

CL

放射化物に係る測定・判断方法

KEK JAEA

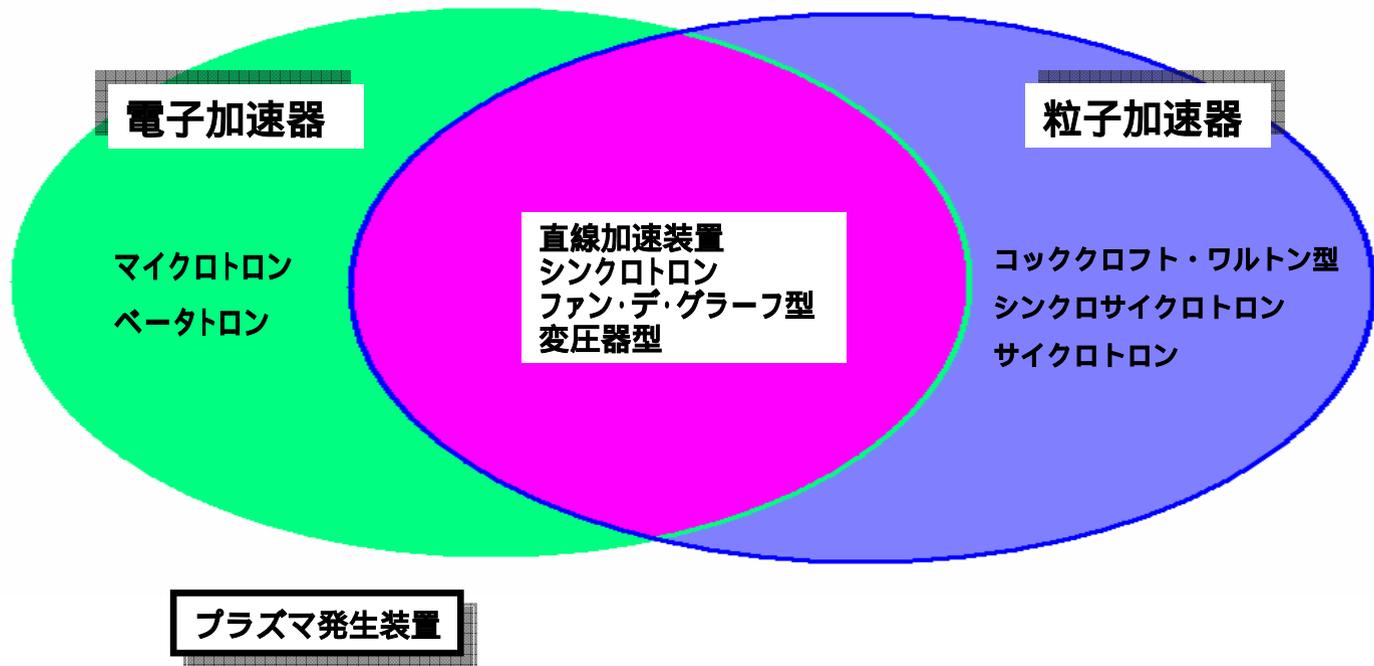
2005年11月21日



放射線発生装置の法令上の分類について

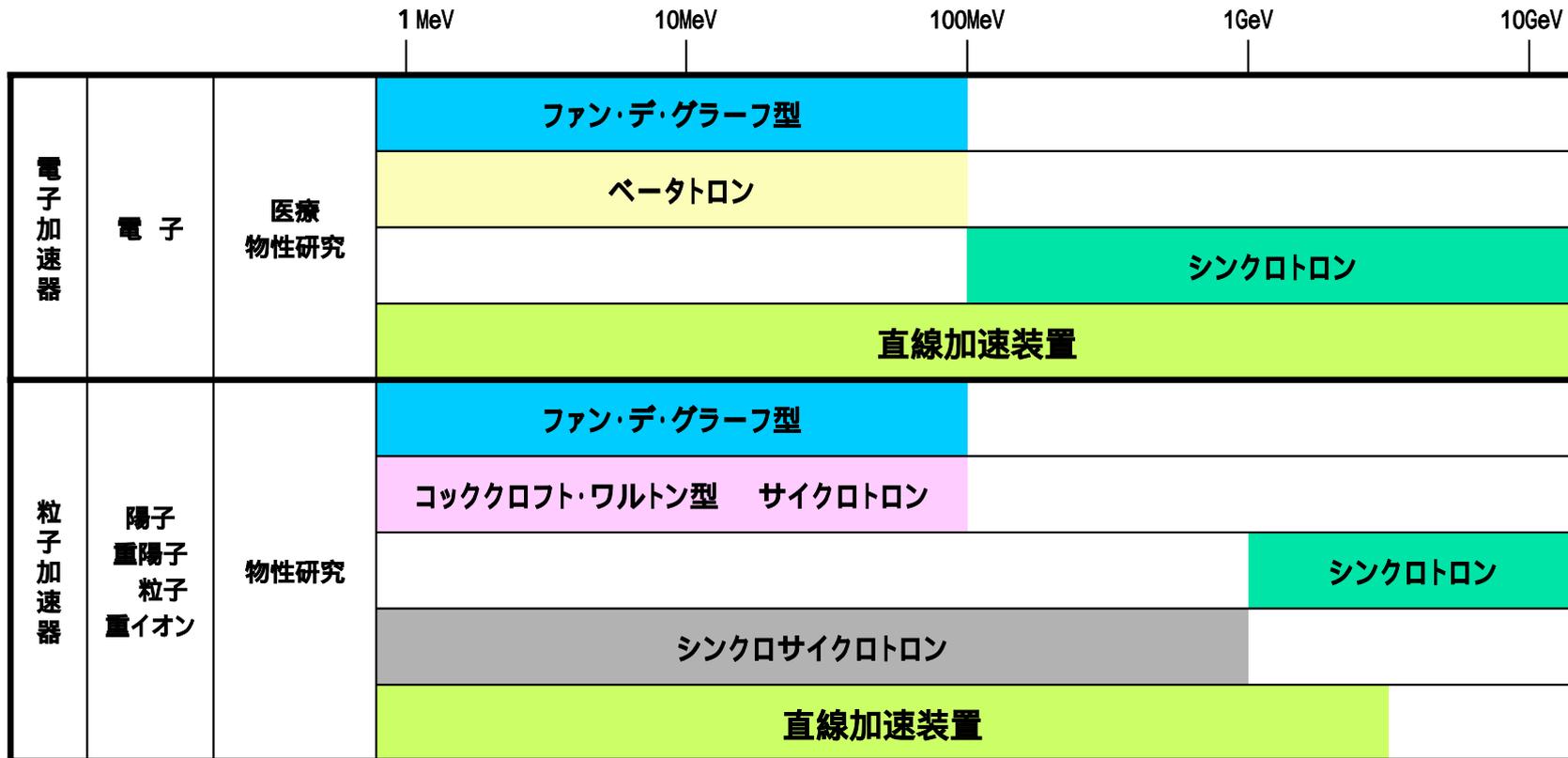
放射線発生装置

荷電粒子を加速することにより放射線が発生させる装置で、表面から10cm離れた位置の最大線量当量率が0.6 μ Sv/h以上の装置



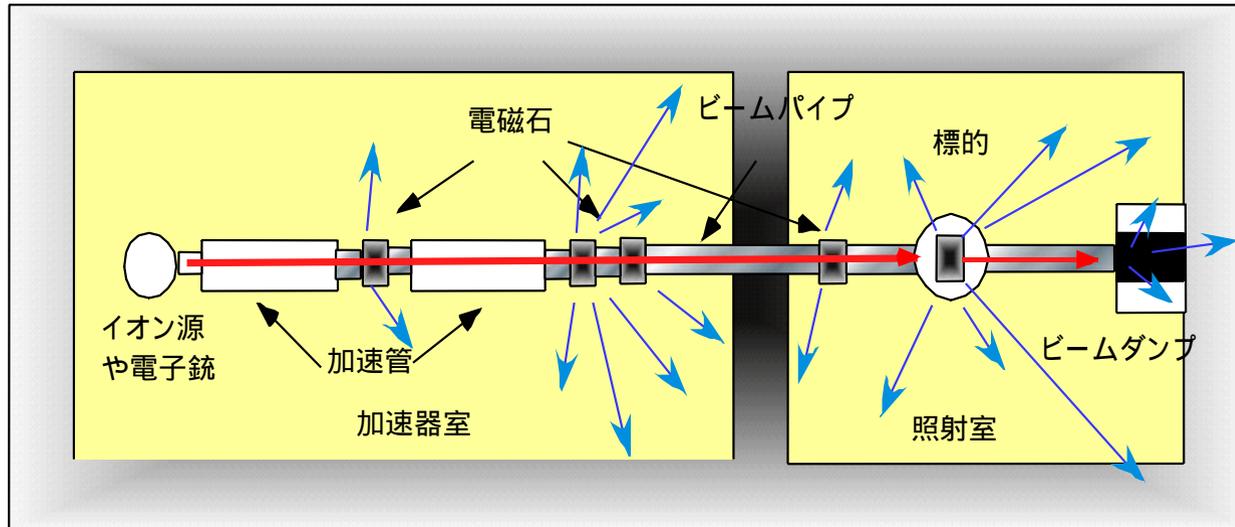


加速粒子等に着目した場合の分類の概要



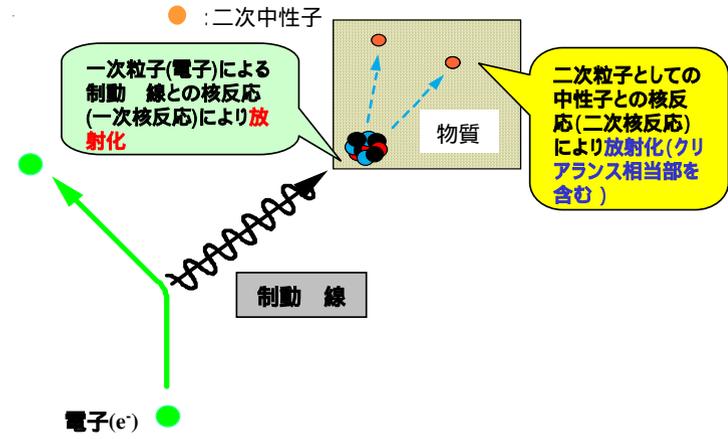
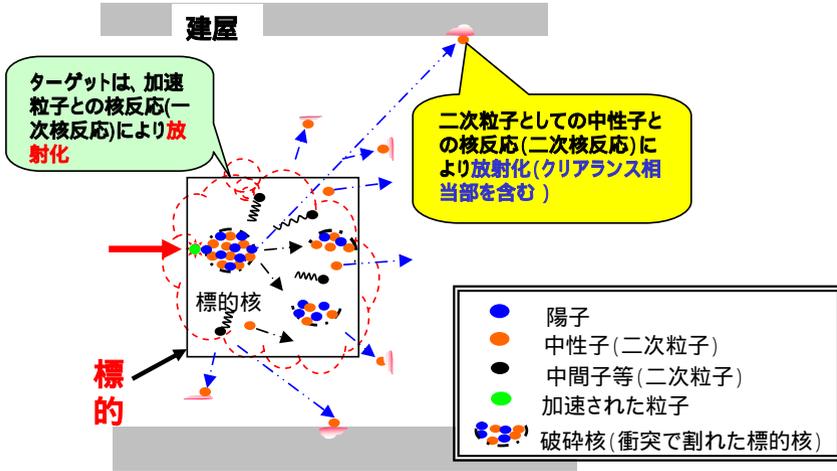
注: 現有装置での概略分類

加速器の概念図



加速粒子() 二次粒子()

加速粒子がビームパイプ、標的、電磁石、加速器本体、ビームダンプに衝突し核反応が生じる。同時に、中性子等の2次粒子が周辺に放出され、周辺機器、建屋等に2次的な核反応が生じる。



粒子加速器による反応概念図

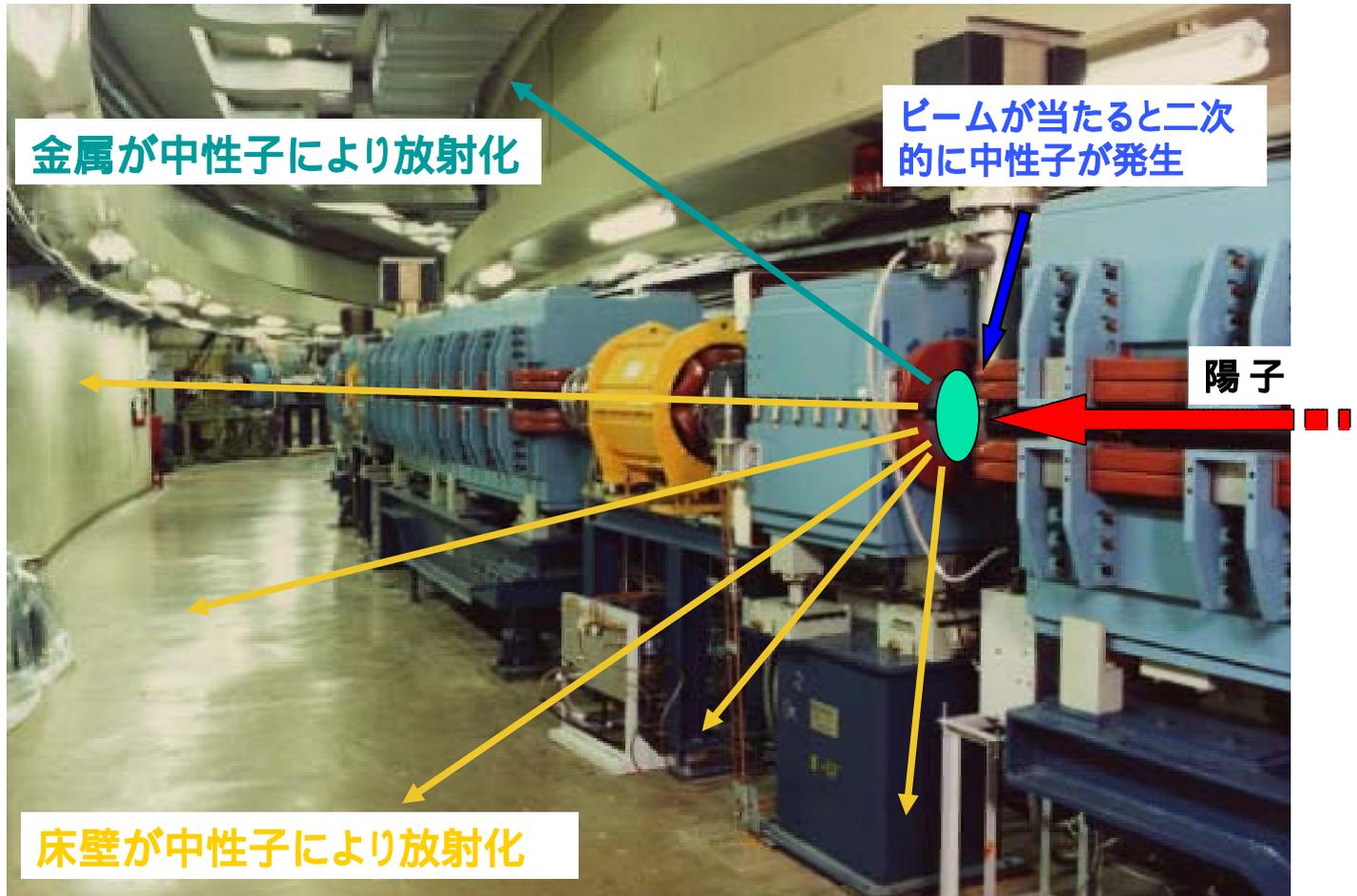
電子加速器による反応概念図

粒子加速器	一次粒子による主な反応		電子加速器	一次粒子(制動線)による主な反応	
	1MeV 以下	; (d, \underline{n})		数10MeV程度	; (, \underline{n}), (, pn), (, $2\underline{n}$)
10MeV 程度	; (p, \underline{n})	数100MeV程度	; (, x \underline{n} yp)		
数10MeV程度	; (p, $2\underline{n}$), (, \underline{n})				
数100MeV程度	; (p, x \underline{n} yp)				

二次粒子による主な反応	
	; (\underline{n} ,), (\underline{n} ,)



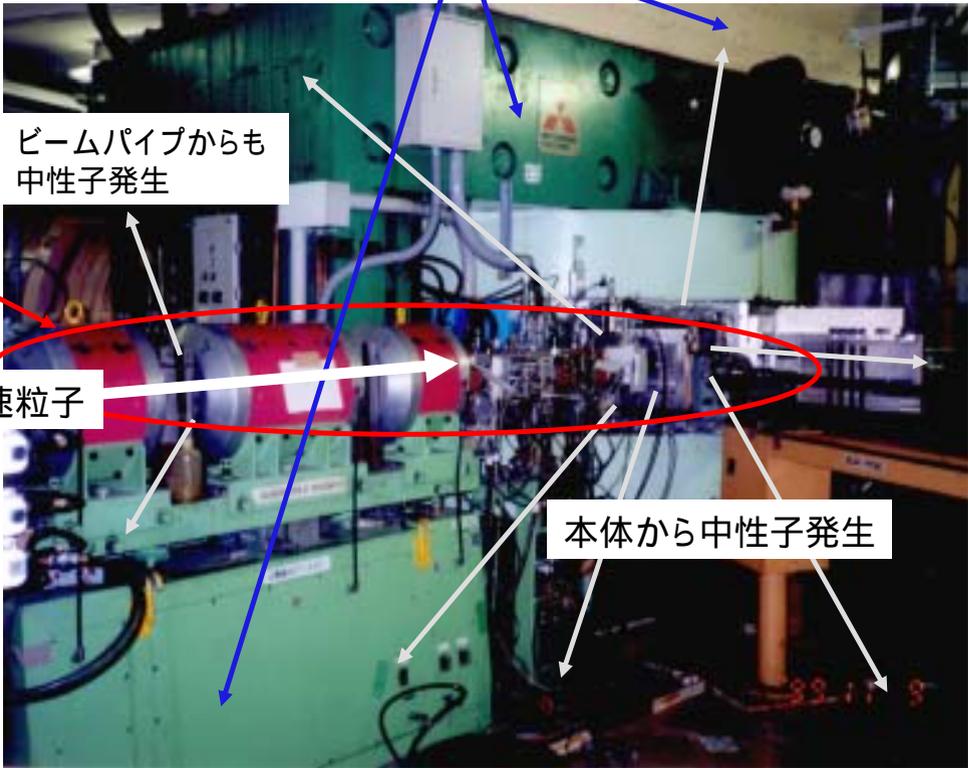
放射線発生装置の使用施設における放射化物の発生について (1)



サイクロトロン施設の例

二次的に発生する中性子は、周辺部(床、壁、架台など)を放射化

加速粒子は、加速器内部、ビームパイプ内部及び標的を放射化し、中性子を発生させる



実験室の例

高エネルギー加速器
の標的周辺



前方向に高エネルギー中性子や制動放射線が発生し、ビームパイプ、ビームダンプが放射化

ビームダンプ
(遮蔽壁内)

標的

等方的に低エネルギー中性子の発生し、周辺機器類が放射化

加速粒子

□ 加速粒子の種類

電子・陽子・重陽子・ 粒子・重イオン等

- ターゲット等との一次核反応の機構は加速粒子の種類により異なることから、一次核反応で生成する核種の種類は加速粒子の種類に大きく依存する。
- ターゲット等から発生する二次粒子は、加速粒子の種類によらず中性子が主体的であり、エネルギーの高いものから低いものまでである。

□ 加速エネルギー・出力・運転時間

- 放射線発生装置の加速エネルギー、出力及び運転時間の増大により一次核反応も増大し、その結果、二次粒子の中性子発生量及び中性子との二次核反応により生成される核種の放射能も増大する。

総中性子発生量

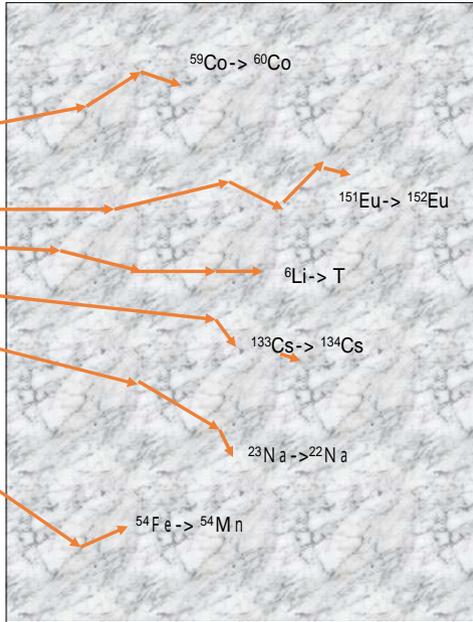
= 中性子発生割合(1/MeV/ mA) × 加速エネルギー(MeV) × 電流値(mA) × 運転時間(h)

□ 材料の種類及び元素組成(金属の種類、コンクリート等)

- 二次核反応により生成する核種の種類は、放射線発生装置、構成機器及び建家コンクリート等の材料の元素組成により異なる。

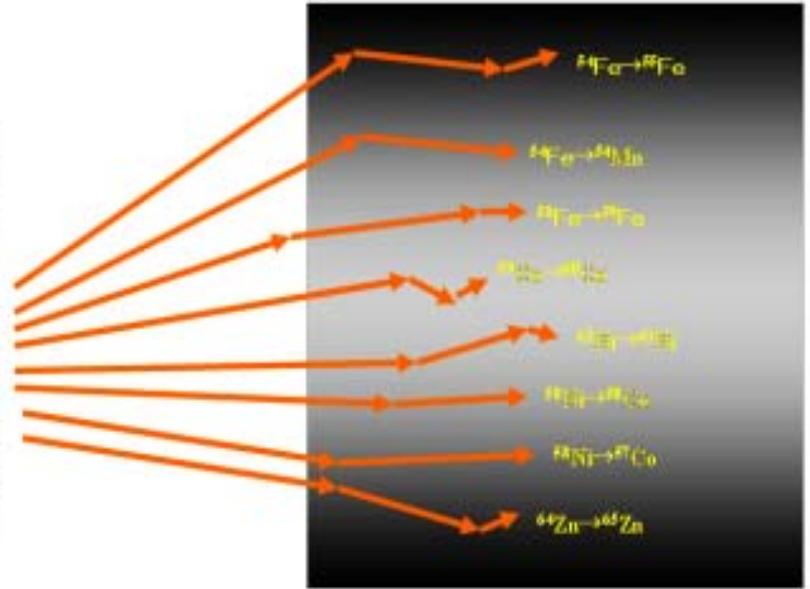
コンクリート

二次粒子として発生した中性子



金属(SUS)

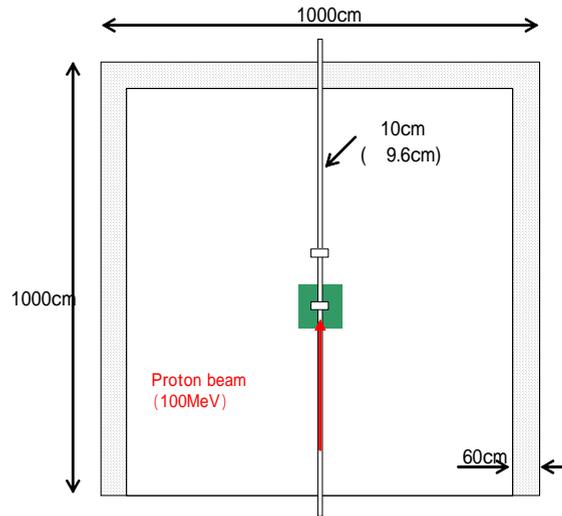
二次粒子として発生した中性子



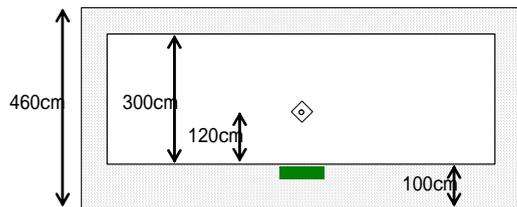
二次核反応により生成する放射化物中の核種組成

【計算モデル及び計算コード】

【平面図】



【立面図】

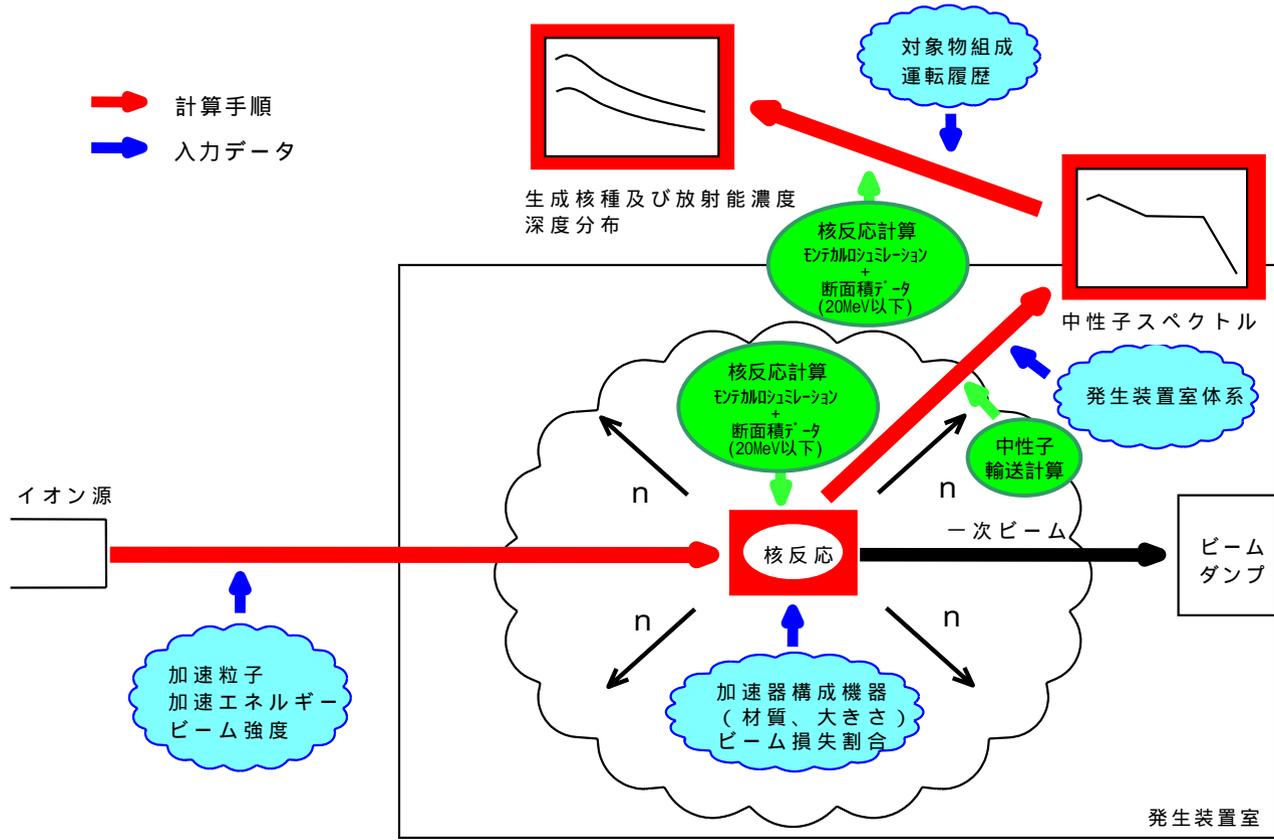


: 評価位置(100x100x30cm)

	粒子加速器	電子加速器
計算モデル		
加速エネルギー	10MeV 30MeV 100MeV 400MeV * 12GeV *	
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	Fe	Ta
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	EGS5 MCNPX
放射化	DCHAIN-SP2001	DCHAIN-SP2001

*: 粒子加速器のみ

モンテカルロ計算コード(PHITS)による放射能濃度計算の概略





二次核反応により生成する放射化物中の核種組成 【電子加速器】

放射化材料 ^{*1}		ステンレス鋼			放射化材料 ^{*1}		炭素鋼			放射化材料 ^{*1}		コンクリート		
一次粒子のエネルギー ^{*2}		10MeV	30MeV	100MeV	一次粒子のエネルギー ^{*2}		10MeV	30MeV	100MeV	一次粒子のエネルギー ^{*2}		10MeV	30MeV	100MeV
⁶⁰ Coの放射能 (Bq)		4.1E-02	3.4E+01	1.7E+02	⁶⁰ Coの放射能 (Bq)		1.6E-02	1.4E+01	6.8E+01	⁶⁰ Coの放射能 (Bq)		2.5E-04	2.1E-01	1.1E+00
主要核種の ⁶⁰ Coに対する比 ^{*3}	⁵⁴ Mn	3.1E-04	1.8E-01	2.0E-01	主要核種の ⁶⁰ Coに対する比 ^{*3}	⁵⁴ Mn	1.1E-03	5.4E-01	6.1E-01	主要核種の ⁶⁰ Coに対する比 ^{*3}	³ H	6.6E+00	6.6E+00	6.7E+00
	⁵⁵ Fe	2.1E+00	2.2E+00	2.2E+00		⁵⁵ Fe	7.7E+00	7.8E+00	8.0E+00		²² Na	- ^{*4}	2.7E-02	5.1E-02
	⁵⁹ Fe	1.1E-01	1.1E-01	1.1E-01		⁵⁹ Fe	4.0E-01	4.1E-01	4.0E-01		⁴⁵ Ca	2.1E+00	2.1E+00	2.1E+00
	⁵⁸ Co	2.7E-03	1.7E-01	2.1E-01		⁵⁸ Co	4.5E-04	2.8E-02	3.5E-02		⁴⁶ Sc	6.1E-01	6.2E-01	6.2E-01
	⁶⁰ Co	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00		⁶⁰ Co	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00		⁵⁵ Fe	2.3E+01	2.3E+01	2.4E+01
	⁶³ Ni	4.7E-02	4.6E-02	4.7E-02		⁶³ Ni	7.7E-03	7.8E-03	7.8E-03		⁶⁰ Co	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
	⁶⁵ Zn	1.7E-02	1.8E-02	1.8E-02		⁶⁵ Zn	9.3E-03	9.7E-03	9.6E-03		¹⁵² Eu	1.7E-01	1.7E-01	1.7E-01

*1：元素組成は、(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主に使用

*2：400MeV及び12GeVについては、光核反応に大きく寄与する制動線のエネルギー範囲がほぼ限定(10~30MeV)されることから、30~100MeVの結果を外挿して主要核種の⁶⁰Coに対する比を評価した結果、30MeV及び100MeVと大きな相違はみとめられなかった。

*3：半減期30日未満及び希ガスを除いた主要核種

*4：1.0E-07未満

二次核反応により生成する放射化物中の核種組成 【粒子加速器】

放射化材料 ^{*1}		コンクリート				
一次粒子(陽子)のエネルギー		10MeV	30MeV	100MeV	400MeV	12GeV ^{*2}
⁶⁰ Coの放射能 (Bq)		1.3E-03	3.0E-02	3.4E-01	3.3E+00	1.9E+02
主要核種 の ⁶⁰ Co に対する比 ^{*3}	³ H	1.4E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.8E+01
	²² Na	- ^{*4}	9.5E-01	1.1E+00	9.2E-01	7.8E-01
	⁴⁵ Ca	2.1E+01	2.1E+00	2.1E+01	2.1E+01	2.1E+01
	⁴⁶ Sc	9.0E-01	1.1E+00	1.1E+00	1.0E+00	1.0E+00
	⁵⁵ Fe	1.8E+01	3.8E+01	4.0E+01	3.6E+01	3.3E+01
	⁶⁰ Co	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
	¹⁵² Eu	5.7E-01	5.8E-01	5.8E-01	5.8E-01	5.9E-01

*1: 元素組成は、(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主に使用

*2: 12GeVの場合は、一次粒子(陽子)の飛程が400MeV以下と大きく異なるため、計算体系においては電磁石の大きさを大きくして行った

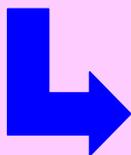
*3: 半減期30日未満及び希ガスを除いた主要核種

*4: 1.0E-02未満

- 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

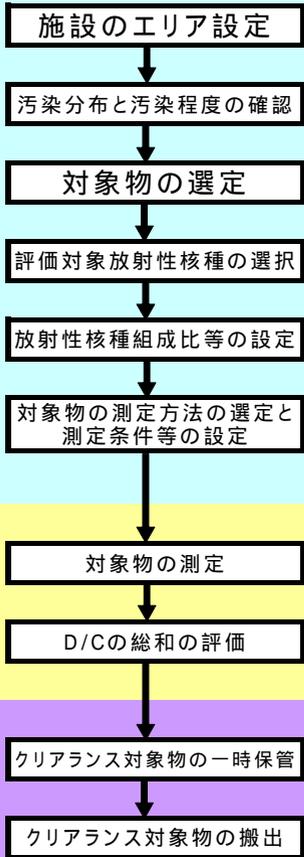
*: 加速エネルギー、出力及び運転時間

原子炉施設との違いは、二次的に発生した中性子による核反応が熱中性子から速中性子の領域まで幅が広い。また、一次粒子による放射化が極わずかであるが発生する。



- ・二次中性子の発生量及びエネルギーが把握できれば、原子炉施設と同様の方法で評価することができる
- ・運転条件によっては、一次粒子による放射化の評価が必要となる場合がある

原子炉施設における検認手順



事前評価

測定・判断

保管・管理

原子炉施設でのポイント	放射線発生装置での留意点
<p>【放射化計算と確認測定を組み合わせた方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 汎用性を有する放射化計算コードの使用 ➢ 放射化計算パラメータの設定項目 <ul style="list-style-type: none"> ・中性子束密度分布 計算、計算と測定の併用又は測定による方法にて設定 ・元素組成 分析値又は規格、文献等により設定 ・照射履歴 原子炉の照射履歴から設定 ・放射化断面積 中性子エネルギー分布に対応するよう適切に使用 ➢ 対象物の確認測定結果により、放射化計算結果が安全側であることを確認 	<p>【放射化計算と評価のための測定を組み合わせた方法】</p> <p>十分検証された計算コードの使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 放射化計算パラメータの設定項目 放射化計算に用いるためのデータを収集することが重要 <ul style="list-style-type: none"> ・中性子に係るデータ 発生場所 フルエンス率 エネルギー その他 ・元素組成 分析値又は規格、文献等により設定 ・照射履歴 放射線発生装置の運転履歴から設定 ・放射化断面積 中性子エネルギーの領域が広いことに十分に留意することが重要 運転条件*が一定でないことから、実測定が重要 <ul style="list-style-type: none"> ・金箔等による中性子測定 ・代表サンプルの放射化学分析

*: 加速エネルギー、出力及び運転時間