

高エネ研陽子加速器の廃止措置等に伴って発生する廃棄物等について

2004年11月17日

高エネルギー加速器研究機構

1. はじめに

高エネ研陽子加速器は、40 MeV前段加速器、500 MeVブースターリング、12 GeVシンクロトロン、取り出しビームライン及び実験室からなる複合加速器で、1976年より約30年にわたり安全運転を継続し、現在も素粒子物理学、物性科学等の実験にビームを供給している。各加速器及びビームラインの平面図を図1、取り出しビームラインの断面図の一例を図2、ビームラインと代表的な電磁石等を図3に示す。

現在本機構と原研が共同で建設を進めている大強度陽子加速器施設（J-PARC）の完成に合わせ、現在運転中の陽子加速器は近い将来運転停止の予定である。ここでは、この加速器施設の廃止に伴い加速器及び加速器建屋を解体する際に発生する廃棄物等について概略を述べる。なお加速器関係の解体は、運転停止後1ヶ月の冷却期間において、冷却水配管、ケーブル等の撤去を始め、電磁石等の廃棄物が発生するのは、運転停止後約1年後、また電磁石等を撤去した後、ビームライン遮蔽体、ビームライントンネル、機械棟等を解体撤去することを想定した。

2. 廃棄物の区分及び発生箇所

陽子加速器の廃止措置等に伴い発生する低レベル放射性廃棄物、クリアランスレベル以下の廃棄物及び放射性廃棄物でない廃棄物（以下「非放射性廃棄物」と記す）の具体例を以下に示す。

（1）低レベル放射性廃棄物の例

金属：一次ビームラインに設置された電磁石、標的、コリメータ、鉄ブロック（ビームダンプ）及び標的近傍の冷却水配管、標的近傍の電源ケーブル等

コンクリート：一次ビームライントンネルコンクリート及び遮へい体コンクリートのビームライン内側から0.5m以内の部分

（2）クリアランスレベル以下の廃棄物の例

金属：遮蔽用鉄ブロック、冷却水配管、電源ケーブル、排気ダクト等

コンクリート：一次ビームライントンネルコンクリート及び遮へい体コンクリートのビームライン内側0.5mから3m以内の部分

（3）非放射性廃棄物の例

金属：鉄ブロック（二次ビームラインダンプ及び遮へい体）

コンクリート：一次ビームライン遮へい体コンクリートのビームライン内側から3m以上離れている部分及び二次ビームラインシールドコンクリート等

機械棟、電源棟等建家

3 . 廃棄物の発生量

(1) 解体廃棄物発生量の試算

陽子加速器施設で発生する放射性廃棄物は、陽子及び二次粒子（主として高速中性子及び熱中性子）と加速器構造体及び遮蔽体の核反応による放射化により発生するものが大部分であり、汚染によるものは、ビームライン外の冷却水配管、排気ダクト等のクリアランスレベル以下の廃棄物であり、その発生量は放射化による放射性廃棄物の推定量の1%以下と見積もられるので、放射化による廃棄物のみ試算する。

放射化による放射能濃度の評価は、コンクリートについては、現在のビームラインシールドコンクリート中の放射能濃度の実測値から、電磁石、鉄ブロック等の金属については、表面線量率から放射能濃度を評価した。またニュートリノビームラインについては、運転予定年数である5年間の運転の後の放射能濃度を評価した。

(2) 発生する廃棄物等の種類及び量の試算結果

(1) に基づき試算した陽子加速器施設の廃止措置に伴い発生する廃棄物等の推定発生量を表1に示す。発生するクリアランスレベル以下と予想される廃棄物量は約11万トンであり、大部分がコンクリートであると予想される。

なお試算した廃棄物には、明らかに非放射性廃棄物である電磁石電源等は含まれていない。

4 . 放射化による廃棄物の種類及び生成する放射性核種の組成

(1) 放射化する加速器構成機器の材質

電磁石は、鉄心、架台部分等は鉄、コイル及び冷却水配管は銅からなっており、その構成は、重量比で概ね鉄90%、銅10%である。またビームライントンネル及びコンクリートシールドブロックは大部分は普通コンクリートであるが、約一割は鉄を多量に含む重コンクリート（磁鉄鉱及び黄鉄鉱）が使われている。

(2) 生成する放射性核種の組成

遮蔽体として大量に使用されている普通コンクリート中に生成する核種は、熱中性子により生成するものは、軽水炉等と同じであるが、その他高速中性子によりH-3、Na-22、Mn-54等が生成する。最も放射能濃度が高いのはH-3である。放射化生成核種の代表的な組成比を表2に示す。

重コンクリートでは、組成比は普通コンクリートと大きく異なり、Mn-54の放射能濃度が最も高いが、放射化生成核種は普通コンクリートとほぼ同じである。放射化生成核種の代表的な組成比を表2に示す。

電磁石のコイル、冷却水配管等銅中に生成する放射性核種は、主として高速中性子との反応で生成するCo-60、Ni-63である。また鉄心等鉄部分に生成する放射性核種は、高速中性子との反応で生成するCr-51及びMn-54、熱中性子との反応で生成するFe-55等である。放射化生成核種の代表的な組成比を表3に示す。

(3) 放射化による廃棄物の特徴について

加速器施設の廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物は、いわゆる固体廃棄物であり、大部分が原子炉解体廃棄物と同様に金属（鉄、銅、アルミニウム、ステンレス等）及びコンクリート（主として普通コンクリート）であり、電源ケーブルの被膜等のプラスチック類が少量含まれる。また加速器施設から発生するクリアランスレベル以下の廃棄物の放射化は、二次中性子により起こるものであり、生成する核種は、高エネルギー中性子によるNa-22等の生成など若干の違いはあるものの、原子炉解体廃棄物に含まれる中性子による放射化で生成する核種とほぼ同じである。

加速器施設で発生する放射性廃棄物については表面汚染が問題となることはない。

表 - 1

高エネルギー加速器研究機構陽子加速器廃止措置に伴い発生する
廃棄物等の推定発生量（暫定推定値）

（単位：万トン）

区 分		金 属	コンクリート	合 計
放射性廃棄物	低レベル	0.03	0.07	0.1
	極低レベル	0.7	3.2	3.9
放射性物質として扱う必要のないもの	クリアランスレベル以下	0.5	6.4	6.9
	非放射性廃棄物	0.1	4.0	4.1
合 計		1.4	13.6	15.0

* 端数処理のため合計は合わない

* 「現行の政令濃度上限値を超えるもの」は、金属標的のみで数キログラム以下である。

* 上記の値に運転廃棄物は含まれていない

* 上記以外に極少量（0.01トン以下）のケーブル被膜等の不燃廃棄物がある。

* 「クリアランスレベル以下」のものについては、原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会報告書「主な原子炉施設のクリアランスレベルについて」（平成13年11月）の試算値等を参考にして推定した。

* 「非放射性廃棄物」については、原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会が平成4年2月に示した「放射性廃棄物でない廃棄物の範囲に関する考え方」を参考にして推定した。

表 - 2 コンクリートの放射化量の比較（固体標的近傍）

（運転停止直後）

核種 （半減期）	C o - 6 0 に対する相対値	
	普通コンクリート	重コンクリート
H - 3 （12.3年）	3.3 E + 1	7.5 E + 0
Na - 22 （2.6年）	1.8 E + 0	1.8 E - 1
Sc - 46 （83.8日）	8.5 E - 2	8.3 E - 2
Mn - 54 （312日）	9.2 E - 1	1.3 E + 1
Co - 60 （5.3年）	1.0 E + 0	1.0 E + 0
Zn - 65 （244日）		5.9 E - 2
Cs - 134 （2.06年）	4.5 E - 1	
Eu - 152 （13.5年）	1.8 E + 0	5.4 E - 2
Eu - 154 （8.6年）	1.8 E - 1	

表 - 3 金属の放射化量の比較

（運転停止直後）

核種 （半減期）	鉄部分 （Mn - 54 に 対する相対値）	銅部分 （C o - 6 0 に 対する相対値）
H - 3 （12.3年）	0.02	0.1
Cr - 51 （27.7日）	0.4	
Mn - 54 （312日）	1.0	
Fe - 55 （2.7年）	20	
Co - 60 （5.3年）		1.0
Ni - 63 （100年）		10

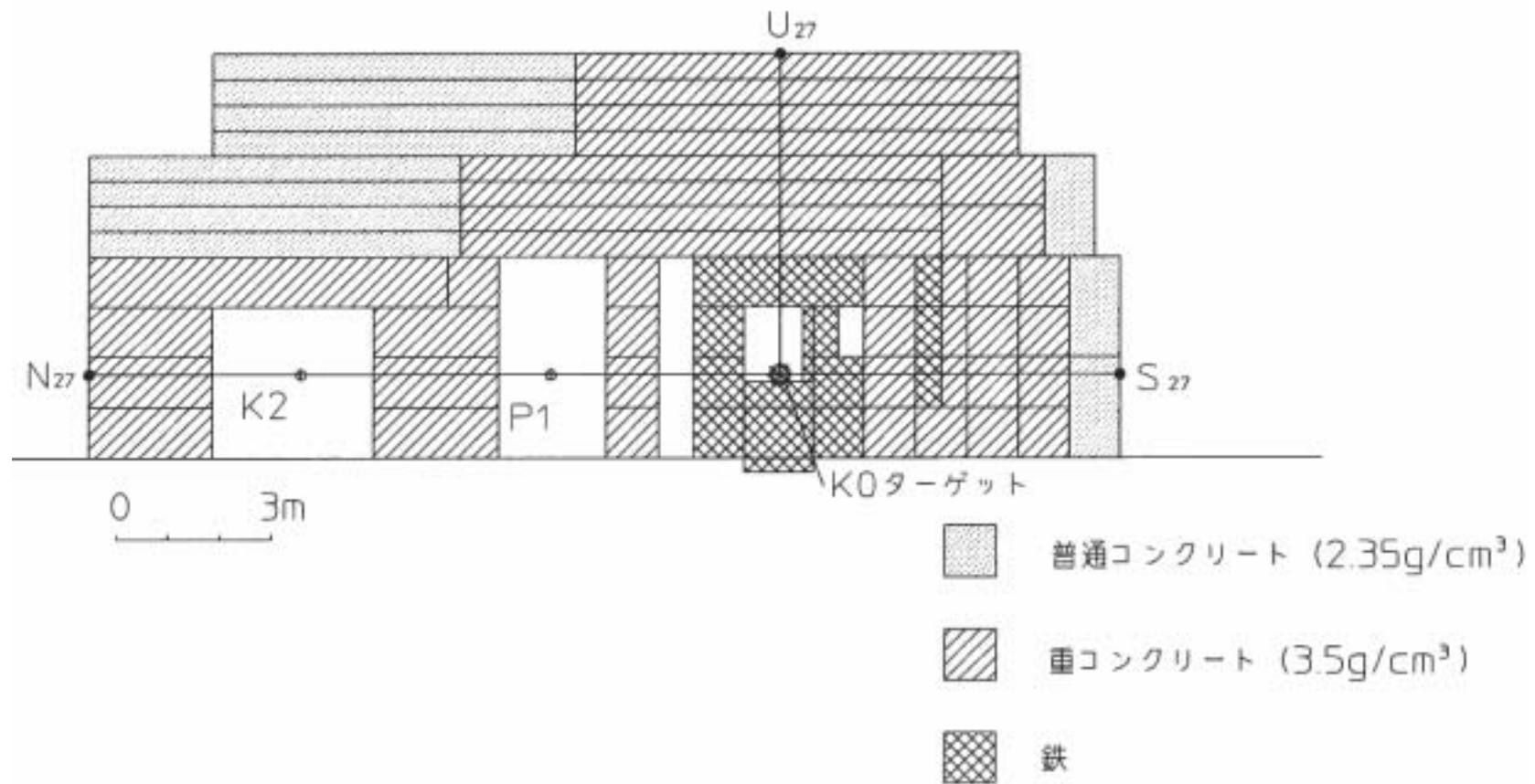


図2 EP2-C ターゲット(K0)を含む断面図



図3 ニュートリノビームラインと代表的な電磁石

高エネルギー加速器研究機構陽子加速器廃止措置に伴い発生する 廃棄物等の推定発生量（暫定推定値）

（単位：万トン）

	電磁石	鉄ブロック	金属雑	普通コン	重コン	合計
低レベル	0.03	-	-	0.07	0.002	0.1
極低レベル	0.3	0.4	0.05	3.1	0.1	3.9
クリアランス	-	0.4	0.1	5.7	0.7	6.9
非放射性	-	0.1	-	3.5	0.5	4.1
合計	0.3	0.9	0.2	12.4	1.3	15.0

廃棄物量を推定するための前提条件：

金属（電磁石、ケーブル等）については、鉄はMn - 54でクリアランスを、H - 3で極低レベルを線引きし、銅については、Co - 60でクリアランスを、Ni - 63で極低レベルを線引きする。表面線量率と放射能の関係は、大まかに

$$\begin{aligned} \text{金属：表面線量率 } 1 \mu\text{Sv/h} &= 1 \text{Bq/g} \quad (\text{Mn - 54のクリアランスレベル}) \\ &= 0.4 \text{Bq/g} \quad (\text{Co - 60のクリアランスレベル}) \end{aligned}$$

であるから極低レベル廃棄物の上限を線量率に換算すると

$$\begin{aligned} 4.1 \text{E}7 \text{Bq/g} \quad (\text{Mn - 54の極低レベル上限値}) &= 41 \text{Sv/h} \\ 800 \text{Bq/g} \quad (\text{Co - 60の極低レベル上限値}) &= 2 \text{mSv/h} \end{aligned}$$

となる。鉄部分は全て極低レベル廃棄物に相当するが、銅部分（主として電磁石内の冷却水配管及びコイル）は、Co - 60で評価しても2mSv/hを超えるものは低レベル廃棄物であり、Ni - 63の放射濃度がCo - 60の数倍であることを考えると、陽子加速器施設では、ほぼ全ての電磁石の銅部分が低レベル廃棄物となる。加速器解体廃棄時に、電磁石本体と冷却水配管を分離することを考え、陽子加速器施設の電磁石については、10%を低レベル廃棄物と考える。

高エネ研陽子加速器解体計画とそれに伴い発生する放射性廃棄物量

2004年11月17日
高エネ研

1. 廃止等のスケジュール

2005年3月末	ニュートリノビームライン運転停止
5月	ニュートリノビームライン廃止、解体開始
2005年秋	EP1ビームライン及びEP2ビームライン運転停止
2006年春	前段、ブースター、主リング及びNML（中性子、中間子実験施設）運転停止
	EP1ビームライン及びEP2ビームライン廃止、解体開始
2006年秋	NML廃止、一部解体

2. 廃棄物（再利用を含む）の物量

2006年度	22台（約600トン）の電磁石を東海で再利用 （表面汚染はないが全て加速器放射化物に該当） 電磁石架台、冷却水配管、空調関係配管約300トン廃棄 （内クリアランス相当分約200トン）
2007年度	コンクリートブロック約7000トン（クリアランス相当約4200トン） 鉄遮へい体約3000トン（内クリアランス相当約2000トン） 東海で再利用 コンクリートブロック約13000トン（内クリアランス相当 約7800トン）及び鉄遮へい体約6000トン（内低レベル廃棄物相 当約4000トン、クリアランス相当約2000トン）が廃棄可能

以上をまとめると

（単位：トン）

発生年度	廃棄物の種類	極低レベル相当	クリアランス	非放射性
2006年	金属 コンクリート	700 -	200 -	- -
2007年	金属 コンクリート	4000 -	4000 12000	1000 8000
合計		4700	16200	9000

現在高エネ研で保管している放射化物

2004年11月17日
高エネ研

現在保有している金属放射化物

保管場所	低レベル	クリアランス
保管施設（使用棟等）	100トン	1700トン
実験室等	150トン	1350トン
小計	250トン	3050トン
保管廃棄施設	500トン	4500トン
合計	750トン	7550トン

但し実験室保管の内約1000トンはJ - P A R Cで再利用の予定
また上記値には、若干のコンクリート、雑ゴミを含む

中規模加速器施設解体に伴い発生する放射性廃棄物量 (国内の主な加速器施設の調査結果)

2004/11/17

高エネ研

加速器解体に伴い発生する放射性廃棄物の比較のために、以下に大型加速器である高エネ研陽子加速器施設に関する物量等を、また表1に中型の研究用加速器施設に関する物量等を示す。これらは、大学等放射線施設協議会の加速器施設放射線安全検討委員会の調査に基づく資料である。また中型加速器に関する物量等については、解体の範囲、主たる廃棄物の種類、冷却期間等が統一されておらず、今後値が変動する可能性がある。

高エネルギー加速器研究機構 12 GeV陽子加速器

1. 冷却期間：6ヶ月

2. 最大出力：陽子 12 GeV、0.48 μA

3. 主たる廃棄物の種類

金属（鉄、ステンレス、アルミニウム、銅）

コンクリート（普通コンクリート、重コンクリート）

4. 廃棄物中に含まれる放射性核種

金属 : H-3, Be-7, Na-22, Sc-46, Ti-44, Cr-51, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-56, Co-57, Co-58, Co-60, Ni-63, Zn-65

コンクリート : H-3, Be-7, Na-22, Pi-32, S-35, Ca-45, Sc-46, Ti-44, V-48, Cr-51, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-56, Co-57, Co-58, Co-60, Ni-63, Zn-65, Se-75, Y-88, Sn-113, Sb-124, Cs-134, Ce-139, Eu-152, Eu-154

5. 廃棄物の推定発生量（単位：トン）

	金属	コンクリート	合計
低レベル廃棄物	7000	32000	40000
クリアランス	5000	64000	69000
非放射性廃棄物	1000	40000	41000
合計	14000	136000	150000

注) 端数処理のため合計はあわない

表1 中規模加速器施設解体に伴い発生する放射性廃棄物量(概算値)

1. 陽子及びイオン加速器 (単位:トン)

施設及び加速器名	理化学研究所 160cmサイクロトロン			東北大学 サイクロトロン			大阪大学核物理センター- AVFサイクロトロン			大阪大学核物理センター- リングサイクロトロン		
	最大出力	17MeV 30μA	40MeV 50μA	90MeV 3μA	440MeV 1.1μA							
対象核種	注2			高エネ研以外の核種無し			高エネ研以外の核種無し					
放射化計算コード	DCHAIN-SP			IPAC								
廃棄物分類	金属	コンクリ-ト	合計	金属	コンクリ-ト	合計	金属	コンクリ-ト	合計	金属	コンクリ-ト	合計
低レベル廃棄物	2	0	2	130	70	200	10	1	11	100	10	110
クリアランスレベル	43	0	43	20	1300	1320	100	10	110	300	200	500
非放射性廃棄物	290	4000	4290	20	6500	6520	460	4090	4550	2300	15800	18100
廃棄物合計	335	4000	4335	170	7870	8040	570	4100	4670	2700	16000	18700

2. 電子加速器 (単位:トン)

施設及び加速器名	北海道大学電子ライナック			日本原子力研究所東海研 電子ライナック			電総研 電子加速器		
	最大出力	45MeV μA	20MeV 20mA	800MeV 10mA					
対象核種	Na-22			注1			高エネ研以外の核種無し		
放射化計算コード				ORIGEN-2					
廃棄物分類	金属	コンクリ-ト	合計	金属	コンクリ-ト	合計	金属	コンクリ-ト	合計
低レベル廃棄物	3	0	3	50	50	100	8	20	28
クリアランスレベル	3	4000	4003	100	500	600	40	16	56
非放射性廃棄物	1000	6000	7000	1000	5000	6000	15	26	41
廃棄物合計	1006	10000	11006	1150	5550	6700	63	62	125

参考資料

日本原子力研究所研高崎研			
最大出力	90MeV 45μA		
対象核種	注3		
放射化計算コード	IRAC		
廃棄物分類	金属	コンクリ-ト	合計
低レベル廃棄物		0	
クリアランスレベル		0	
非放射性廃棄物			
廃棄物合計	504		504

注 1

1) 原研東海研 電子リニアック

生成核種

金属中 銅：銅単独としての測定データがありません

鉄：Fe-55,59 Mn-54

ステンレス：Cr-51 Mn-54 Co-57,58,60

アルミニウム：アルミ単独としての測定データがありません

コンクリ - ト中：H-3 Na-22 Sc-46 Mn-54 Fe-59 Co-60 Cs-134 Eu-152,154

コ - ド名 (ORIGEN-2 (熱中性子評価用))

2) 理化学研究所 160cmサイクロトロン

生成核種

クリアランス対象核種

金属中 銅：Co-58、Co-60、Ni-63、Zn-65

鉄：Sc-46、Mn-54、Fe-55、Fe-59、Co-58、Co-60

ステンレス：Sc-46、Mn-54、Fe-55、Fe-59、Co-58、Co-60

アルミニウム：Be-7、Na-22

コンクリ - ト中：H-3、Co-60、Eu-152、Eu-154

3) 日本原子力研究所 高崎研究所

廃棄物量の単位は体積 (m³)、結果は総量のみ

生成核種

(1) サイクロトロン加速器 (実測)

金属：Na-22、Sc-44、Sc-46、V-48、Mn-52、Mn-54、Fe-59、
Co-56、Co-57、Co-58、Co-60、Zn-65、Y-88、Ga-69、Sb-124、
Ta-182

コンクリ - ト：放射化するおそれはない。

(2) 3MVタンデム加速器 (計算コード：IRACコード)

金属：V-48、V-49、Co-56、Co-57、Co-58、Zn-65、Zn-65、Re-186

コンクリ - ト：放射化するおそれはない。

(3) 3MVシングルエンド加速器 (計算コード：IRACコード)

金属：V-48、V-49、Co-57

コンクリ - ト：放射化するおそれはない。

加速器施設シールドコンクリート中の放射能濃度

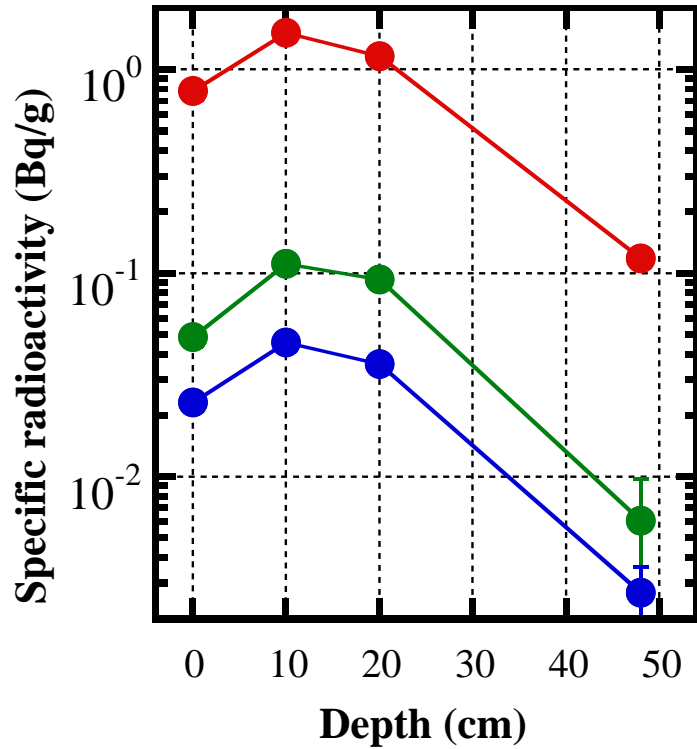
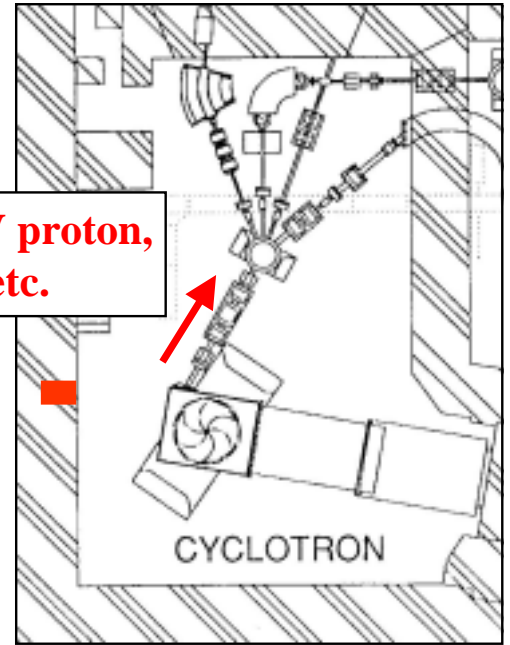
(測定済の加速器施設)

- ・東京大学原子核科学研究センター SF サイクロトロン
- ・大阪大学核物理研究センター AVF サイクロトロン、
リングサイクロトロン
- ・高エネルギー加速器研究機構 12 GeV 陽子シンクロトロン
- ・東北大学原子核理学研究施設 300 MeV 電子リニアック
- ・高エネルギー加速器研究機構田無分室 1.3 GeV 電子シンクロトロン

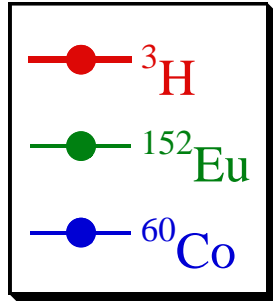
(現在、測定中の加速器施設)

- ・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
- ・北海道大学 45 MeV 電子リニアック
- ・高エネルギー加速器研究機構 ニュートリノビームライン

SF cyclotron
 (CNS, Univ. of Tokyo)
 1974 ~ 1999
 (36,000h)

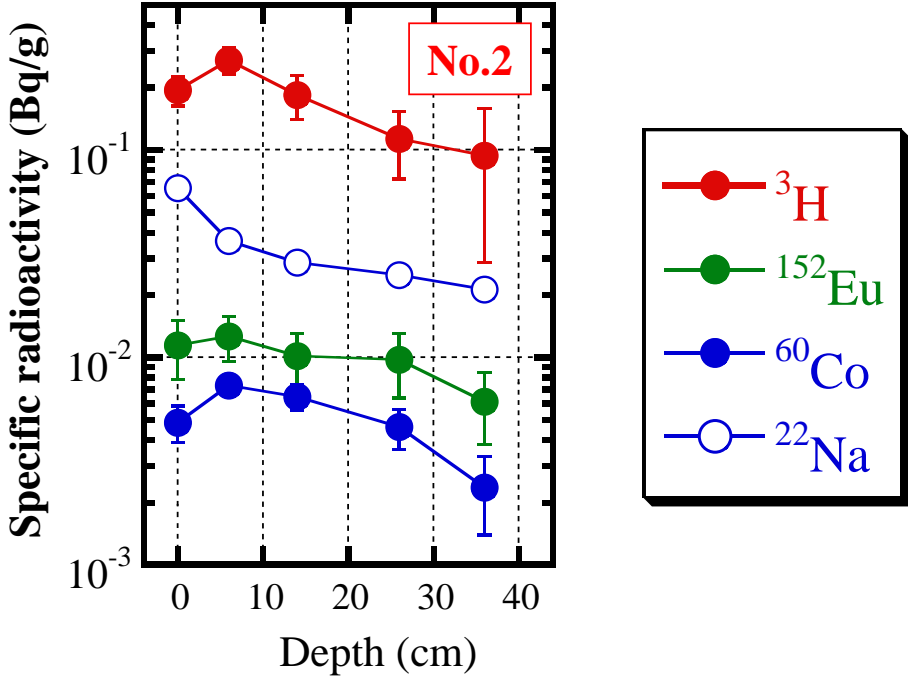
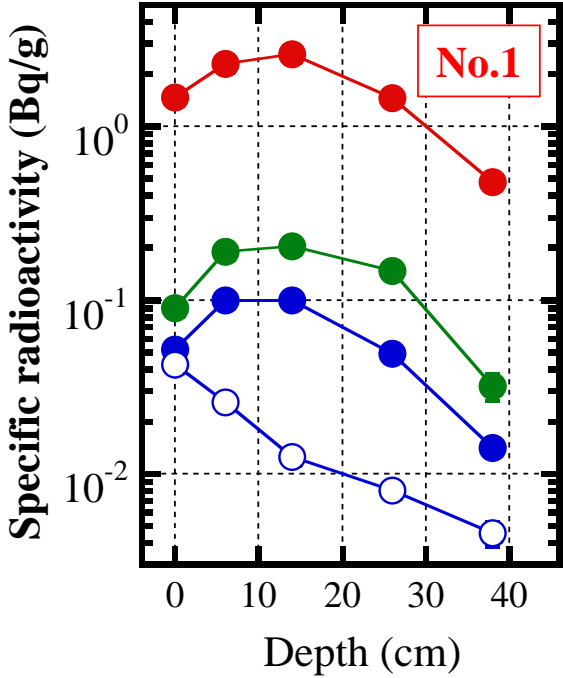
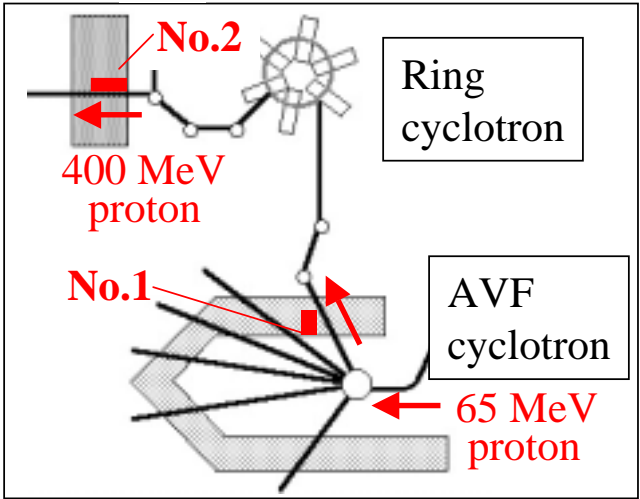


コンクリート内における
速中性子の減速



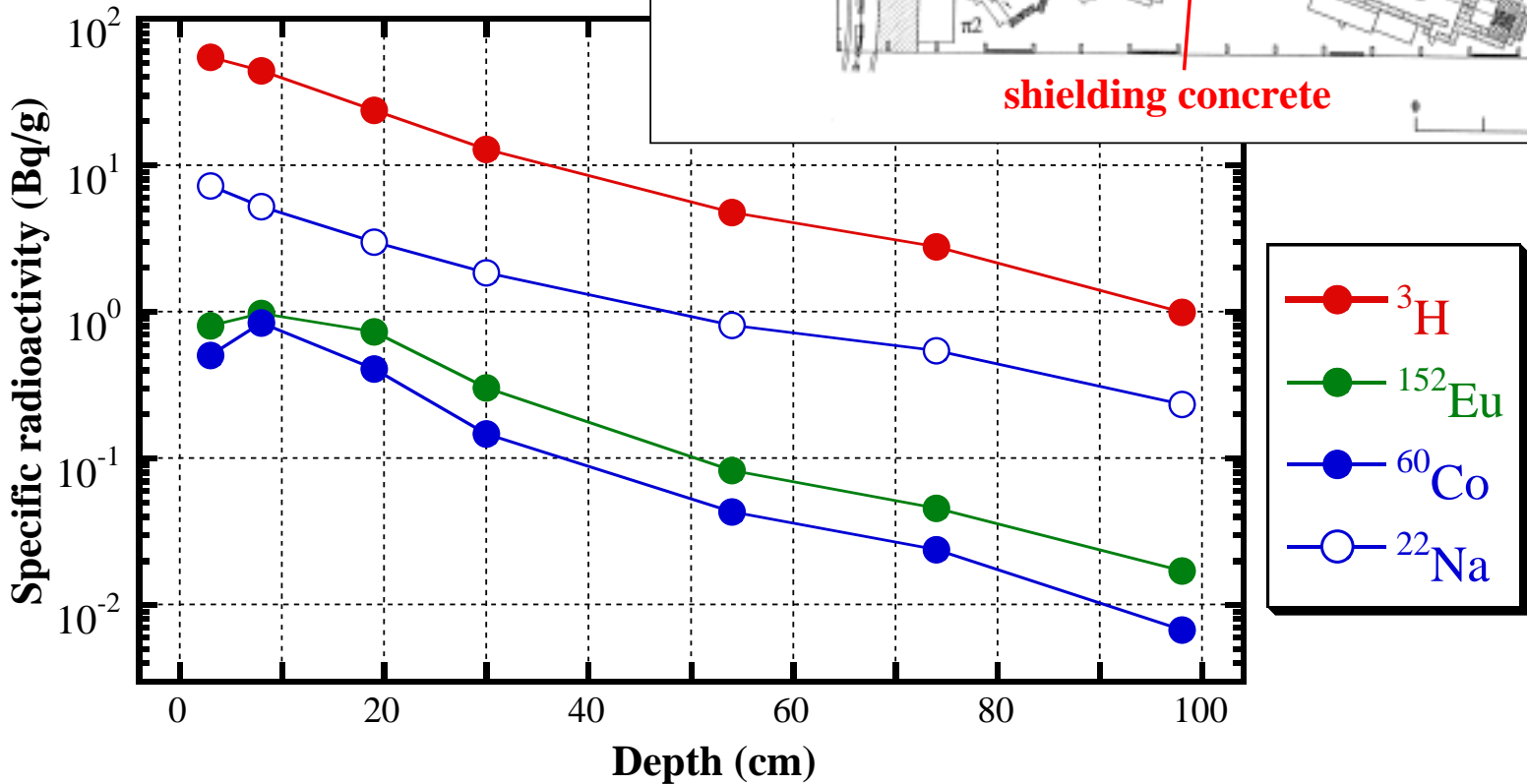
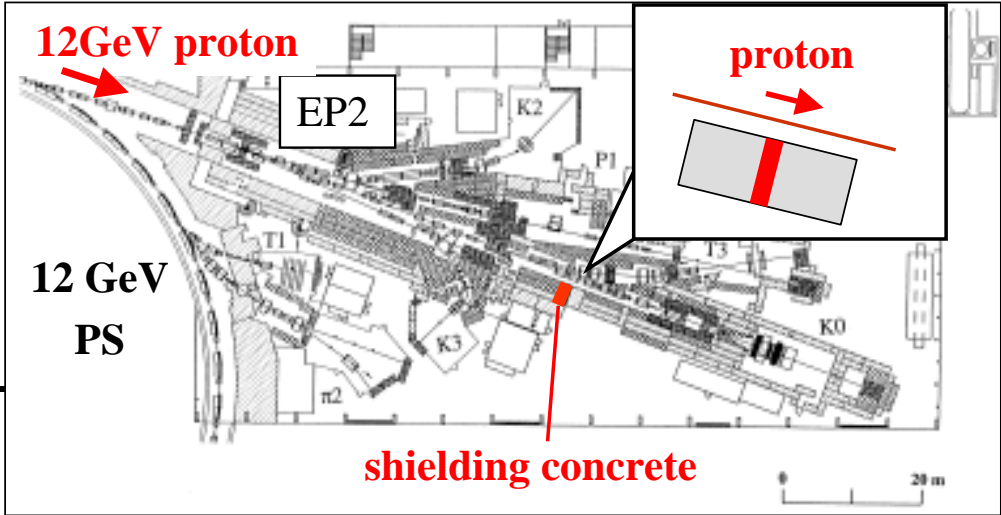
Depth profiles of specific radioactivities of ^3H , ^{152}Eu and ^{60}Co

RCNP, Osaka Univ.
AVF cyclotron 1976 ~
Ring cyclotron 1992 ~



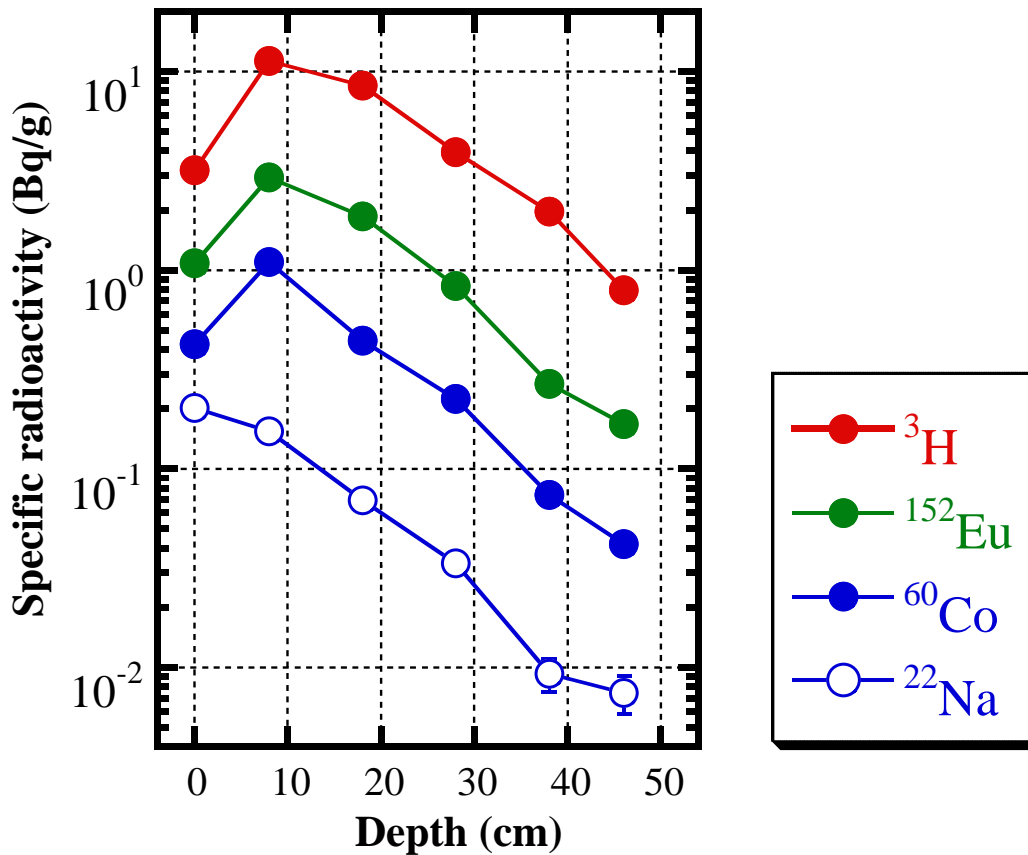
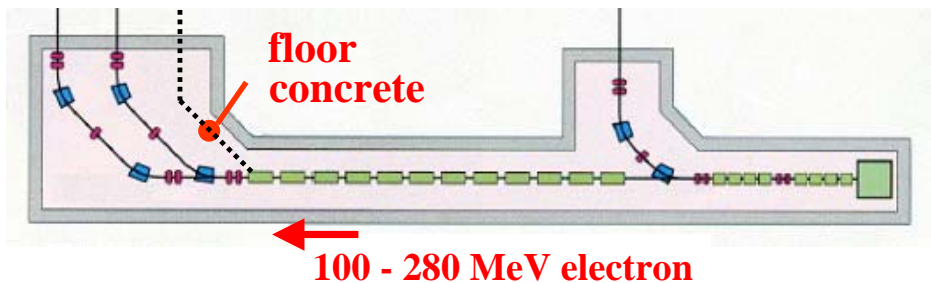
Depth profiles of specific radioactivities of ^3H , ^{152}Eu , ^{60}Co and ^{22}Na

12 GeV
proton synchrotron
(KEK)
1976 ~ (4,000h/y)



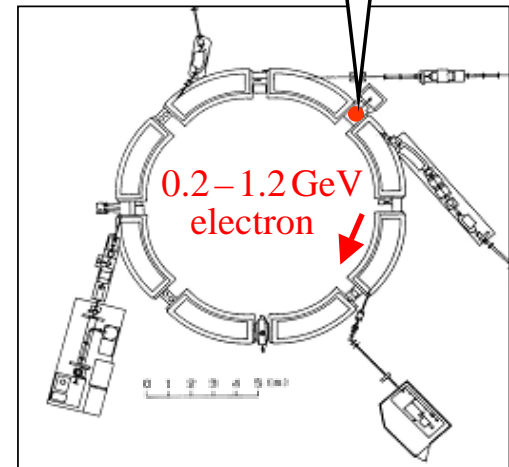
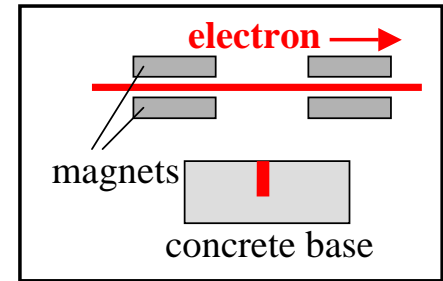
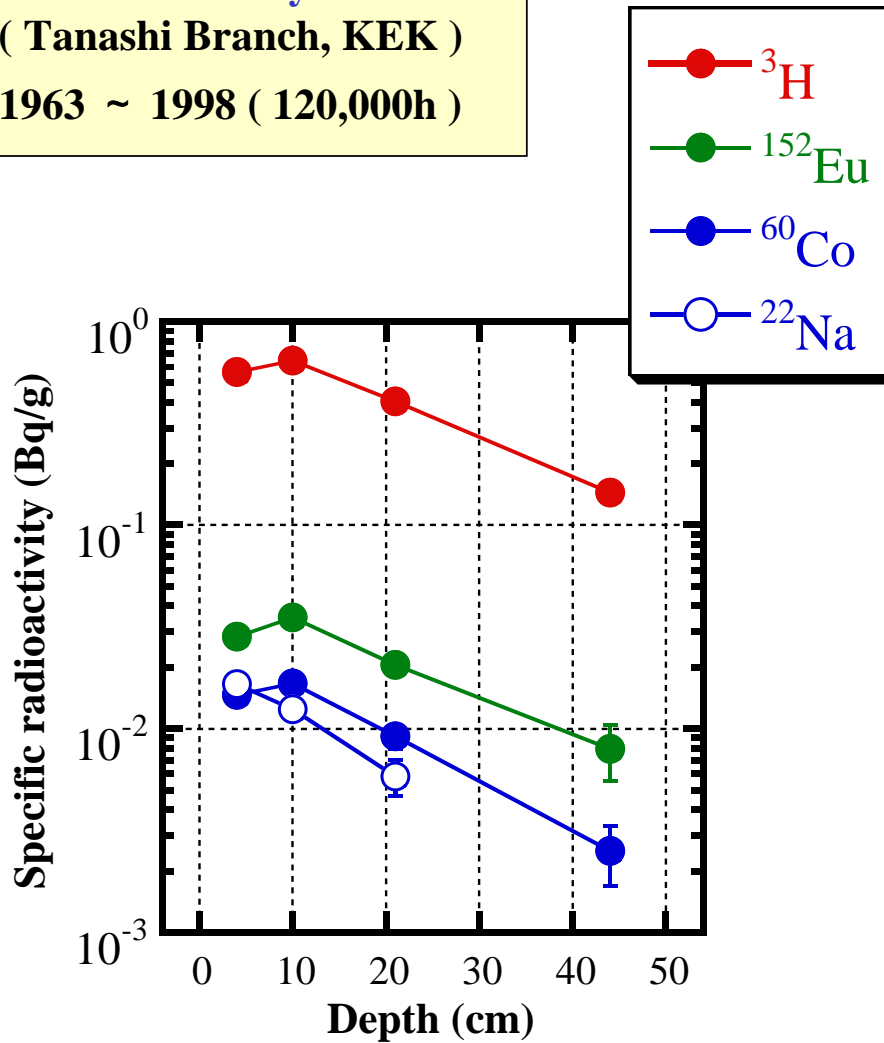
Depth profiles of specific radioactivities of ^3H , ^{152}Eu , ^{60}Co and ^{22}Na

300 MeV electron LINAC
(LNS, Tohoku Univ.)
1970 ~ 1994 (30,000h)



Depth profiles of specific radioactivities of ^3H , ^{152}Eu , ^{60}Co and ^{22}Na

1.3 GeV electron synchrotron
 (Tanashi Branch, KEK)
 1963 ~ 1998 (120,000h)



Depth profiles of specific radioactivities of ^3H , ^{152}Eu , ^{60}Co and ^{22}Na

クリアランスレベルの検認について

2004年11月17日
高エネ研

1. 表面から10cmにおける1cm線量当量率 $1\mu\text{Sv/h}$ に相当する放射能濃度

資料-7に、モンテカルロコードを用いて評価した、表面から10cmでの線量率が $1\mu\text{Sv/h}$ の時の放射化物の放射能濃度を示す。資料から判るように、ある程度の大きさ(30cm×30cm×10cm)をもった金属及びコンクリートについては、線量率が $1\mu\text{Sv/h}$ 以下の場合、その放射能濃度が規制免除レベルは超えないが、クリアランスレベルを上回ることもある。原子炉放射化物に関するクリアランスレベルの値を用いる場合は、 $1\mu\text{Sv/h}$ の線量率に相当する放射能濃度の関係から、クリアランスレベルに応じた値を求めて適応することは可能である。

2. クリアランスレベルの検認

加速器で加速される粒子は、陽子、粒子、重イオン、電子等多彩であり、また加速エネルギーも医療用の数MeVから高エネ研の数十GeVまで広範囲にわたっている。しかしながら主たる放射化は、加速器本体に関しては、陽子及び二次中性子によってまたシールドコンクリートに関しては二次中性子によって起こるものであり、生成する放射性核種は、加速粒子やエネルギーの違いによらず共通おり、更に原子炉廃棄物とも共通している。放射化の程度は違うものの、高エネ研12GeV陽子加速器施設で生成する放射性核種が、全ての放射性核種を網羅しているといえる。また廃棄物の種類も原子炉廃棄物同様にコンクリート、鉄、銅、アルミニウム、ステンレス等限られている。これら以外の種類の放射化物や、重イオン等により直接放射化されたものは、数量的に極少量であり、クリアランスの対象から外しても問題ではない。

現在高エネ研では、クリアランスの制度化に向け、代表的な加速器の放射化に関する調査、研究を行っている。資料-5に代表的な加速器施設のシールドコンクリート中に生成する放射性核種の分布を示す。資料から明らかなようにコンクリート中に生成する放射性核種は共通しており、また放射性核種組成比は比較的一定である。従ってクリアランスレベルの検認においては原子炉解体廃棄物と同様に、あらかじめ対象物中のCo-60のような測定主要放射性核種と他の放射性核種の存在割合(放射性核種組成比)を設定したうえで、対象物の主要放射性核種を測定し、この放射性核種組成比を用いることによりその他の放射性核種の濃度を評価する方法を適用することは可能である。

このように加速器放射化物は、含まれる放射性核種の種類、廃棄物の種類とも原子炉廃棄物と共通しており、原子炉廃棄物にかかるクリアランスレベル及び検認方法の適用が可能であると考えられる。廃棄物中の放射能濃度の測定方法については、表面線量率測定を用いれば、例えば表面から10cmにおける線量率が $0.1\mu\text{Sv/h}$ 以下であれば全ての核種について十分クリアランスレベルを満足しているといえるので、安全サイドにこの値を採用することも考えられる。

**表面から 10 cm での線量率 1 μ Sv/h の放射化物の放射能濃度と
免除レベル及びクリアランスレベル**

2004 11/17 高エネ研

表 1 に放射化物中の代表核種と B S S 免除レベル、クリアランスレベル*を示す。

表 1 放射化物中の代表核種と B S S 免除レベル

核種	B S S 数量 MBq	B S S 濃度 Bq/g	原子力安全委員会 報告書* Bq/g
Eu-152	1	10	0.4
Co-60	0.1	10	0.4
Co-56	0.1	10	
Fe-55	1	10,000	3000
Mn-54	1	10	1
Na-22	1	10	
Be-7	10	1,000	
H-3	1000	1,000,000	200

*：原子力安全委員会「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」
(平成 11 年 3 月)による。

放射化物中に代表的な核種が一様に分布している時、表面から 10 cm で 1cm 線量当量率が 1 μ Sv/h になる場合の放射能の数量と濃度を EGS 4 で計算した。

表面から 10 cm で 1cm 線量当量率を 1 μ Sv/h にしたまま、放射化物の形状を大きくしていくと、放射能の総量は大きくなるが、一方、放射能の濃度は減少する。アルミ、鉄、コンクリート中に一様に放射能が分布する時の、線量率と放射能濃度の関係を計算した。密度は各々、2.70, 7.86, 2.30 g/cm³ とした。

図1に鉄表面から 10 cm で 1cm 線量当量が $1 \mu\text{Sv/h}$ になる場合の、鉄中の放射能と濃度を示す。鉄の厚さを 5 cm に固定して、大きさを 10x10 cm から 40x40 cm まで変えた。試料がこの大きさより大きく・厚くなれば、放射能総量は増え、濃度は減る。逆にこの大きさより小さく・薄くなれば、放射能総量は減り、濃度は増える。この図中で、放射能と濃度の両方が同時に免除レベルを超える場合は無い。厚さが 5 cm, 大きさが 40x40 cm の場合、Co-60, Mn-54 の濃度は、クリアランスレベルの 10 倍を超えない。従って表面から 10 cm で $0.1 \mu\text{Sv/h}$ になる場合は、厚さが 5 cm, 大きさが 40x40 cm より厚く大きい鉄試料中の Co-60, Mn-54 の濃度は、クリアランスレベルを超えない。

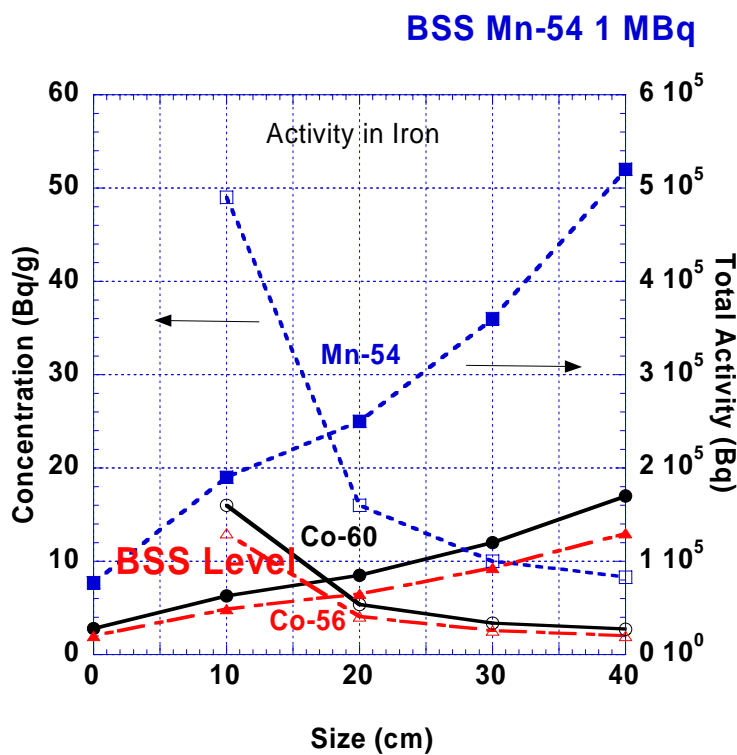


図1 鉄表面から 10 cm で 1cm 線量当量が $1 \mu\text{Sv/h}$ になる場合の、放射能 (右軸) と濃度 (左軸)。鉄の厚さを 5 cm に固定して、大きさを 10x10 cm から 40x40 cm まで変えた場合 (大きさ 0 は、点線源の場合)。免除レベルは 0.1 MBq , 10 Bq/g で、図中に BSS Level と赤字で示す (但し Mn-54 の放射能は 1 MBq)。

図2にコンクリート表面から 10 cm で 1 $\mu\text{Sv/h}$ になる場合の、放射能と濃度を示す。厚さを 5 cm に固定して、大きさを 10x10 cm から 40x40 cm まで変えた。Na-22, Eu-152 の放射能免除レベルは、1 MBq でこの図中の値より大きい。Co-60 は 0.1 MBq であり 30x30 cm より大きい場合に越えるが、放射能が同時に免除レベルを越える場合は無い。しかし図中の Eu-152, Co-60 の濃度は、すべてクリアランスレベルの 10 倍を超えている。

図の場合よりも厚い試料の場合には 10 倍以内に納まる。表面から 10 cm で 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ になる場合は、厚さが 10 cm, 大きさが 50x50 cm より厚く大きいコンクリート試料中の Co-60, Eu-152 の濃度は、クリアランスレベルを超えない。

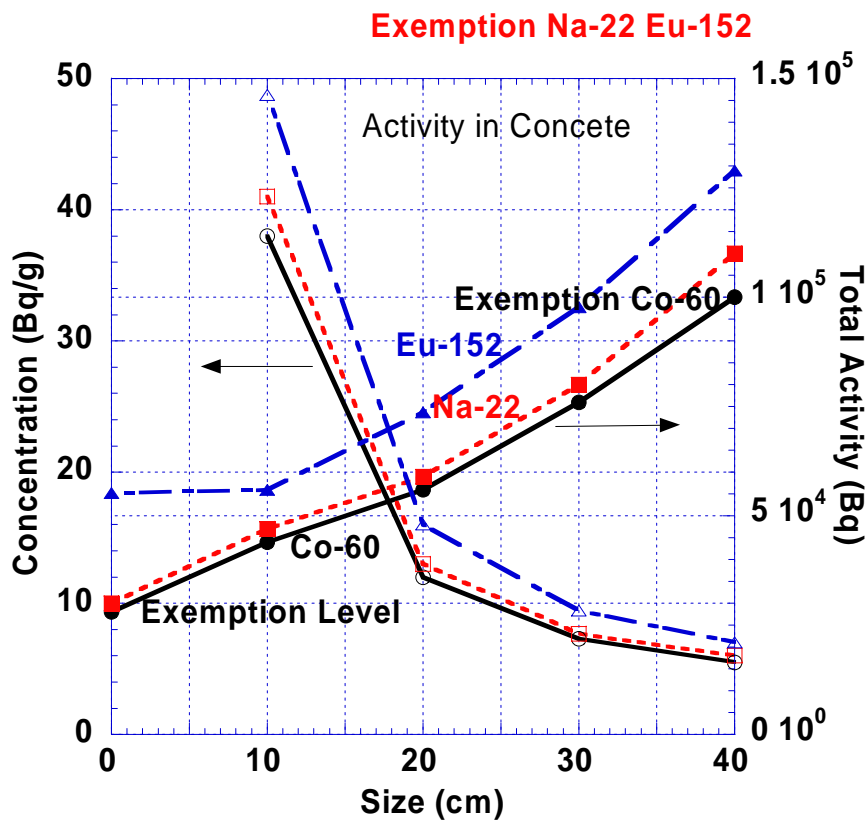


図2 コンクリート表面から 10 cm で 1 $\mu\text{Sv/h}$ になる場合の、放射能 (右軸) と濃度 (左軸)、厚さを 5 cm に固定して、大きさを 10x10 cm から 40x40 cm まで変えた場合 (大きさ 0 は、点線源の場合)。免除レベルは 0.1 MBq, 10 Bq/g で、図中に Exemption Level と示す (但し Eu-152, Na-22 の放射能は 1 MBq)。

厚さ 5 cm で 30x30 cm の大きさの試料の場合、代表的な核種の場合の値を表 2 に示す。

表 2 厚さ 5 cm で 30x30 cm の大きさの放射化物表面から 10 cm で 1cm 線量当量が 1 μ Sv/h になる場合の、放射化物中の放射能の総量と濃度。免除レベルを越える部分は赤字で示す。

放射化物の材料	核種	放射能総量 MBq	放射能濃度 Bq/g
アルミ	Be-7	3.2	270
	Na-22	0.082	6.7
	Mn-54	0.21	18
鉄	Mn-54	0.36	10
	Co-56	0.093	2.6
	Co-60	0.12	3.4
コンクリート	Na-22	0.080	7.7
	Co-60	0.076	7.3
	Eu-152	0.10	9.6

総量と濃度の両方が免除レベルを越える場合は少ないが、大きさ約 25x25cm 厚さ 20 cm 程度の鉄中に Mn-54 が均一に分布する場合などは、濃度 12 Bq/g, 総量 1.1 MBq となり、免除レベルを 10-20 % 越える。

大きい放射化物が均一に放射化している場合は少なく、線量を測る場合はより強く放射化している面を測るため、実際には免除レベルを越える場合は少ないと考えられる。

また、免除レベル及びクリアランスレベルと比較する場合、このような形状ばかりでなく、含まれる放射性核種の組成比等を考慮して評価する必要がある。

参考 Syuichi Ban, Hajime Nakamura and Hideo Hirayama :Estimation of Amount of Residual Radioactivity in High-energy Electron Accelerator Component by Measuring the Gamma-ray Dose Rate, J. Nucl. Sci. Tech., Suppl. 4, 168-171 (2004)