

想定する。

(4) 皮膚汚染

皮膚汚染は、以下のシナリオで表される。

M-SKIN：皮膚の汚染は、粉塵の多い環境下での作業場を考える。手と前腕の両方が作業中に汚染され、身体の残りの部分が服で保護されていると想定する。

B) 金属でのシナリオとパラメータ

(1) 外部被ばくのシナリオ

外部被ばくシナリオでは3種類のシナリオで、以下のパラメータが使用された。

M-EXT-A：埋立地の作業者は、解放された物質を処分する埋立地で全作業時間（1800h/y）労働していると想定する。埋立地の最大収容量が年間で100,000Mgが適量なので、解放された物質の10,000Mg/yは、年間総収容量の約10%に当たる。年間収容量が少ない埋立地では、廃棄物が通常20-50Mg/hの割合で蓄積されるので、金属に従事する時間が比較的少ない。シナリオ開始日の1日前の減衰（クリアランスする施設と埋立地の輸送時間）が想定されるが、埋立地故に、シナリオ実施間の減衰時間はなく、作業者が扱う廃棄物は、常に最近の解放された物質を含むと想定する。均一に広がった線源は、 $2\text{g}/\text{cm}^3$ の密度に圧縮されると想定して算出する。線量は、地上1mの高さの被ばくジオメトリに対して計算する。

M-EXT-B：解放された金属のみを輸送するトラック運転手の被ばく時間は、1台当たりの積載量を20Mg〜とし、年間の総積載量10,000Mg、一回当たりのトラック運転時間を2時間とすると年間で900時間となる。輸送の間、非汚染物質との混合は想定しない。輸送する物質の平均密度が $2\text{g}/\text{cm}^3$ である $5\times 2\times 1\text{m}^3$ 積載量のトラックと追加の遮へい無しで積載物の端から運転手までの距離を1mとする被ばくジオメトリである。常に最近に解放された物質が輸送されるので、シナリオ前と実施期間中は減衰を考慮しない。このシナリオは、更にその他の多くの被ばくジオメトリを網羅するものである。

M-EXT-C：解放された物質が建設材に使用され、建物で金属の2%をそれが占める家で居住者が年間7000時間過ごす想定する。被ばくジオメトリは、 $3\times 4\text{m}^2$ で床からの高さが2.5m、壁と天井は20cmの厚さの部屋が想定される。線量は、部屋の中央で高さ1mのジオメトリで算出される。窓や家具による遮へいと床（天井を含むため2倍計算される）と2つの壁（ $4\times 2.5\text{m}^2$ ）からの影響が加算される。シナリオ開始100日前とシナリオ実施中の1年間の減衰を想定する。

表 1. 金属 外部被ばくのシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ M-EXT-A	シナリオ M-EXT-B	シナリオ M-EXT-C
被ばく時間 t_e	h/y	1800	900	7000
希釈係数 f_d		0.1	1	0.02
シナリオ前の減衰時間 t_1	d	1	0	100
シナリオ実施中の減衰時間 t_2	d	0	0	365
物質の密度	g/cm ³	2	2	7.6
ジオメトリ		地上 1m の半無限線源	5×2×1m ³ の積載量から 1m、遮へい無し	床、天井、3×4m ² 、高さ 2.5m で 1cm の壁の厚さ
実効線量係数 h_{ext}	(μ Sv/h) / (Bq/g)	放射性核種とジオメトリに依存する。		

(2) 吸入シナリオのパラメータ

吸入シナリオでは、以下のパラメータが使用された。

M-INH-A: この作業場でのシナリオでは、1mg/m³ の空気中当たりの粉塵濃度と 1.2m³/h の呼吸率 (中程度の作業として) が想定される。線量係数は、5 μ m AMAD (Activity Median Aerodynamic Diameter) を BSS から引用した。粉塵は、常に最近に、解放された物質から発生するので、減衰は実施前と実施中には想定されない。希釈と濃縮は想定されない。

M-INH-B: このシナリオでは、年間 (8,760h/y) で、解放された金属 (例: 埋立地またはスクラップ置き場付近の粉塵) から生じるうちの 10% の粉塵を乳児が吸入すると想定する。空気中の粉塵濃度は 0.1mg/m³ で、呼吸率は 0.12m³/h とする。規定値肺保持率のクラスで年齢グループ 0-1y の線量係数は、BSS から引用される。1日の減衰がシナリオ前に想定され、シナリオの実施前と実施中は、粉塵が常に、最近に解放された物質から発生するので、減衰は想定されない。

表 2. 金属 吸入シナリオのパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ M-INH-A	シナリオ M-INH-B
被ばく時間 t_e	h/y	1800	8760
希釈係数 f_d		1	0.1
濃縮係数 f_c		1	1
呼吸率 V における粉塵濃度	m ³ /h	1.2	0.12
空気 C_{dust}	g/m ³	1.00E-03	1.00E-04
シナリオ t_1 前の減衰期間	d	0	1 注 0として計算
シナリオ t_2 中の減衰期間	d	0	0
実効線量係数 h_{inh}	μ Sv/Bq	5 μ m、作業者	1 μ m、0-1y、

(3) 経口摂取シナリオのパラメータ

経口摂取シナリオでは、以下のパラメータが使用された。

M-ING-A：作業者が、20g/y の解放された物質を不注意に経口摂取すると想定する。作業者は最近解放された物質をいつも取り扱うので、シナリオ前と実施中の減衰は想定されない。

M-ING-B：経口摂取量は、希釈または濃縮過程なしに 100g/y であると仮定された。子供が遊び又は留まる場所での物質は交換できないので、シナリオ開始日 1 日目の減衰とシナリオ期間中の 1 年間の減衰が想定される。経口摂取線量係数は、年齢グループ 1-2y を BSS から引用する。

表 3 金属経口摂取シナリオのパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ M-ING-A	シナリオ M-ING-B
年間経口摂取量 q	g/y	20	100
希釈係数 f_d		1	1
濃縮係数 f_c		1	1
シナリオ前の減衰期間 t_1	d	0	1
シナリオ中の減衰期間 t_2	d	0	365
実効線量係数 h_{inh}	$\mu\text{Sv/Bq}$	作業者	1-2y

(4) 皮膚汚染シナリオのパラメータ

皮膚汚染シナリオでは、以下のパラメータが使用された。

M-SKIN：全労働時間（1800h/y）に前腕と手の両方は $100\mu\text{m}$ （0.01cm）の厚みの粉塵の層で覆われると想定する。粉塵は、解放された物質と同じ放射能を持つと想定される。皮膚上の物質は常に新鮮なので、シナリオ実施前と実施中の減衰は想定しない。皮膚上の粉塵の密度は、 1.5g/cm^3 に想定された。実効線量を算出するために欧州委員会の技術文書である RP-122 からの線量係数に、皮膚荷重係数 0.01 を掛けること。

表 4. 金属 皮膚汚染シナリオのシナリオパラメータ

パラメータ	単位	M-SKIN
被ばく時間 t_e	h/y	1800
皮膚表面上の粉塵の厚み L_{dust}	cm	0.01
粉塵の密度 ρ	g/cm^3	1.5
希釈係数 f_d		1
濃縮係数 f_c		1
皮膚荷重係数 w_{skin}		0.01
体表面率 f_{skin}		0.1 (eq. ca. 2000cm^2)

シナリオ前の減衰期間 t1	d	0
シナリオ実施期間の減衰期間 t2	d	0
実効線量係数 hskin	(μ Sv/h) / (Bq/cm ²)	放射性核種に依存する

2.2.2 コンクリート

原子力施設や他の規制されている行為により発生する、解放された割りぐりの再利用やコンクリートの処分を考える。

被ばく経路は、建材の再利用と処分に関わる； γ 放出体の外部被ばく、放射能を含む粉塵の吸入、経口摂取と皮膚への β 線照射である。

A) シナリオ

(1) 外部被ばく

外部被ばくは、以下の3種類のシナリオで表される。

R-EXT-A：このシナリオは、道路工事に携わる作業員、市場の商人、駐車場の作業員、埋立地の労働者のような、個人が長時間にわたり再利用建材で覆われた区域で過ごす人を想定する。

R-EXT-B：このシナリオは、中間サイズの建材の山積み付近の作業員の被ばくと輸送状況について扱う。トラックの積載量は、被ばくジオメトリとして選択される。

R-EXT-C：このシナリオは、解放された建物の隔壁が、建築材料の新たな骨材として使用された家に住む居住者について扱う。非汚染物質と解放された建物の割りぐりとの混合を想定する。

(2) 粉塵の吸入

吸入被ばくは、以下の2種類のシナリオで表される。

R-INH-A：作業員による粉塵の吸入。汚染物質のみから発生すると想定する。

R-INH-B：一般公衆による粉塵の吸入。年間で0-1歳の乳児が粉塵を吸入し続けると想定する。

(3) 物質の直接経口摂取

経口摂取被ばくは、以下の2種類のシナリオで表される。

R-ING-A：作業員による経口摂取。

R-ING-B：一般公衆による経口摂取。希釈無しに解放した物質を使用して覆われているような区域で遊ぶ小さな子供（1-2歳）を想定する。

(4) 皮膚汚染

皮膚汚染は、以下のシナリオで表される。

R-SKIN：作業員の汚染。このシナリオは、建物の割りぐりを再利用中の粉砕または分別する場所あるいは作業員が廃棄物質に接触するような埋立地の作業場を示す。身体他の部分が服で防護されているが、両手と両前腕

が作業中に汚染されと想定する。

B) コンクリートでのシナリオとパラメータ

(1) 外部被ばくのシナリオ

外部被ばくでの3種類のシナリオは、以下のパラメータが使用された。

R-EXT-A: 埋立地での作業者は、解放された建物から発生した割ぐりを処分する埋め立地上で全労働時間を費やすと想定する。埋立地の最大収容可能量が年間で100,000Mgとする。10,000Mg/yの解放された建物の割ぐりが年間総収容可能量の10%に当たる。年間収容可能量が小さい埋立地では、廃棄物が通常20~50Mg/hで持ち込まれるので、割ぐりを扱うのに作業する時間が比較的少ない。シナリオ実施1日前（物質がクリアランス施設から埋立地に持ち込まれる時間）の減衰が想定されるが、埋立地については作業者が取り扱う廃棄物が常に最近に解放された物質を含むので、シナリオ実施中に減衰は考慮されない。廃棄物中に均一に広がった線源に2g/cm³の密度が安全側側面にたつて、地上1mで被ばくジオメトリに対して線量が算出される。

R-EXT-B: 解放された建物の割ぐりのみを輸送するトラック運転手の被ばく時間は、トラック1台当たり20Mgの積載量と想定され、運転時間2時間は（建物の割ぐりは、短距離輸送である）年間で900時間になる。輸送中は、非汚染物質との混合は想定しない。解放された物質の平均密度が2g/m³で、5×2×1m³のトラックの積載量、そして被ばくジオメトリは追加の遮へい無しに積載物の端から運転手まで距離1mとして考察される。線量は前後ジオメトリで算出される。常に、最近に解放された物質が輸送されるので、シナリオ前と実施中に減衰は考慮されない。

R-EXT-C: 解放された建物の割ぐりが建築材として再使用され、居住者の被ばく時間は7,000h/y、解放された物質が全建築の量の2%に当たると想定する。被ばくジオメトリは、3×4m²の部屋と床から天井までの高さが2.5m、床と天井20cmの厚みを選択される。線量が1mの高さで部屋の中央というジオメトリに対して算出される。家具などで遮へいされる窓を説明するのに、床（天井までの距離の2倍を含む）と2つの壁（4×2.5m²）の影響を足す。シナリオ開始100日前の減衰とシナリオ実施中、1年間の減衰が想定される。

表 5. コンクリート 外部被ばくシナリオのシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ R-EXT-A	シナリオ R-EXT-B	シナリオ R-EXT-C
被ばく時間 t_e	h/y	1800	900	7000
希釈係数 f_d		0.1	1	0.02

シナリオ前の減衰期間 t1	d	1	0	100
シナリオ実施期間の減衰期間 t2	d	0	0	365
物質の密度	g/cm ³	2	2	2
ジオメトリ		地上 1m、半 無限量	積載量 5×2 ×1m ³ から 1m、 遮へい無し	床、天井、2つ の壁、3×4m ² 、 高さ 2.5m、20cm の壁の厚さ
実効線量係数 hext	(μ Sv/h)/(Bq/g)	放射性核種とジオメトリによる		

(2) 吸入シナリオのパラメータ

2種類の吸入被ばくシナリオでは、以下のパラメータが使用された。

R-INH-A: この作業場所でのシナリオは、1mg/m³の空気中の粉塵濃度と 1.2m³/hの呼吸率（中程度の作業を考慮）が想定される。線量係数は 5 μ mAMAD値が BSS³⁾から引用された。シナリオ開始前と実施中は、粉塵が解放された物質からのみ発生するので減衰は想定されない、また希釈と濃縮も想定されない。従ってこのシナリオは希釈と濃縮が、解放された物質の処理中の別な段階で起こるその他のシナリオを含む。

R-INH-B: このシナリオでは、乳児が 1年間（8,760時間）に解放された建物の割ぐり（埋立地付近の粉塵）から発生する粉塵の 10%を吸入すると想定する。空気中の粉塵濃度は 0.1mg/m³で、呼吸率は 0.12m³/hに設定される。線量係数は、規定値肺保持クラスと年齢 0-1歳のグループが BSS から引用される。シナリオ実施前と実施中は、粉塵が常に最近に解放された物質のみから発生するので減衰は想定しない。

表 6. コンクリート 吸入シナリオのシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ R-INH-A	シナリオ R-INH-B
被ばく時間 te	h/y	1800	8760
希釈係数 fd		1	0.1
濃縮係数 fc		1	1
呼吸率	m ³ /h	1.2	0.12
空気 C dust	g/m ³	1.00E-03	1.00E-04
シナリオ前の減衰期間 t1	d	0	1 注 0として計算
シナリオ中の減衰期間 t2	d	0	0
実効線量係数 h inh	μ Sv/Bq	5 μ m、操作者	0-1y

(3) 経口摂取のパラメータ

2種類の経口摂取被ばくシナリオには、以下のパラメータが使用された

R-ING-A: 作業者は、解放された建物の割ぐりを不注意に 20g/y 経口摂取すると想定する。作業者は、常に、最近に解放された物質を取り扱うので、

シナリオ前とシナリオ中での減衰は想定されない。

R-ING-B：経口摂取量は、希釈、濃縮過程がなく、100g/y と想定される。子供が遊び、留まる場所での物質交換は不可能であるため、シナリオ1日前の減衰とシナリオ実施中の1年間が想定される。経口摂取線量係数は、年齢グループ1-2歳の値をBSSから引用した。

表7. コンクリート 経口摂取シナリオに対するシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ R-ING-A	シナリオ R-ING-B
年間摂取量 q	g/y	20	100
希釈係数 f_d		1	1
濃縮係数 f_c		1	1
シナリオ前の減衰期間 t_1	d	0	1
シナリオ中の減衰期間 t_2	d	0	365
実効線量係数 h_{inh}	$\mu\text{Sv/Bq}$	作業者	1-2y

(4) 皮膚汚染シナリオのパラメータ

皮膚汚染シナリオには、以下のパラメータが使用される。

R-SKIN：年間の全作業中（1,800h/y）に、前腕の両手が100 μm （0.01cm）の厚さの粉塵の層で覆われると想定する。粉塵は解放された物質と同じ放射能濃度を保持すると仮定する。皮膚上の物質はいつも新しく、シナリオ実施前と実施中は、減衰は想定しない。皮膚に沈積した粉塵の密度は、1.5g/cm³と設定される。実効線量を算出するため欧州委員会の技術文書であるRP-122からの線量係数は皮膚荷重係数0.01を掛けなければならない。希釈と濃縮は想定されず、このシナリオは希釈と濃縮が基準値以下であるが、解放された物質の過程での別な段階で起こるシナリオをも含む。

表8 コンクリート 皮膚汚染シナリオに対するシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ R-SKIN
被ばく時間 t_e	h/y	1800
皮膚表面上の粉塵の厚み L_{dust}	cm	0.01
粉塵の密度 ρ	g/cm ³	1.5
希釈係数 f_d		1
濃縮係数 f_c		1
皮膚荷重係数 W_{skin}		0.01
体表面率 f_{skin}		0.1 (eq. ca. 2000cm ²)
シナリオ前の減衰期間 t_1	d	0

シナリオ実施期間の減衰期間 t2	d	0
実効線量係数 hskin	(μ Sv/h) / (Bq/cm ²)	放射性核種に依存する

2.2.3 全ての物質

全ての物質における一般的なクリアランスレベルの導出を考察する。全ての物質とは、金属、コンクリート、土壌、プラスチック、木材と紙を含む固体状物質の範囲を網羅する。有機土壌と影響を受けない汚染土壌は含まれていない。

極低レベルで汚染された土壌は、庭園の表土として直接使用され、従って菜園で育つ食材は解放された土壌で育つ。解放された廃棄物を含む再開発埋立地の場合と比較し、放射性核種の摂取量は、約2~100倍となる。同様に、農業作業者の労働時間の一部を解放された土壌上で費やす。その他の土壌と堆肥との混合を考慮すると2倍に希釈されると想定するのが適切である。

木材やプラスチック、紙のような物質は焼却され、これは焼却炉の作業者と煙から一般公衆への被ばくを導く。しかしながら、これらの状況の多くは金属の再利用の検討で考えられる熔融シナリオに含まれる。木材のような汚染物質は更に囲いや建設に使用される。

A) 全ての物質のシナリオとパラメータ

(1) 外部被ばく

全ての物質の外部被ばく経路は、以下の2種類のシナリオで表される。

A- EXT-A : 庭師は、解放された土壌で全作業時間を(1,800/y)作業していると想定する。堆肥や他の土壌との希釈係数を2とする。シナリオ実施の1日目の減衰は(クリアランスする施設と表土交換の間での輸送時間)、一旦定着すると、土壌は最近解放された物質に交換不可能なので、シナリオ実施中の減衰時間と共に考慮される。線源が廃棄物中に均一に拡散したと想定し、安全側にたった密度 1.5g/cm³ が線量計算に使用される。地上1mの高さを被ばくジオメトリとした場合の線量が算出される。このシナリオは、庭師が1年間に作業する全領域を含む十分な解放された土壌があると想定するので、かなり安全側に立っている。

A-EXT-B : 解放された物質から作られた部屋や囲い、例えば、木製の小屋あるいはビニールテントの中で人が過ごす想定する。被ばく時間は、3,000h/yとする。被ばくジオメトリには、3×4m²、高さ2.5mで、壁と天井の厚さ2cmの部屋を選択した。部屋の中央で、高さが1mの回転ジオメトリに対して線量が算出された。天井や2つの壁(4×2.5m²)からの影響が加算される。シナリオ開始100日前とシナリオ実施中での年間の減衰が考慮される。

表9. 全ての物質 外部被ばくシナリオにおけるシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ A-EXT-A	シナリオ A-EXT-B
被ばく時間 t_e	h/y	1800	3000
希釈係数 f_d		0.5	1
シナリオ前の減衰期間 t_1	d	1	100
シナリオ実施期間の減衰期間 t_2	d	365	365
物質の密度	g/cm ³	1.5	1.5
ジオメトリ		地上 1m、半無限量	天井、2つの壁、3×4m ² 、高さ 2.5m、2cm の壁の厚み
実効線量係数 h_{ext}	(μ Sv/h)/(Bq/g)	放射性核種とジオメトリによる	

(2) 全ての物質での吸入シナリオのパラメータ

吸入による被ばく経路は、以下の2種類のシナリオで表される。

A-INH-A: この作業場所でのシナリオは、空気中の 1mg/m³ の粉塵濃度と 1.2m³/h (中程度の作業活動として) の呼吸率が想定される。線量係数として 5 μ mAMAD 値が、BSS から引用された。シナリオ開始前と実施中は、常に、最近に解放された物質からのみ発生するので減衰は想定しない。希釈と濃縮は、想定されない。従ってこのシナリオは、希釈と濃縮が解放された物質処理過程中の各段階で起こるその他のシナリオをも含む。

A-INH-B: このシナリオでは、乳児が 1年間 8,760 時間にわたり解放された物質 (例: 土壌) から発生する粉塵の 10% を吸入すると想定する。空気中の粉塵濃度は 0.1mg/m³ で、呼吸率は 0.12m³/h に設定される。線量係数は、規定値肺保持クラスと年齢 0-1 歳のグループのものが BSS から引用した。シナリオ実施前と実施中は、粉塵が常に、最近に解放された物質からのみ発生するので減衰は想定しない。

表 10. 全ての物質 吸入シナリオのシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ A-INH-A	シナリオ A-INH-B
被ばく時間 t_e	h/y	1800	8760
希釈係数 f_d		1	0.1
濃縮係数 f_c		1	1
呼吸率 V	m ³ /h	1.2	0.12
空気中の粉塵濃度 C_{dust}	g/m ³	1.00E-03	1.00E-04
シナリオ前の減衰期間 t_1	d	0	0
シナリオ中の減衰期間 t_2	d	0	0
実効線量係数 h_{inh}	μ Sv/Bq	5 μ m、作業中、	0-1y

(3) 全ての物質での経口摂取シナリオのパラメータ

経口摂取被ばく経路は、以下の2種類のシナリオで表される。

A-ING-A：作業者は、解放された物質を不注意に 20g/y 経口摂取すると想定する。作業者は、常に最近に解放された物質を取り扱うので、シナリオ前と実施中では減衰は想定しない。

A-ING-B：経口摂取量は、希釈と濃縮過程はなく 100g/y と想定される。子供が遊び、留まる場所の土壌は交換が不可能なので、シナリオの1日前とシナリオ実施中の1年間の減衰が想定される。経口摂取被ばくの線量係数は、年齢グループ 1-2 歳で BSS から引用した。

庭師は、年間作業時間中に不注意に 20g/y の物質を経口摂取する（シナリオ A-ING-A）一方で、子供の経口摂取量の値 100g/y は、希釈と濃縮過程に関わるその他の経口摂取経路（水の経路、野菜の消費など）を含むように選択されている。

表 11. 経口摂取シナリオのシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ A-ING-A	シナリオ A-ING-B
年間経口摂取量 q	g/y	20	100
希釈係数 f_d		1	1
濃縮係数 f_c		1	1
シナリオ前の減衰期間 t_1	d	0	1
シナリオ中の減衰期間 t_2	d	0	365
実効線量係数 h_{inh}	$\mu\text{Sv/Bq}$	作業者	1-2y

(4) 全ての物質での皮膚汚染シナリオのパラメータ

皮膚汚染シナリオには、以下のパラメータが使用される。

A-SKIN：年間の全作業時間 (1,800h/y) に、前腕の両手が厚さ $100\mu\text{m}$ (0.01cm) の粉塵の層で覆われると想定する。粉塵は解放された物質と同じ放射性同位元素の濃度と想定される。皮膚上の物質はいつも新しく、シナリオ実施前と実施中は、減衰は想定しない。皮膚上の粉塵密度は 1.5g/cm^3 と設定される。実効線量を算出するため欧州委員会の技術文書である RP-122 からの線量係数に皮膚荷重係数 0.01 を掛けなければならない。希釈と濃縮は想定されず、このシナリオは希釈と濃縮が解放された物質の過程中の各段階で起こるシナリオを含む。

表 12. 全物質の皮膚汚染シナリオのシナリオパラメータ

パラメータ	単位	シナリオ A-SKIN
被ばく時間 t_e	h/y	1800
皮膚表面上の粉塵の厚み L_{dust}	cm	0.01
粉塵の密度 ρ	g/cm^3	1.5

希釈係数 f_d		1
濃縮係数 f_c		1
皮膚荷重係数 W_{skin}		0.01
体表面率 f_{skin}		0.1 (eq. ca. 2,000cm ³)
シナリオ前の減衰期間 t_1	d	0
シナリオ実施期間の減衰期間 t_2	d	0
実効線量係数 h_{skin}	(μ Sv/h) / (Bq/cm ²)	放射性核種に依存する

2.2.4 計算に使用した線量係数

表 13	金属に使用した線量係数	単位：Sv/Bq
表 14	コンクリートに使用した線量係数	単位：Sv/Bq
表 15	全ての物質に使用した線量係数	単位：Sv/Bq

3. 我国の核医学診療に限定してクリアランスレベルが導入された場合のガイドライン案を作成する。

放射線防護の基本的な問題を記述した BSS の行為基準、また医療に限定した RS-G-1.5 や欧州指令書 96/29 及び 97/43 (医療に限定したもの) の放射線防護の基本的概念を網羅した IPEM の医学・歯学ガイダンスノート (臨床領域における電離放射線防護のあらゆる面に関する模範的手法ガイド) ; これは英国放射線防護庁、衛生安全委員会事務局、保健省、環境省と協力して物理工学協会が作成したものを翻訳、解析し、我国の医療実態を考慮して核医学診療から排出される固体状放射性廃棄物の処分ガイドライン案を作成した。

C. 研究結果

1. 欧米諸国の核医学診療行為に伴う放射性廃棄物の現状

1.1 我が国の現状

核医学診療に伴う固体状放射性廃棄物は、医療法施行規則第 30 条の 26 第 3 項に「管理区域に掛る…及び放射性同位元素によって汚染される物の表面での放射性同位元素の密度は、第 6 項に規定する密度の十分の一」と規定するのみで、処分方法について明文化されていない。従って、核医学診療行為に伴って発生した固体状放射性廃棄物は管理区域内の保管廃棄室で一旦保管し、医療法施行規則第 30 条の 14 の 2 の規定によって厚生労働省令で指定した者に廃棄物を依託することになっている。

1.2 米国の現状

1.2.1 連邦規則 10CFR Part35 では、医療施設からの放射性廃棄物の取扱いについて規定している。

§ 35.92 Decay-in-storage (減衰待ち保管)

内容は、以下のように、被認可者はその放射能の量に関係なく処分する前に減衰待

ち保管として物理的半減期 120 日未満の副産物を保管してもよいと記述している。

- (1) 処分する前に副産物をその容器表面においてモニタし、最も感度の高いスケールで遮へい体を置くこと無しにセットした適切な放射線検出測定器でバックグラウンド放射線レベルと区別出来ないことを判断する；及び
- (2) 容器内及び被認可者から解放された後、生物学的廃棄物として管理される物質上の放射線ラベルを除き、全ての放射線ラベルを取り除く又は取り去る。
- (3) 被認可者は、各測定の結果を 3 年間保存すべきである。記録は測定日、測定結果、使用した装置及び測定者の個人名を含まなければならない。

1.2.2 NRC ハンドブック－米国核医学会編

上記連邦規則に準拠して、医療行為により排出する放射性廃棄物の具体的な取扱い方法が下記のように記述されている。

- (1) 廃棄物は減衰のため少なくとも 10 半減期間は保管しなくてはならない。
- (2) 全ての遮へい体は、取り除かなければならない。
- (3) 容器は、測定器の最も感度の高いレベルにセットして測定し、バックグラウンド放射線と識別できないことを確認しなければならない。各ジェネレータのカラムは分解し、個々にモニタしなければならない。
- (4) 全ての放射線を表す言葉と標識は取り除くか抹消しなければならない。
- (5) 夫々の廃棄物の記録は 3 年間保存し、その記録は以下の情報を記載しなければならない。貯蔵庫に保管した日、一般ゴミとして処分した日、廃棄された放射性核種、測定器名、バックグラウンドの線量率、廃棄物の表面線量率、廃棄処理を行なった者の名前。その他、保管作業に関する分別方法等が記述されている。

1. 3 欧州の現状

核医学診療行為により排出される固体状放射性廃棄物の処理の各国の現状

ベルギー；短半減期核種は各施設又は地方のセンターで 10 半減期の間、保管し、法令の限度値以下であれば一般廃棄物として焼却することができる。

デンマーク；廃棄物の容器に収納し、容器の表面線量率が $5 \mu\text{Sv/h}$ 未満であれば一般廃棄物として処分できる。

フィンランド；デンマークと同様で、容器の表面線量が $5 \mu\text{Sv/h}$ 未満であれば一般廃棄物として焼却あるいは埋設処分することができる。尚、一定期間で線量限度値を超える場合は承認をえること。

フランス；半減期が 71 日未満の核種は、一定期間減衰保管し、測定してバックグラウンドレベルを確認し、記録を残した上で一般廃棄物として処分を可能としている。

ドイツ；半減期 100 日未満の核種は、減衰保管後に通常廃棄物として処分できるが、感染性廃棄物や化学的有害物質が混入している場合は、危険な廃棄物として焼

却処分としている。

イタリア；半減期 75 日未満の核種は、半減期間以上保管し、減量固形化して貯蔵保管庫に移送する。

ポルトガル；固体状放射性廃棄物は、容器表面線量率がバックグランドレベル（ $0.1\sim 0.2\ \mu\text{Sv/h}$ ）と区別できなくなるまで減衰保管し、バックグランドと同等レベルであれば焼却処分が認められている。

スウェーデン；廃棄物の容器表面線量率が $5\ \mu\text{Sv/h}$ 未満であれば、廃棄物の内容、送り主の署名及び日付を記載して地方自治体廃棄物処理プラントで処分できる。

イギリス；放射性廃棄物は、病院毎に申請計画書に基づき制限値が設けられ規制当局により承認事項として運用される。固体状放射性廃棄物は許可された廃棄物業者に集荷され、焼却処分されている。尚、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を含む短半減期核種は 3 日～4 日間保管し、放射能を含まない一般廃棄物と一緒に処分することが認められている。

1. 4 欧米各国のまとめ

大別して 3 つに分けることができた。1) 国によりことなるが、短半減期核種は、ほぼ 10 半減期の間保管し、法令に記述された行為基準の下に一般廃棄処分が可能。2) 廃棄物の容器表面での線量率が $5\ \mu\text{Sv/h}$ 未満であれば、一般廃棄物として処分が可能。3) 容器表面での線量率がバックグランドレベルと区別つかなければ、一般廃棄物として処分を可能としていた。

2. 我国の核医学診療行為に伴う固体状放射性廃棄物の処分の放射線学的評価を基にクリアランスレベルを算出。

2. 1 金属クリアランスレベルの計算結果（資料 1）

シナリオ毎に比較した実効線量は、M-EXT-A と M-EXT-B が他のシナリオに比較して高く、最大値を示す線量は、M-EXT-B が多かった。低エネルギーの β 線を放出する核種である H-3、C-14 と低エネルギー γ 線を放出する核種 I-125 では、吸入シナリオである M-ING-B が最大線量値を示した。また高エネルギー β 線を放出する核種では、皮膚汚染シナリオ M-SKIN が高かった。核種別の比較では、線量係数が高値を示したものは O-15、F-18、Fe-59、Co-60、Mo-99、In-111、Sn-117m、I-131、Au-198 であった。

次に、IAEA の算出値（表）と計算結果を比較し、両者の比を表 18 に示す。大きな違いは、Tc-99m の M-EXT-C であった。この場合の実効線量は、極めて微小であるため誤差が生じたと考えられる。Tc-99m の EXT-C は、ゼロとしても差し支えない値である。RP-122 の報告では、極めて微小な Mo-99、In-111、I-123、Sm-153、Au-198、Tl-201、等の実効線量をゼロとしている。皮膚汚染シナリオの M-SKIN では、比率が 1.5 の値が存在している。実効線量計算結果の表の右列に示してある RP-122 の報告値と比較すると同程度の違いが見られた。

クリアランスレベルを比較すると、 0.1Bq/g から $1,000\text{Bq/g}$ が得られた。これは IAEA の

クリアランスレベルと一致した値が得られた。ただし、Rb-81 は、外部被ばくの線量係数が示されていないため除外した。

表 16 金属の実効線量計算の結果表 [単位： $(\mu\text{ Sv/y})/(\text{Bq/g})$]

図 1 金属の実効線量計算のグラフ Co-60 の表示は除外

表 17 IAEA の計算結果 (単位： $\mu\text{ Sv/Bq}$)

表 18 IAEA 計算値と本研究値との比較

2. 2 コンクリートのクリアランスレベル計算結果

金属の実効線量計算結果 (表 19) と異なるシナリオの M-EXT-C と R-EXT-C 以外は、全く一致した値であった。これは、他が全て同じ線量係数とパラメータが利用されているため一致していると思われる。R-EXT-B と R-EXT-C を比較すると全ての核種で R-EXT-C の実効線量が低くなっていた。

次に、IAEA の算出値 (表 20) と計算結果を比較し、両者の値の比を表 21 に示した。両者の差異は、金属の結果で述べたのと同様であった。

クリアランスレベルを比較すると、 0.1Bq/g から $1,000\text{Bq/g}$ が得られた。これは IAEA のクリアランスレベルと一致した。

表 19 コンクリート実効線量計算結果 [単位： $(\mu\text{ Sv/y})/(\text{Bq/g})$]

図 2 コンクリート実効線量計算結果のグラフ Co-60 の表示は除外

表 20 コンクリートの IAEA 計算結果 (単位： $\mu\text{ Sv/Bq}$)

表 21 コンクリートの IAEA 結果と本研究班との比較

3. 3 全ての固体状物質でのクリアランスレベルの算出結果

実効線量計算結果 (表 22) でシナリオからの A-EXT-A は、A-EXT-B より高い線量値を示した。高値を示した核種は、Fe-59、Cr-51、Co-60、Sn-113、で半減期の長さ依存していることが判った。実効線量で金属と比較した場合に Fe-59 の A-EXT-A と M-EXT-A は、ほぼ同じ値であるが、半減期の長い Co-60 では高値を示し、半減期の短い O-15、F-18、Tc-99m、In-111、I-123、I-131、Au-198、Tl-201 では、小さな値であった。これらは A-EXT-A、A-EXT-B がシナリオ前、シナリオ実施期間の減衰を考慮しているためである。全ての物質のシナリオでは A-EXT-A、A-EXT-B、A-ING-B が半減期に依存し、A-INH-A、A-INH-B、A-ING-A、A-SKIN は半減期に依存しない。したがって短半減期の核種では半減期に依存しない A-INH-A、A-INH-B、A-ING-A、A-SKIN が最大シナリオ (決定経路) となる傾向がある。

IAEA のクリアランスレベル値と比較した結果、全て一致した値が得られた。

表 22 全ての固体状物質での実効線量計算結果 [単位： $(\mu\text{ Sv/y})/(\text{Bq/g})$]

図 3 全ての固体状物質での実効線量計算結果のグラフ Co-60 の表示は除外

表 23 全ての固体状物質での IAEA 値の計算結果 (単位： $\mu\text{ Sv/Bq}$)

表 24 全ての固体状物質での IAEA 値と本研究値との比較

3. 我国の核医学診療に限定してクリアランスレベルが導入された場合のガイドライン案を作成。(詳細は、別添のガイドライン原案を参照)

ガイドラインの作成にあたり、ICRP90年勧告や放射線防護のバイブルであるBSSの基本的概念、IAEA RS-G-1.5(電離放射線の医療被ばくにおける放射線防護)、IPEM(臨床領域における電離放射線防護のあらゆる面に関連する模範的手法ガイドライン)及び我国の核医学診療実態を考慮して原案を作成した。

- (1) 背景; 我国と欧米諸国の医療行為に伴う放射性廃棄物の処分を解説
- (2) 目的; このガイドラインは、我国で核医学診療行為に伴う放射性廃棄物にクリアランスレベルが導入された場合に適用される原案を作成した。
- (3) 対象範囲; 核医学診療から排出される固体状放射性廃棄物の種類、材質及び感染性廃棄物についても記述した。(今後、特異シナリオに基づく現実にマッチしたクリアランスレベルを算出し、記述予定)
- (4) 管理者等(管理者、放射線防護責任者、監査委員)の責任と権限を記述。
- (5) 固体状放射性廃棄物の管理(収集保管方法、放射線測定、検証、記録及び評価を記述)
- (6) 処分方法(クリアランスが可能になった場合の処分方法と経路を説明)

D. 考察

1. 欧米諸国における放射性同位元素使用に伴う固体状放射性廃棄物の処分に関する法令及び放射線学的評価方法の検討

欧米諸国では医療行為に伴い排出される固体状放射性廃棄物の処分は、大部分の国が法令に記述された行為基準の下に、実質的に一般廃棄物として処分することが可能である。欧米諸国で医療から排出される固体状放射性廃棄物処分形態は、大別して3つに分けることができる。1) 国によりことなるが、短半減期核種は、ほぼ10半減期の間保管し、法令に記述された行為基準の下に一般廃棄処分が可能としている。2) 廃棄物の容器表面での線量率が $5\mu\text{Sv/h}$ 未満であれば、一般廃棄物として処分が可能である。3) 容器表面での線量率がバックグラウンドレベルと区別つかなければ、一般廃棄物として処分を可能としている。

我国では、一度法令の定義量を超える放射性物質はどのようなレベルに減衰したとしても、規制管理の枠組みのなかで規制され、永久保管が基本的処理とされている。

そこで、医療固体状放射性廃棄物の管理方法として、欧米諸国が採用しているdecay-in-storage(減衰待ち保管)による方法が参考になる。特に、1)及び3)が適切と思われる。なお、放射性廃棄物の管理方法として通知等で、a)半減期の長短による分別収集管理、b)放射性廃棄物の少なくとも10半減期減衰保管の徹底、c)廃棄物として処分する場合にバックグラウンドレベルであることを確認する意味で測定を義務付ける、d)処分した廃棄物の記録、保管期間等の品質保証を含めた記録を義務付ける(一般廃棄物として処理した日、廃棄した核種、測定器の名称、バックグラウンド線量率、廃棄容器の表面線量率、廃棄処分

した従事者名、等を)。

2. 我国の核医学診療行為に伴う固体状放射性廃棄物の放射線学的評価を基にしたクリアランスレベルの算出。

上述したように、欧米諸国では核医学診療行為に伴う放射性廃棄物については、概ね、法令により一定の行為基準の下に一般廃棄が可能のため、核医学診療に限定したクリアランスレベルの算出を行っていない。我々は、かなり保守的な算定になるが、IAEA が 2000 年 1 月に安全ガイド草案 (Draft Annex to Safety Guide Clearance Levels for Solid Materials 2000.1) によりクリアランスレベルの算定を試みた。

IAEA の計算で外部被ばくの線量計算用のシナリオ EXT-A で使用されている金属、コンクリート、全ての物質の線量係数は、地表から 1 m の位置で半無限線源とした同じ値が使用されている (ただし全ての物質ではシナリオ前、シナリオ実施期間の減衰が考慮されている)。そのため計算した金属とコンクリートの実効線量は同じような値になる傾向を示している。使用されている物質密度は、コンクリートでは 2g/cm^3 、土壌 1.5g/cm^3 、鉄 7.6g/cm^3 と定義されているが、この値は計算に直接使用されていない。ただし、地表から 1m で半無限線源からの線量係数を算出するために、この土壌密度 1.5g/cm^3 が吸収係数として使用されている。また、コンクリートの建屋内の線量係数を算出するために 2g/cm^3 の密度が使用されている。なお、外部被ばくの線量係数を算定するためにジオメトリを考慮すべき算定式が記述されていないため、成田研究協力者が計算ソフトを開発した (資料 2)。

IAEA の金属とコンクリートのシナリオは、産業施設から排出される廃棄物が「埋立地に連続的に搬入される」など明らかに産業の大量の廃棄物を想定している。医療から排出するものは、ガラス、紙、プラスチック等であり、全ての物質シナリオが一番適合すると思われるため、全ての物質の内が一番実効線量が高い経路を決定経路としてクリアランスレベル値とするのが合理的と思われた。

表 25 の金属、コンクリート、全ての物質のクリアランス比較表から金属とコンクリートのクリアランス値は全く同じ値であった。表 25 の右欄に NRPB-R306 の表 A (我国が近々に放射線関連法令に取り入れの方向にある免除レベル値) から抜粋した数値を示した。

また、同表に免除レベルと全ての物質のクリアランス値との比を同時に示した。完全に一致した核種は、Mo-99、Sm-153、Tl-201、であった。クリアランスレベルが免除レベルより高い傾向を示した核種は、F-18、Ga-67、Rb-81、Tc-99m、Sn-117m、I-123 であるが、ここで Ga-67、Rb-81、Sn-117m については IAEA で外部被ばく値は計算されていない。Ga-67 は、全ての物質の外部被ばく値が計算されていないことから最大シナリオが A-ING-A となり、この結果クリアランスレベルは 1000Bq/g となった。ただし、本研究班の検討で金属、コンクリートの値から (表 16、19)、おそらく最大シナリオは実際には EXT-A であり、クリアランスレベルは 10Bq/g となることが推定された。Rb-81 と Sn-117m では外部被ばくの計算値が得られていないため経口摂取が最大シナリオとなった。Tc-99m と I-123 では、皮膚被ばくが最大シナリオとなり高値を示すが、実際の作業を考えると皮膚被

ばくとなる可能性はかなり低いと思われる。その他の核種では、免除レベルのほうが高くなっている。全体的な免除レベルは、今回対象とした核種では 10Bq/g から 1,000,000Bq/g に分布し、10Bq/g、100Bq/g、1,000Bq/g となるものが多い。半減期が長く実効線量率も高い Co-60 で免除レベルが 10Bq/g とされていることから NRPB の報告書を調べると 1 Bq/g の免除レベルとされている核種は Cf-254、Pu-239 がみられる。すなわち、医療で使用される免除レベルの最小値は、10Bq/g でこれより高い数値であると考えて良いと思われる。

この IAEA の報告では、短半減期核種については、考察を加えていないが、同じ IAEA の報告 TECDOC1000 で短寿命も含めて、全核種を同じシナリオで計算したと記述している。しかし、上述のように包括シナリオは、かなり安全側に評価しておりクリアランスレベル値が小さくなっていると考えられ、医療廃棄物のシナリオを再度検討し外部被ばくの線量係数も含め、計算しなおす必要はあると考えられた。また、O-15 では、クリアランスレベル値が 0Bq/g となっているが、半減期 2分であるので、そもそも今回のシナリオにはなじまないと思われ、IAEA Draft Annex では計算値を示していない。

これまで単一核種について述べたが、複数の放射性核種が含まれる場合には夫々の核種の割合から求める。IAEA の Draft Annex では、次のように定義をしている。

放射性核種混合物の考察

放射性核種混合物がクリアランス基準を満たすかどうか、決定するために単純な比率式が使用される。以下の式で表示する。

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{Li}} \leq 1$$

C_i =廃棄物中の放射性核種の濃度 Bq/g ; C_{Li} =物質中の放射性核種の年間放射線量 Bq/y 又は混合物中の核種の放射性同位元素濃度 Bq/g のクリアランスレベル ; n =混合物中の放射性核種の数。

上記の表示では、クリアランスレベルに対する各放射性核種の濃度比が、混合液の全核種について合計されている。この合計が 1 以下なら混合液の提示された濃度は、基準を満たすものとして見なされる。このような核種混合物からクリアランスを求める方法は、空気中濃度及び排水中の濃度を規制する等で使用されている。

実際に医療での固体状放射性廃棄物のクリアランスを考えると短半減期核種を無視することは出来ない。各シナリオで輸送中の実効線量が高いことから、直接身体近くで放射性廃棄物運搬に従事する作業員のジオメトリも想定することも必要である。IAEA では、吸入被ばく、経口摂取被ばく、皮膚汚染の実効線量について求めているが決定経路となる核種は少ない。

ここで作成したプログラムから IAEA の Draft Annex で報告されているクリアランス計

算値と同様な結果が得られたことで、本研究班のジオメトリで作成された線量係数と医療廃棄物フローチャートに基づいたパラメータで計算する基本が揃ったと考える。

表 25 金属、コンクリート、全ての物質のクリアランス値の比較と NRPB-306 の免除レベル（単位：Bq/g）

3. 我国の核医学診療に限定してクリアランスレベルが導入された場合のガイドライン案を作成（資料 3）

IAEA BSS の基本的な放射線防護の概念を導入している IPEM の「臨床領域における電離放射線防護のあらゆる面に関する模範的手法ガイド」を参考に、我国の医療廃棄物の現状を加味して「医療行為に伴う固体状放射性廃棄物処分のあるべきの姿（望ましい）」を検討した。

当然、放射線防護の基本となる管理システム上の放射線防護責任者（医療法施行規則に規定されていないが）等の責任と権限をも盛り込むことで全員が一致した。

今回は、諸外国で取り入れている密封線源の扱いについては他法令等の問題もあり、ガイドライン案には取り入れない事とした。また、感染性放射性廃棄物（オムツ等）について、核医学診療施設では、関連 5 団体のガイドライン及び処理マニュアルにより処分されている。整合性を取るべく検討したが、感染性廃棄物については従来のガイドライン及びマニュアルに従って処理することを本ガイドライン案に記述する。その他、使用される言葉の定義が問題になるため、用語集として付録の形で添付することとする。

尚、このガイドライン案は、IAEA の BSS に記述されている放射線防護の管理システム及び行為基準が実践されるレベルで網羅されているため、クリアランスレベルを取り入れた場合や現在、文部科学省が検討している PET 4 核種の廃棄物処分のガイドライン案にも十分に対応できるものと確信している。

E. 結論

1. 欧米諸国における放射性同位元素使用に伴う固体状放射性廃棄物の処分に関する法令及び放射線学的評価方法の検討

日本と欧米諸国の医療行為から排出される固体状放射性廃棄物の処分に関する法令を検討し、下記の通り結論を得た。

- 1) 核医学診療行為により排出される短半減期核種（65 日以下）の固体状放射性廃棄物については、バックグラウンド放射能値と同等になるまで減衰保管すること。
- 2) 廃棄物の容器表面線量率が $5 \mu\text{Sv/h}$ 未満であること。
- 3) 容器表面の線量率がバックグラウンド値と区別できないこと。

欧米諸国では、上記の何れかの基準によって、法令等で記述された行為基準の下に原則的に一般廃棄物処分が可能となっている。我国においても、癌の早期発見や心筋のバイアビリテイなど診療に欠くことのできない核医学診療の便益と短半減期核種の減衰を考慮し、

記述した 1. 3. を規制に明記することにより、PET 4 核種及び従来使用されている短半減期である診療放射性同位元素の合理的な処分が達成できる。

法令等に記述されるべき行為基準として

- 1) 使用される診療用放射性同位元素の半減期により（例えば 3 グループ）に分別収集し、保管理する。
- 2) 廃棄物の減衰保管の徹底
- 3) 廃棄物として処分する前に、バックグラウンド値と区別できないことを測定器により確認する。
- 4) 処分した廃棄物の記録及び書類の保管
記録事項；保管した日、一般廃棄物として処分した日、廃棄した放射性核種、使用した測定器名、バックグラウンドの線量率、処分時の容器表面線量率、廃棄処分した担当者名、

2. 我国の核医学診療行為に伴う固体状放射性廃棄物処分の放射線学的評価を基にしたクリアランスレベルを算出。

- 1) IAEA が提案している医療、研究、及び産業などの線源が比較的少量な物質でのクリアランスレベルについて総括シナリオの基に算出する方法及び計算ソフトの開発を達成することが出来た。
- 2) 外部被ばくのジオメトリを含めた評価方法を検討し、評価ソフトを開発することができた。(IAEA は公表していない)
- 3) IAEA Draft Annex to Safety Guide Clearance Levels for Solid Materials 2000.1 の提案するシナリオ及びパラメータを我々が開発した計算ソフトにより検証し、クリアランスレベルを計算する為の各経路の線量係数及び各種物質の包括シナリオによるクリアランス値の一致と決定経路が確認できた。

今後、この計算ソフトと外部被ばくの評価ソフトを使用して医療行為から排出される廃棄物を調査し、作成したフローチャートにより我国の核医学診療から排出されるクリアランスレベルの詳細な算定を検討したい。

3. 我国の核医学診療に限定してクリアランスレベルが導入された場合のガイドライン案を作成。

本ガイドライン案は、IAEA BSS や ICRP90 年勧告の基本的な行為に関する概念を周到しており、我国の核医学診療から排出される非密封放射性廃棄物の処理及び処分に十分に活用されてしかるべきと考える。

参考資料

1. 医療法施行規則及び医薬局長「医薬発 188 号（平成 13 年 3 月 12 日）及び医政発第 964 号、医薬発 1046 号（平成 13 年 9 月 28 日）。

2. Code of Federal Regulation (CFR) 10 Part20,35(USA)
3. THE NUCLEAR FOR ACHIVING CONPLIANCE WITH NRC REGULATION (Society of Nuclear Medicine)(1997)
4. Management of Radioactive Waste Arising from Medical Establishment in the European Union EUR19254 EN(European Commission)(2001)
5. International Basic Safety Standard for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (IAEA SS No.115)
6. Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation (IAEA No.RS-G-1.5)
7. Principles and Method for Establishing Concentration and Quantities (Exemption values) Below which Reporting is not Required in the European Directive (CEC-RP65)(1993)
8. Recommendation of the Group of Experts established under the terms of Article 31 of the European treaty (CEC-RP122)(2000)
9. Clearance of Materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry , and research (IAEA TECDOC1000)(1998.2)
10. Draft Annex to Safety Guide Clearance Levels for Solid Materials (IAEA.2001.1)
11. Radiological assessment for clearance of equipment and materials from nuclear facilities (NRC NUREG-1640 USA)(1998)
12. Laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers from ionizing radiation (CEC Council Directive 96/29EURATOM of13 May 1996)
13. Medical and Dental Guidance Notes A good practice guide on all aspects of ionizing radiation protection in the clinical environment (IPEM 2002)
14. Exempt Concentration and Quantities for Radionuclides not include in the European Basic Safety Standard Directive
S F Mobbs and M P Harvey (National Radiation Protection Board·1999)

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

日本核医学会投稿予定

日本核医学技術学会投稿予定

2. 発表論文