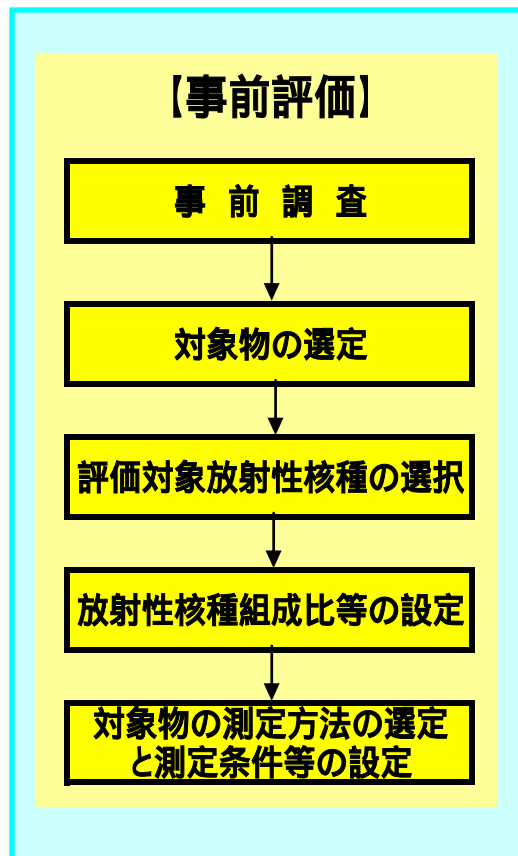
主要なデータ

目的・結果(反映先を含む)



3.4.6 クリアランス測定・判断





- **中・高出力の放射線発生装置**
放射化の状況が装置毎に異なることから、評価対象核種及びその核種組成比を選定及び設定するため、装置毎の事前評価を実施
- **低出力の放射線発生装置**
放射化の状況がほぼ一定であることから、評価対象核種及びその核種組成比をほぼ共通化できるため、代表的な装置について事前評価を行うことで、共通する他の装置についての事前評価を省略できる。

4.2 低出力の放射線発生装置に係るクリアランスの事前評価及び測定・判断の考え方

低出力の放射線発生装置の特徴：

放射線発生装置の構造が比較的単純
加速粒子のエネルギー等が小さく且つほぼ一定
運転様式がほぼ一定
放射化範囲がほぼ放射線発生装置に限定
放射線発生装置の構成材料がほぼ一定



放射線発生装置の種類、エネルギー等に応じて装置を分類し、代表的な装置について事前評価を実施

例えば、Co-60等の主要核種の放射能測定のみでクリアランス判断が可能となる。

5. 今後の検討課題

原子炉施設に係る事前評価方法について、中・高出力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結果、放射化計算及び試料の採取・測定を組み合わせることにより、合理的な評価対象核種の選定が行えると考えられる。

今後、計算のモデル化の考え方、評価単位及び評価点設定等の具体的な方法についての検討が必要である。

出力規模(低出力及び中・高出力)に応じた放射線発生装置に係る事前評価の方法を検討した結果、評価対象核種及びその核種組成に基づき、クリアランス対象物に係る合理的な測定・判断が行えると考えられる。

今後、低出力の放射線発生装置では、種類、エネルギー等に応じて共通化が可能な装置の、具体的な分類及び事前評価の方法の検討が必要である。