

医療(JSRT)からの技術的提案1

(社)日本放射線技術学会

1. 治療用電子加速器

横浜労災病院 渡辺 浩

2. PET検査用小型サイクロトロン

茨城県立医療大学 藤淵 俊王

平成21年10月2日

1. 治療用電子加速器

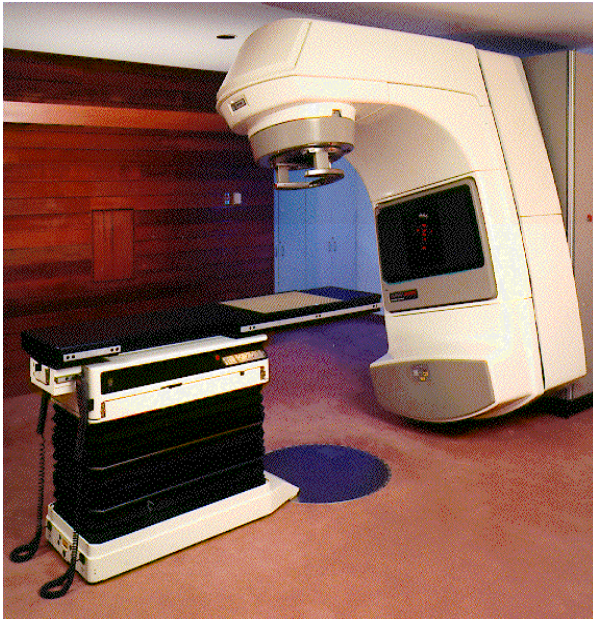
対象機器の重要性

- 男性の4人に1人、女性の6人に1人はがんで死亡
- 放射線治療を受ける患者数は5年間で1.4倍
- 核医学診療はがんの診療に有用
- 放射線管理は放射線診療の基礎である
 - 過剰な管理は医療機関の運営経費に直結
- 従って、科学的な根拠に基づく合理的な規制が求められる

加速器の運転時間は限定的

- 目的とする癌組織に的確に照射するために照射位置を確認する事前作業(時間)が必要
- 患者のペースに合わせた診療が必要
- 従って、1日あたりの照射時間は限定的

エネルギーの選択



Varian社資料より

◆X線

- ◆4/10MV
- ◆6/10MV
- ◆6/15MV
- ◆6/18MV
- ◆8/15MV
- ◆8/18MV

◆電子線

- ◆6, 9, 12, 15, 18MeV
- ◆4, 6, 9, 12, 15MeV
- ◆6, 9, 12, 16, 20MeV
- ◆4, 6, 9, 12, 16MeV

様々なエネルギー
で加速
最大エネルギーを
用いる照射は限定的

治療用電子加速器での提案

- 10MeV未満、10MeV、10MeV超にカテゴリ分けを
- 「クリアランスレベルを超えないことが明らかな廃棄物(仮称)」の導入
- 放射能濃度は、最大値ではなく一定の容積の平均値で評価を
 - 例えば、建屋(コンクリート)は、建屋全体あるいは1トン単位(表面 1m^2 × 深さ)で評価を
 - 局所的に極端に濃度が高いものは別に扱う

治療用電子加速器の放射化物

- 6MeV(あるいは8MeV)以下では放射化物は日常の管理測定で検出できない
- 10MeV以下ではターゲット等が放射化するが、その生成量は比較的少量
 - 建屋の放射化は日常の管理測定で検出できない
- 10MeV超では本体と建屋の一部が放射化する可能性があるが最大21MeVに留まる
 - 建屋の放射化はクリアランスレベルを超えないと考えられる

放射化レベル

エネルギー	熱中性子束	建屋のコンクリートを炉規法におけるクリアランスレベル以上に放射化させる中性子束 (年間 500 時間運転)	クリアランスレベルとの比較	熱中性子発生量 (10年間運転)
6MV	放射化法では検出できない	$4.6 \times 10^4 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	下回る	放射化法での検出限界未滿
10MV	$1 \times 10^3 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$		下回る	10^{10}cm^{-2}
15MV	$2 \times 10^4 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$		同等レベル	10^{11}cm^{-2}

10MeV超のカテゴリの中の15MeV、18MeVについてはエビデンス(榎本資料)があり、中性子フルエンスはほぼ変わらない(10^{11}cm^{-2} 、クリアランスレベルの1/100)

小規模医療用放射線発生装置使用施設におけるクリアランス制度導入に向けた適切な放射化物の取扱いに関する調査報告書,主任研究者:榎本和義,3,2009より引用

カテゴリと管理区分の提案

	カテゴリ	最大加速エネルギー	管理区分		
			イ	ロ	ハ
			ターゲット等*1	装置本体の一部 (イを除く)	建屋(壁面、天井、床)の一部
治療用電子加速器	I	10MeV超	A/B/D*2	C	C
	II	10MeV	C/D*3	E	E
	III	10MeV未満	E	E	E

管理区分

- A区分:放射化がクリアランスレベルを超える場合はRI汚染物として処分
- B区分:クリアランスレベルを超えないことが検認で確認された場合はクリアランス可能
 - ただし、クリアランス検認を経ない場合はRI汚染物として処分
- C区分:放射化の程度は小さく「クリアランスレベルを超えないことが明らかな廃棄物(仮称)」でありクリアランス検認を経ずに非RI汚染物として処分可能
 - 簡素化したクリアランス検認でも十分安全を確保できる
- D区分:放射化してもその程度はわずかで国内全体でも物量も小さく、濃度がBSS免除レベルを超えないため、測定で確認した上で非RI汚染物として処分
- E区分:放射化を考慮する必要がない

- *1: D区分となったターゲット等の部品はサーベイメータ等で測定し管理区域内から持ち出すまで適切に管理する。
- *2: 放射化レベルや発生する物量によってA、B、Dの何れかの区分となる
- *3: 設定されるクリアランスレベルによってCあるいはD区分となる。

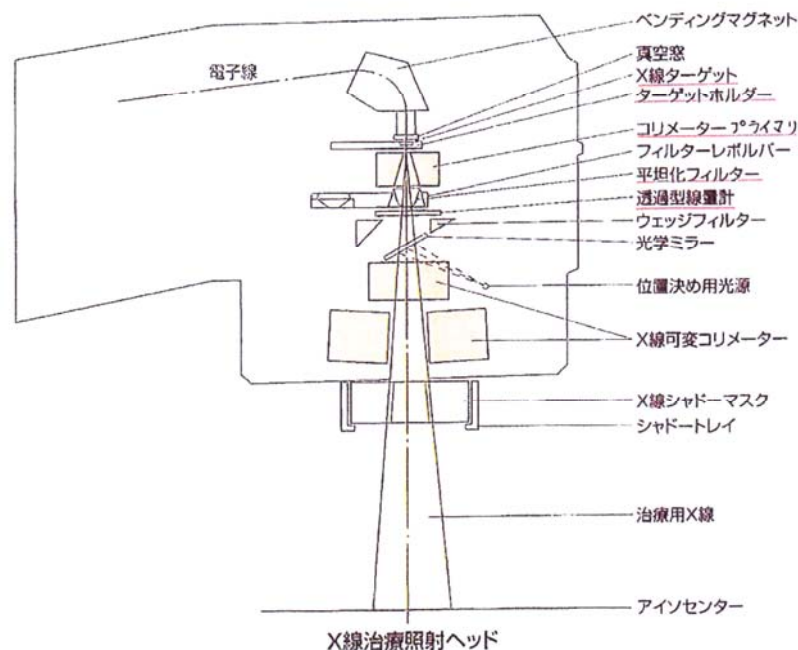
10MeV未満

- 放射線防護上は放射化を考慮する必要はない
- しかし、念のため放射化の可能性がある箇所等の放射線測定を行い、一定以上の放射線が検出されないことを確認し、記録
- 関係法令等団体が共同して作成する手順書に管理方法を明記

10MeV

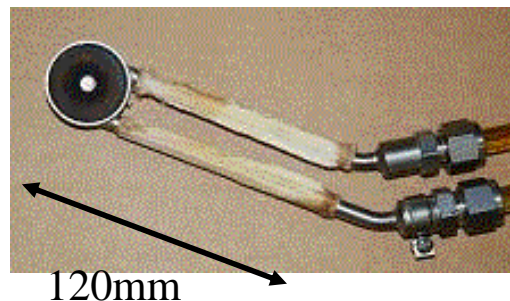
- 放射化する可能性のあるターゲット等はサーベイメータ等を用いて測定、評価
- ターゲット等の物量は1トン以下
- 数量・濃度とも免除レベルを超えない
- クリアランスレベルとの比較は今後の課題だが、炉規法のクリアランスレベルは超えない
- 生じた放射化核種も短半減期核種が主で短期間で線量率は低下

加速器ヘッドの構造と部品



ターゲットとターゲットホルダー一例

- 大きさ:
外寸30mmφ程度
- 重さ:約150g



放射化の可能性のある部品と重量 10MeVの場合

主な設備備品	重量
ターゲット	約0.2kg
平坦化フィルター(イコライザー)	約0.5kg
イオンチェンバー	約2.5kg
プライマリーコリメーター	約13.5kg
合計	約0.02トン

放射化の可能性のある部品と重量 10MeV超の場合

主な設備備品	重量
ターゲット	約0.2kg
平坦化フィルター(イコライザー)	約0.5kg
イオンチェンバー	約2.5kg
プライマリー・コリメーター	約13.5kg
コリメータ(MLCを含む)	約150kg
電磁石(ベンディングマグネット)	約350kg
加速管	約550kg
電源	約100kg
冷却系	約150kg
カウンターバランス	約2,800kg
ベッド	約1,000kg
ターンテーブル	約300kg
シールド鉛	約400kg
合計	約5.8トン

10MeVのターゲット等の管理

- 免除レベルを超えないもの(規制の対象外)についても医療機関から持ち出す前であっても適切に保管する。
- 医療機関の自主基準等に基づき簡易容器に保管し、必要に応じて、患者、医療従事者等の被ばく低減のために遮蔽
- 保管場所は照射室内あるいは障害防止法もしくは医療法の貯蔵施設あるいは保管廃棄施設等とする
- ただし、従来通り、本体から取り外した後、RI汚染物としてRI協会へ廃棄委託することも可能とする
- 部品管理記録簿を作成し紛失防止等の適切な管理を行う
- これらの方策は、少なくとも、関係学会等団体で作成、公開する品質手順に定め、医療現場に周知徹底する

10MeV超のターゲット等の管理

- 装置更新あるいは廃止時に、医療機関が事前評価し、放射化レベルに応じて、放射化物の管理と処分の計画を作成した上で変更や廃止を申請し、文部科学省の承認を受ける
- クリアランスする場合は、事前に承認された方法で適切に行われているかの検認を受け、最終措置を行う。
- 放射化物は従来通りにRI汚染物としてRI協会に廃棄を委託できるようにする

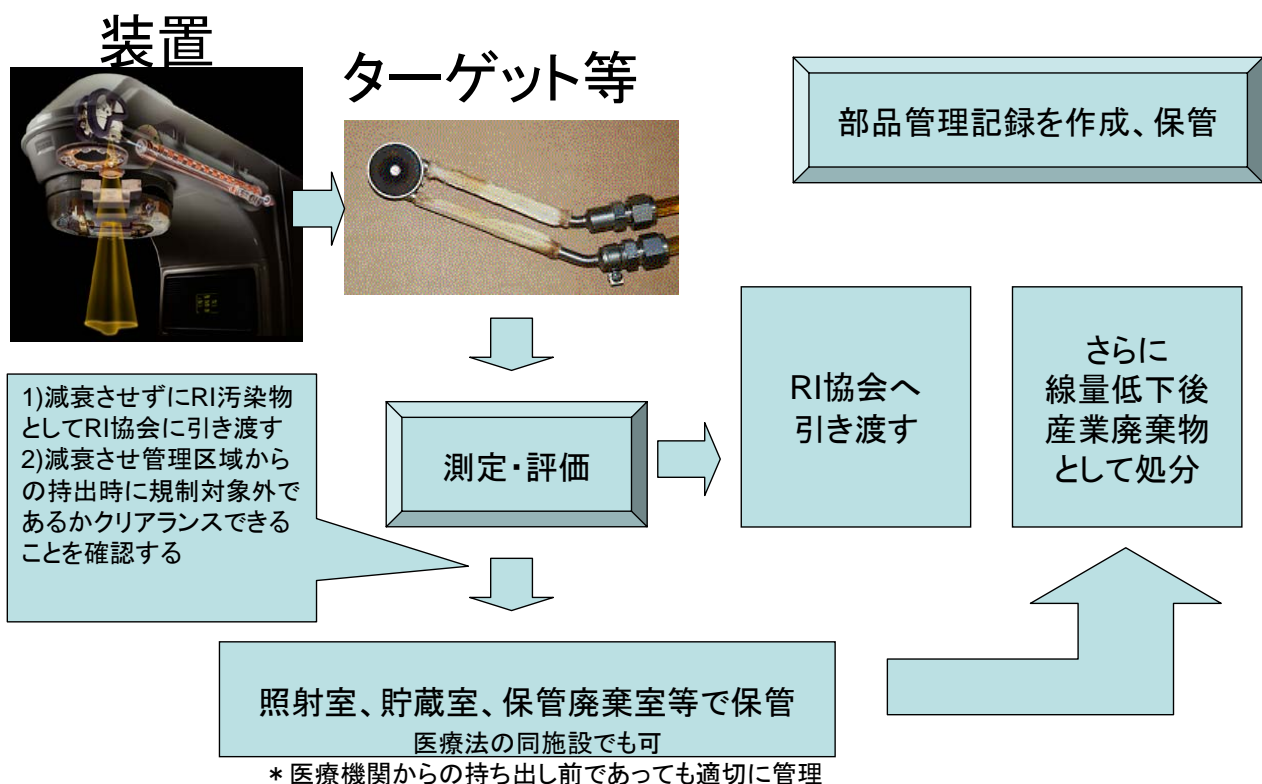
ターゲット等の放射化物の遊離性

- ターゲット等の放射化物は遊離性がなく、これまでに汚染が生じたという報告もない
- 簡単に取り外し可能で、溶断することはない
- 従って、密封線源として扱うことで十分に安全が確保される

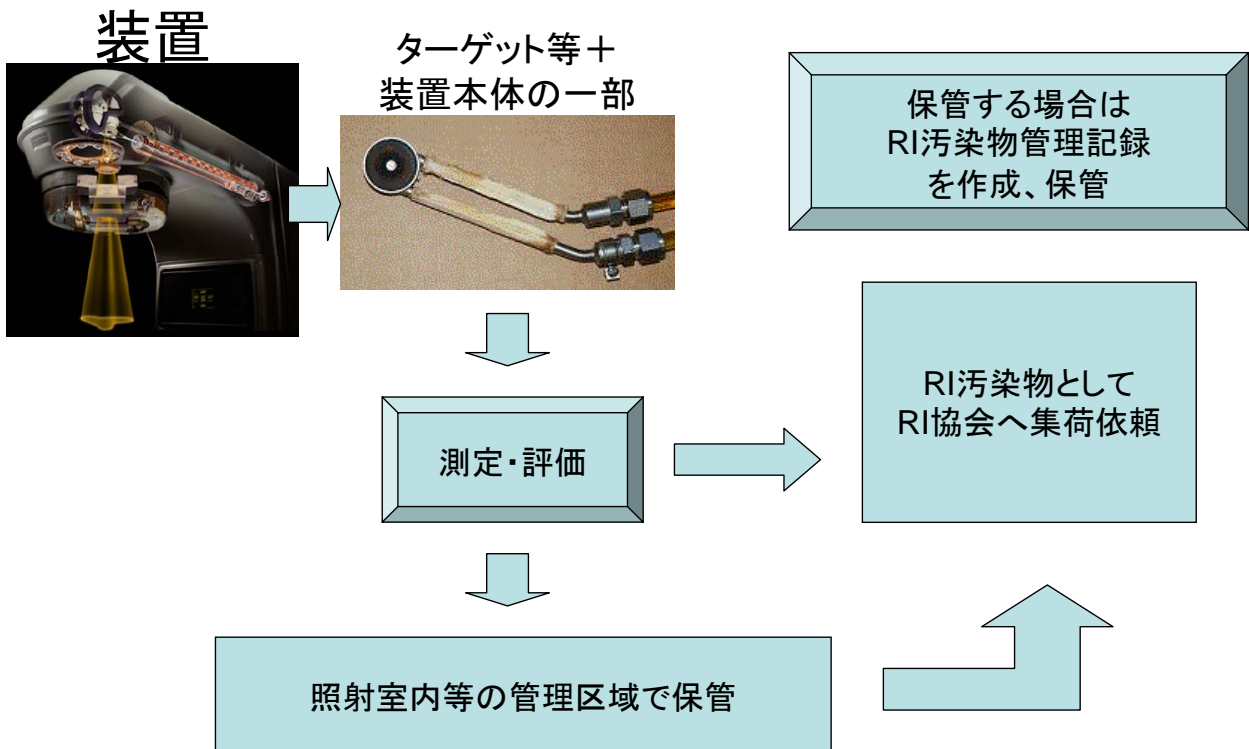
建屋の放射化の評価、法的措置

- 10MeVを超えるカテゴリでは、建屋の放射化の評価と処分を廃止時に行う
 - 日常診療に悪影響を与えないよう従来より医療機関では放射化物を適切に管理しており、廃止時以外のタイミングに対する新たな規制は不要
- 装置更新を行う場合は、廃棄する装置本体のみの評価と処分を行う。

免除レベル以下のターゲット等の管理フロー (特に10MeV)



放射性廃棄物のターゲット等の管理フロー (10MeV超の一部)



10MeV超の建屋

- 10MeV超の建屋については、同じく梶本資料によればRS-G-1.7の1/100程度、表層10cm、表面積500m³として約100トンとしている。
- また、クリアランスレベル相当に達するのは建屋全体ではなく表層から10cmのわずかな層であって全体的に低く、建屋全体あるいはコンクリート1トンという単位で考えれば平均放射化レベルはもっと低い。
- 従って、クリアランスレベルを超えないことは明らかである。
- クリアランスレベルを超えないことが明らかな廃棄物に資源を投入してクリアランス制度を用いることは合理的ではない。

「クリアランスレベルを超えないことが 明らかな廃棄物(仮称)」の導入

- 「クリアランスレベルを超えないことが明らかな廃棄物(仮称)」に資源を投入して本格的なクリアランス制度を用いることは合理的ではない。
- 医療機関に設置されている治療用電子加速器の最大エネルギーは明確になっており、この範囲では、クリアランスレベルを超えないことは明らか。
- 事前評価で十分評価が可能。

10MeV超の建屋処分の方策

- いくつかの方策
 1. 類型化の中で既に建屋がクリアランスレベルを超えないことは明らかとし、建屋の放射化の評価を求めない。
 2. 事前評価し、クリアランスレベルを超えないことが明らかになった場合、それを基に通常処分可能とする。
 3. 事前評価とコア抜きサンプル(あるいはサーベイメータによる)評価の両方で明らかにし通常処分可能とする。
 4. 3. に簡易的な検認手続きを加えてクリアランスする。

1(少なくとも2)を要望

事前評価

- 患者の治療記録のために、事前評価のために必要なデータは適切に記録されている。
- ただし、患者ごとに管理されているデータのため、一定期間の積算には時間を要する。
- 古い装置で記録が残っていないものは標準データに安全係数を用いて評価することも可能。
- 利用方法、照射時間は限定されており、一定期間の記録に安全係数を含めて評価すれば稼働期間における放射化の程度は十分評価可能である。

医療側の状況と対応

- これまで法令に従い適切に管理してきた。
- 放射線管理の重要性を再認識している。
- JSRTでは講習の項目に放射線管理を必ず設けている。
- JASTROでは専門に検討する組織を立ち上げた。
- 放射線管理の更なる向上に向けて関係学会等団体が最大限の努力を尽くす。
- 放射性廃棄物および放射化物の管理と処分については、関係学会等団体が協力して適切かつ的確な管理のための手順書を作成し、品質保証の確立を図る。
- 医療現場への放射線管理の安全文化の醸成を図るため、定期的に啓発的な機会を設ける。
- 上記品質保証方策について医療現場への周知徹底を図る。
- 今後は、医療機関、行政、学会等団体の相互理解と協力の持続のためのコミュニケーションの場を設けることを提案する。

治療用電子加速器のまとめ

- 10MeV未満、10MeV、10MeV超のカテゴリ分け
- 10MeV未満は放射化の考慮の必要がない
- 10MeVではターゲット等のみ低レベルな放射化
 - RI汚染物として扱うか非RI汚染物として扱う
 - 免除レベルを超えない
 - 炉規法のクリアランスレベルを超えない
- 10MeV超ではターゲット等、装置本体の一部はRI汚染物として管理、処分する。建屋はクリアランスレベルを超えないことが明らかであり通常処分できる。
- これらのことを要望する。

2. PET検査用小型サイクロトロン

対象機器の重要性と現状

- がん検査を行うにあたり、機能画像診断であるPET検査が2003年に保健適用され実施施設が急増した。
- ^{18}F -FDGはデリバリー供給が行われているものの、検査数の多い施設や他核種を使用する施設ではサイクロトロンにより院内製造される。
- PET核種の製造量によって検査数が制限されることもあるため、量やサイクロトロンの運転時間などは運用上の重大なパラメータであり、きちんと管理・記録されている。

サイクロトロン施設放射化の傾向

- ビームの加速方向は常に一定
(室内の中性子、放射化分布を評価しやすい)
- 中性子束について、装置の加速エネルギーによる大きな違いはなく、自己遮蔽体の有無で差がある
 - 自己遮蔽体施設では熱中性子束が $10^{1-2} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下
 - 非自己遮蔽体の施設では熱中性子束が $10^{5-7} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
(機種による大きな差はみられない)
- PET核種の製造方法と製造量に依存する

炉規法で現在定められているクリアランスレベルはCo-60で 0.1 Bq/g となっている。この他に生成される放射化核種を考慮し、 $\Sigma D/C$ を指標とし、平均的なサイクロトロン運転やコンクリートの組成、建屋の幾何学的条件を考慮すると中性子束として $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 程度に相当

サイクロトロン解体に関するカテゴリ分類の提案

サイクロトロン	カテゴリ	自己遮蔽体	管理区分				
			イ	ロ	ハ	ニ	ホ
			ターゲット付近	装置本体（イを除く）(*3)	自己遮蔽体(*1)	建屋（床）の一部(*2)	建屋（ニを除く）(*2)
I	有	A	B/C	A/B	A/B	E	
II	無	A	B/C	-	A/B	B/C(*4)	

A区分：放射化がクリアランスレベルを超える場合はRI汚染物として処分

B区分：クリアランスレベルを超えないことが検認で確認された場合はクリアランス可能
ただし、クリアランス検認を経ない場合はRI汚染物として処分

C区分：放射化の程度は小さく「クリアランスレベルを超えないことが明らかな廃棄物（仮称）」でありクリアランス検認を経ずに非RI汚染物として処分可能
簡素化したクリアランス検認でも十分安全を確保できる

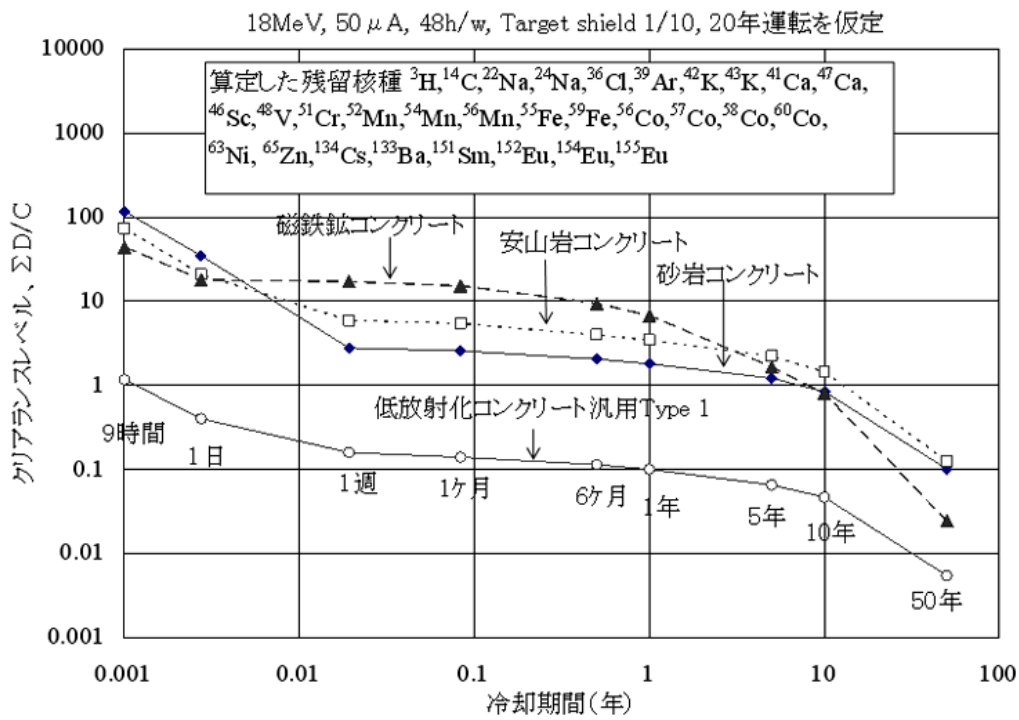
D区分：放射化してもその程度はわずかで国内全体でも物量も小さく、濃度がBSS免除レベルを超えないため、測定で確認した上で非RI汚染物として処分

E区分：放射化を考慮する必要がない

(*1) 自己遮蔽体のうち低放射化素材を用いたもの以外は放射性廃棄物になる。ただしRI協会に引き取ってもらうためにはホウ素溶出などの基準を満足する必要がある

(*2) 自己遮蔽型サイクロトロンでも床が放射化するが、施設の解体時などの対応を考えて医療分野では低放射化コンクリートの採用が進みつつある（2009年9月現在12施設）。これらの施設では建屋の放射化は放射線防護上考慮不要である

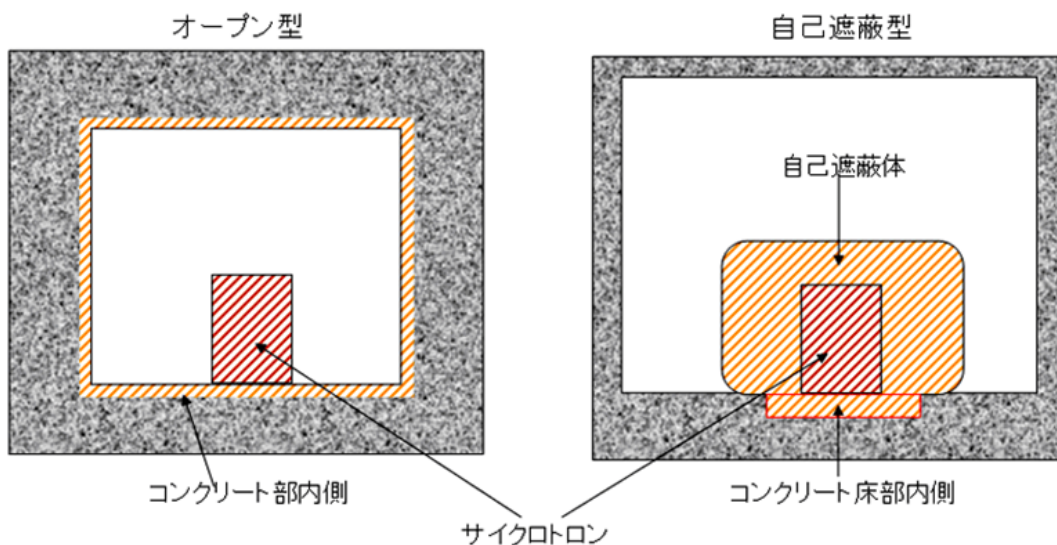
(*3) 真空容器等は低レベル放射化物、鉄ヨーク：ターゲット側表面付近は低レベル放射化物（大部分はクリアランス相当となる）、真空ポンプ：クリアランスレベル相当、表面汚染なし



ポジトロン核種製造用サイクロトンの低放射化コンクリートの $\Sigma D/C$ (普通コンクリートとの比較)

[出典]金野正晴: 低放射化コンクリートの開発の現況、コンクリート工学、Vol.42、No.6、8(2004年6月)

- (*4) 建屋の特定の部位は放射化がクリアランスレベルを超える場合がある。しかし、対象範囲や量などを考慮することにより、クリアランス可能になると考えられる。



ポジトロン核種製造用サイクロトンの放射化範囲(斜線部分)

[出典]金野正晴: 土木技術、62巻、8号(2007.8)、p.47

放射化物の評価と取扱いの提案

(口. 本体や周辺機器の評価について)

- 医療現場で測定可能な、NaIサーベイメータを用いたクリアランスレベル検認方法が認められることを望む

(参考資料) NaIサーベイメータを用いて[Bq/g]を評価する方法(投稿中)
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。

放射化物の評価と取扱いの提案

(自己遮蔽型施設の壁の放射化物の取り扱いについて)

- 自己遮蔽体までは放射化物としての管理が必要である。しかし床の一部を除く建屋はクリアランスレベルを十分に下回っているため、個別にクリアランスレベルの検認を必要とする施設から除外することが望まれる。
- エビデンスとして運転記録を残し、運転中の中性子発生量を測定しておくことで、廃止時に確認が可能であるといえる。

放射化物の評価と取扱いの提案

(ホ. 建屋について)

kekなどの報告書データで計算による評価がファクター3で再現できることが確認済

事前評価による判別

- 1) クリアランスレベルを明らかに下回る場合
⇒事前評価のみで通常廃棄
- 2) クリアランスレベル付近と評価された場合
ボーリング試料採取等で、はつりとする深さを判定
⇒はつりとして放射化レベルの箇所を除染
⇒残りの箇所は通常廃棄

事前推定についての補足①

(運転記録等による評価精度の向上)

- I. 各施設の建設施工時等のコンクリート元素組成データから上記の推論が妥当であることを示すこととする。
- II. 運転記録も組み合わせ上記が証明可能とする。
- III. 運転中の中性子測定と運転記録の組み合わせから上記が証明可能とする(最も中性子束が高い方向とそれ以外の方向の測定を組み合わせる)。

事前推定についての補足②

(サンプル採取による精度向上)

- I. ドリルを用いたコンクリート粉サンプリングから上記が証明可能とする(最も中性子束が高い方向とそれ以外の方向の測定を組み合わせる)。
- II. ボーリング試料採取から個別のクリアランス検認を経てクリアランス可能とする(最も中性子束が高い方向とそれ以外の方向の測定を組み合わせる)。