

参考資料

SHI 製 ^{18}O H₂O 精製装置の概略

本装置は、UV 照射部と低温蒸留部から成っている。UV 照射部は、内側面が鏡面仕上げされた金属製の円筒型の容器から成り、中央部に紫外光ランプを配しており、回収水を封入できるガラス製の試料管をランプの周囲に配置できるようになっている。試料管の封入量は 1 本当たり 2 ml であり、一度に照射できる量は約 12 ml である。一方、低温蒸留部は、ガラス製蒸発器具、加熱用ハロゲンランプ、蒸発器具内を陰圧にする吸引ポンプおよび冷却凝集用の液体窒素を入れるデュア瓶から成る。ガラス製蒸発器具はガラス製のドーム部分と、石英ガラス製の逆円錐形をした凝集部分の二つのパーツをパッキンおよび専用の留め具により密閉できる。また、蒸発させる UV 照射後の ^{18}O H₂O を入れるグラッシーカーボン製のリザーバが内部に配されている。蒸留できる量は 1 時間当たり 2-3.5 ml 程度である。また両装置ともにタイマーを装備しており、UV の照射時間および蒸留にかける時間の延長や短縮が容易で、取扱いは簡素化されている。

SHI 製 ^{18}O H₂O 精製装置の使用方法

手作業にて試料管に回収水を封入し、UV を 4 時間照射した後、手作業で蒸発装置のガラス製蒸発器具内のリザーバに移し、 ^{18}O H₂O の蒸発を促進させるために蒸発器具内部を吸引ポンプで陰圧にする。液体窒素を入れたデュア瓶で蒸発器具の凝集部分を冷却しながら、蒸発器具の上部から加熱用ハロゲンランプを照らして試料容器内の ^{18}O H₂O を低温で緩やかに気化させる。蒸気となった ^{18}O H₂O は液体窒素にて冷却され、凝集部分で氷結し凝集される。これを室温で解凍することによって精製水が得られる。

平成 12 年度厚生科学研究費補助金(医薬安全総合研究事業)

「医療機関における使用済放射線源及び診療用放射性同位元素の管理の合理化等のあり方に関する研究」

分担研究報告書

分担研究課題:短半減期放射性薬剤製造用サイクロトロンの廃棄に関する研究

分担研究者 : 棚田修二(放射線医学総合研究所高度診断機能研究ステーション)

要旨

ポジトロン断層撮影(PET)に不可欠な短半減期陽電子放出核種を製造する設備として、短半減期放射性薬剤製造用サイクロトロンが設置されてきたが、初期の装置が導入されてから 30 年近くが経過し、その廃棄・更新が重要な検討課題であることが認識されつつあることに鑑みて、我国における短半減期放射性薬剤製造用サイクロトロンの設置状況とその廃棄・更新状況について検討を行った。PET 検査に供されてきたサイクロトロンの廃棄・更新を行った施設は、今だ数少ないものの、その旧サイクロトン施設を放棄する形と、旧施設を利用して新サイクロトロンを導入した施設が認められた。我国の研究・医療機関の敷地等の状況を考慮すると、今後旧施設を利用した形での更新が行われることが予想され、そのための問題点について検討したが、特にその解体に伴って発生する放射化物の処理方法について検討することが重要である。

短半減期陽電子放出核種を用いたポジトロン断層撮影(PET)は、生理・病理機能の画像診断技術として、臨床研究・診療における役割が重視され、我国でも急速に普及することが予想されている。一方、使用される放射薬剤は、標識 RI である陽電子放出核種の半減期が極めて短いため(2 分から 120 分程度)、フッ素-18 標識放射薬剤を除いて、放射性医薬品メーカーからの供給は困難であり、これらの核種を製造する小型サイクロトロンが PET 施設に併設されることが必要である。我国でもすべての PET 施設が短半減期放射性薬剤製造用サイクロトロンを設置してきた。しかしながら、最初のサイクロトロンが設置されてから既に 30 年近くなり、古いサイクロトロンを廃棄または更新する必要を認める施設も出現している。しかしながら、こうした小型サイクロトロンの廃棄方法は確立していないのが現状である。本研究では、サイクロトン保有施設の現状の把握と、古いサイクロトロンの廃棄・更新に関わる諸問題、あるいは今後新たに PET を導入することを計画している研究・医療施設等にとって考慮すべき問題点を明らかにし、その解決法について検討する。

1. 我国における短半減期放射性薬剤製造用サイクロトロン設置の現状について

現在、我国における短半減期放射性薬剤製造用サイクロトロンを保有している研究機関・医療施設等は別表の通りである。ここに記載したすべての施設において、サイクロトロンの設置年が正確に把握されている訳ではないが、1973年に放射線医学総合研究所に加速エネルギー70Kevの大型サイクロトロンが設置されて以来、30年近くが経過して、現在新たに設置中の施設を含めると31研究・医療機関が数えられる。従って、サイクロトロンの耐用年数をどのように評価するかは、議論の余地があるとはいえ、設置後15・20年以上経過すれば、当然、廃棄あるいは更新の対象になると考えられる。事実、既に更新した施設が存在しており、このような施設が行った方法が、今後の廃棄・更新を考慮している施設等に有用な情報を与えるとともに、これからPET、サイクロトロンを新たに導入しようと考えている施設にとっても、廃棄・更新を見越した形での、計画立案が容易になると考えられる。ただし、放射線医学総合研究所や東北大学サイクロトロンRIセンターのように、大型サイクロトロンを設置している施設とPET専用の小型サイクロトロンを設置している施設とでは、事情がかなり異なることが予想される¹⁾。従って、ここではPET専用の小型サイクロトロンについてのみ、廃棄・更新等に関わる諸問題について検討する。

2. 既に更新した施設について

現在まで、短半減期放射性薬剤製造用小型サイクロトロンを更新した施設として、京都大学医学部附属病院と千葉大学医学部附属病院が挙げられる。両施設とも設置後15年を経過して新たなサイクロトロンの更新しており、やはり15・20年が一応の廃棄・更新の目安になると考えられる。

この両病院では、更新方法に違いがあり、京都大学医学部附属病院では既に設置されていた旧サイクロトロン施設を利用する形で、新サイクロトロンが導入されている。一方、千葉大学医学部附属病院では、全く新たに新サイクロトロンを設置する施設を建設したものであり、旧サイクロトロンは使用されないまま保存される形である。この2施設の方法が、今後の廃棄・更新を考える上で注目すべきものといえる。しかし、我国の研究・医療機関の敷地等を考慮すると、千葉大学のように新たな施設を建設して新サイクロトロンを設置することは、なかなか容易な方法とはいえ、やはり京都大学のように既存のサイクロトロン施設を利用した形で、更新を進めることが必要になると思われる。そのためには、サイクロトロンの解体に伴って発生する放射物の取り扱いが重要であるが、現状ではその取り扱いについて明確な処理方法はない。従って、上記の2施設では、部分的撤去と搬出不可能なものは、施設内に保存する形で放射物の処理が行われた。今後も同様な方法での処理が一般的であると言える。ただし、1980年代後半から設置導入されてきたサイクロトロンは、陰イオン加速タイプであり、陽イオン加速タイプに比較して、放射化される部品の量が少ないことが予想され、処理についても容易になることが見込まれる。

3. 今後の検討課題について

PET 検査は、我国の医学・医療のなかで、ポストゲノムの一環としての分子イメージング法による生理・病理機能を解明する上で、極めて重要な画像診断技術として、今後益々、重要な位置を占めることは容易に想像されるので、その技術の基本とも言うべき短半減期放射性薬剤の供給のために必要不可欠な小型サイクロトロンを設置から廃棄・更新を見越した長期的な展望を明確にすることが求められており、今後継続的に検討すべき課題と考えられる。

参考文献

1. 柴田徳思:使用を廃止加速器の放射化の問題. RADIOISOTOPES 48: 208-215, 1999.

(別表)

(2000年12月現在)

	施設名	サイクロロン設置年(更新状況等)
1	放射線医学総合研究所	1973(大型), 1993, 2000
2	東北大学サイクロロンRIセンター	1977(大型)(1998更新)
3	京都大学医学部附属病院	1981(1996一部更新)
4	秋田県立脳血管研究センター	1982
5	九州大学医学部附属病院	1983
6	群馬大学医学部附属病院	1984
7	西陣病院	1985
8	千葉大学医学部附属病院	1985(2000更新)
9	東京大学医学部附属病院	1988
10	名古屋市総合リハビリテーションセンター	1988
11	東京都老人総合研究所	1989
12	国立循環器病センター	1989
13	県西部浜松医療センター	1991
14	金沢循環器病院	1991
15	生体機能研究所	1993
16	山中湖クリニック	1993
17	大阪市立大学医学部附属病院	1993
18	大阪大学医学部附属病院	1994
19	福井医科大学高エネルギー医学研究センター	1994
20	国立長寿医療研究センター	1994
21	日鋼記念病院	1998
22	北海道大学医学部附属病院	1999
23	滋賀県立成人病センター研究所	1999
24	先端医学薬学研究センター	1999
25	国立がんセンター東病院	2000
26	西台クリニック	2000
27	日本アイトープ協会仁科記念サイクロロンセンター	
28	名古屋大学医学部附属病院	
29	兵庫県立高齢者脳機能研究センター	
32	国立国際医療センター	
31	国立精神・神経センター武蔵病院	

「医療機関における使用済放射線源及び診療用放射性同位元素の管理の
合理化等のあり方に関する研究」

分担研究報告

分担課題 歯科領域における放射線源の保守管理の現状と在り方
分担者 佐々木武仁
所属 東京医科歯科大学大学院口腔放射線医学分野
研究協力者 菅田栄一（東京医科歯科大学大学院口腔放射線医学分野）、
加藤二久（東京都立保健科学大学放射線科学部）

研究要旨

一般歯科医療機関で実施可能な郵送法による質的保証プログラムを試験的に作成し、その有用性を検討した結果、口内法X線写真のX線曝射と写真処理過程が適切に行われているかについて、簡便で、しかも的確な判断材料を提供することが明らかにされた。この方法を用いて調査したところ、我が国の一般歯科診療所における口内法X線写真撮影の質的保証には、X線装置の保守管理と写真処理過程の質的管理が密接に関係し、不適切な写真処理や過剰なX線曝射が、かなりの頻度で行われていることを示唆するデータが得られた。今後、もっと広範囲の調査と、X線診断の質的保証プログラムの普及が望まれる。

<キーワード>

質的保証、X線曝射、写真処理、過剰曝射、現像不足、放射線防護

A. 研究目的及び必要性

X線診断の質的保証プログラムはX線診断を行うすべての医療機関で確立しておくべきことをICRPは要求しているが、そのことを実施するには多くの困難さがある。本研究では、一般歯科医療機関で利用できる、口内法X線診断の質的保証プログラムを試験的に作成し、その有用性を評価することを目的とした。

B. 研究方法

1. 現状調査用紙の作成

以下の事項を記入するX線撮影・写真処理などに関する現状調査のアンケート用紙を作成した。

① 調査対象歯科医師に関する事項（卒後年数、歯科医療機関の規模、過去の研修歴など）

② X線装置に関する事項（種類、使用年数、装置の性能など）

③ 口内法撮影に関する事項（撮影法、管電圧、管電流、照射時間、使用補助器具など）

④ パノラマ撮影に関する事項（管電圧、管電流、増感紙の種類など）

⑤ X線フィルムに関する事項（種類、感度、保管法、撮影枚数など）

⑥ 写真処理に関する事項（現像方法、現像・定着液の種類、処理時間・温度など）

⑦ X線写真の良否に関する事項（不良写真の頻度・理由、観察方法など）

2. 調査方法

1) 調査対象：

東京医科歯科大学歯科放射線学教室で行ったX線診断に関する卒後研修会に参

加した31名の歯科医師を対象とした。研修会前に、アンケート用紙、アルミニウム階段、説明書をあらかじめ郵送し、後述した手順に従い操作を行ってもらい、その結果を歯科放射線学教室の教官が分析した。

①撮影被写体として1、2、4、6、8、10、12 mmの7階段からなる特製のアルミニウム階段 (図1)。

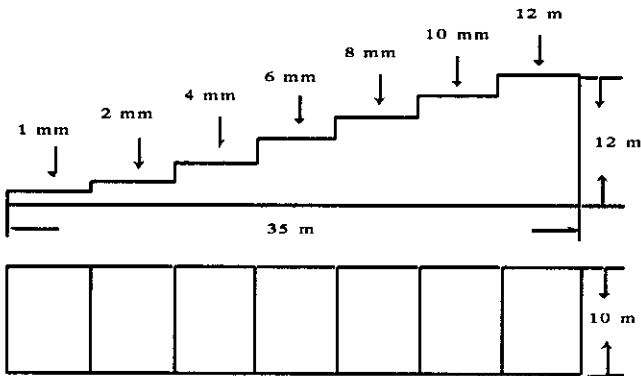


図1. 使用したアルミ階段

- ②前記に関する事項を記入するアンケート用紙
- ③実習方法の説明書
- ④デンタルフィルム2枚 (Ultra-speed dental film: DF-58 (D感度)、Ektaspeed Plus dental film: EP-21P (E

感度) (コダック社) をそれぞれ1枚ずつ。

2) 操作方法

歯科医療機関側：

各歯科医院等で行っている下顎前歯部の撮影条件 (X線装置、焦点・フィルム間距離、管電圧、管電流、照射時間、使用フィルム) で、現在使用しているデンタルフィルム2枚を用いて、アルミニウム階段の撮影を行ってもらった。撮影後、そのうちの1枚のデンタルフィルムを、その歯科医院で通常行っている写真処理方法で処理してもらい (No.1 ED-S)、もう1枚は未現像のまま (No.2 E-S) 返送してもらった。また大学から送った2枚のデンタルフィルムを同様な撮影条件で撮影し、未現像のまま返送 (No. 3,4) してもらった。以上の方法を図2のフローチャートに示す。

大学側：

各歯科医療機関から返送された3枚の未処理デンタルフィルム (E-S), (No. 3,4) の写真処理を行った。現像・定着液 Readymatic II (コダック社)、自動現像機デュールXR-24 (ヨシダ、東京) を用いた。自動現像機の写真処理時間 (現像、定

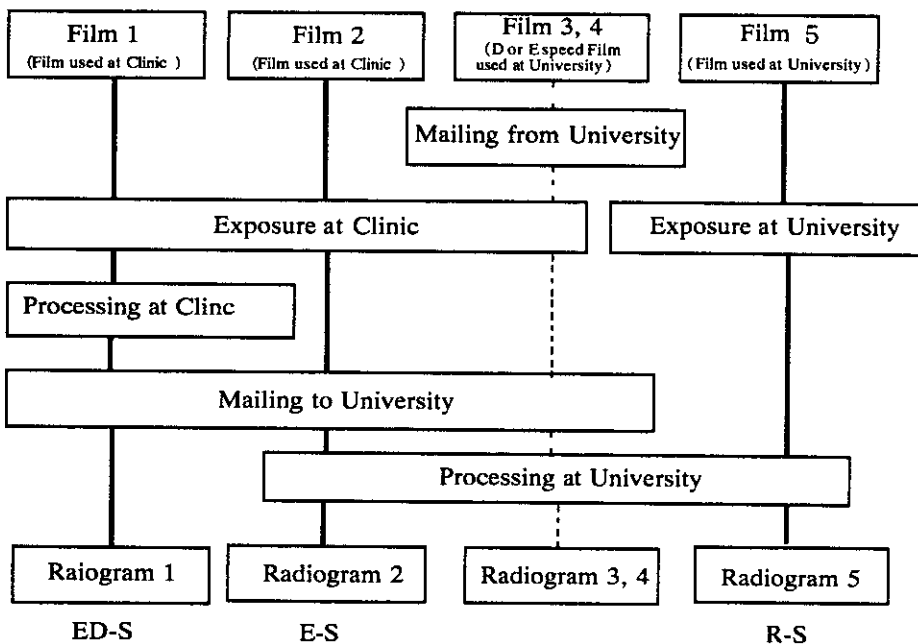


Figure 2

図2 解析に用いたフィルムの撮影、写真処理方法のフローチャート

着、水洗、乾燥)は6分、現像時間は1分10秒、現像温度は 27 ± 1 度であった。また参照写真(R-S)として、D感度とE感度の2種類のデンタルフィルムを用い、大学で行っている下顎前歯部の撮影条件でアルミニウム階段の撮影を行った。X線発生装置はHeliodont MD (シーメンス社)を用い、管電圧60kVcp、管電流7mA、焦点・フィルム間距離35cmの条件とした。この撮影条件はWuermannの基準に従い、軟組織を透過した写真濃度が2-3の間になるように設定された。すなわち、最も照射線量の低い条件で撮影が行われる下顎前歯部の軟組織透過X線による写真濃度が2.1となるようにした。写真処理した各デンタルフィルムにおいて、アルミニウム階段の各階段の濃度を測定した。濃度測定にはPDA-65濃度計(コニカ、東京)を用い、アパチャー直径2mmのアンバー光を用いた。

3) 解析方法

各歯科医院使用のデンタルフィルムを用いて撮影し、各歯科医院で写真処理したデンタルフィルムをED-S (Exposed and developed at each clinics sample)、各歯科医院使用のデンタルフィルムを用いて撮影、大学で写真処理したものをE-S (Exposed in each clinics sample)とした。各歯科医院で用いているデンタルフィルムは、C、D、E感度のいずれかであり、C感度とD感度デンタルフィルムの場合には、参照写真(R-S; Reference sample)として、Ultra-speedデンタルフィルムの結果を用いた。E感度の場合には、参照写真として、Ektaspeed Plusデンタルフィルムの結果を用いた。また、大学から郵送し、各歯科医院で撮影後、大学で写真処理をした2枚のデンタルフィルム(No.3,4)により各歯科医院のフィルムのかぶりの有無をしらべた。結果的には、すべての医院でデンタルフィルムにかぶりが認められなかった。

(ED-S)と(E-S)とそれぞれの参照写真における各アルミニウム階段の濃度を測定し、アルミニウム厚さとの関係(黒化度曲線)を次のような相互比較によって分析した。

① (ED-S)と参照写真(R-S)との比較:

両者は照射条件と現像条件の両方が異なり、出来上がった総合的な写真の良否を判断できる。曲線がほぼ同じであれば、できあがった写真濃度、コントラストは参照写真と同じであり、照射条件も現像条件も良好と判断でき、下顎前歯部の写真としては、理想的な濃度とコントラストを有すると考えらる。(ED-S)の黒化度曲線が参照写真の黒化度曲線と途中で交わったり、傾きが異なる場合には、コントラストが異なることを意味する。(ED-S)の黒化度曲線が上方へシフトしている場合は、写真濃度が全体的に高いことを意味する。(ED-S)の黒化度曲線が下方にシフトしている場合は、写真濃度が全体的に低いことを意味する。

② (ED-S)と(E-S)との比較:

両者は照射条件は同じで、写真処理条件が異なることから、写真処理の良否が判断できる。曲線がほぼ重なれば、写真処理方法が適切になされていると考えられる。(ED-S)の黒化度曲線が下にある場合には、写真処理とくに現像処理が正しく行われていないため、濃度が不足していることを意味する。傾きが異なる場合には、写真処理法の違い、たとえば、インスタント現像を行った場合や現像液の疲労等が考えられる。

③ (E-S)と参照写真(R-S)との比較:

両者は現像条件は同じで、照射条件が異なることから、照射条件の良否が判断できる。曲線がほぼ重なる場合は、その照射条件における、フィルム面での線量が同じであることを意味する。

C. 結果

1. 使用フィルムと写真処理方法。
表1に示すように、使用フィルムは

写真処理方法	フィルム感度グループ				合計	%
	C	D	E			
インスタント現像	3	5	0	8	26	
マニュアル現像	1	2	2	5	16	
自動写真処理	5	12	1	18	58	
合計	9	19	3	31	100	
%	29	61	10	100		

表1. フィルム感度グループ毎の写真処理方法

最も高感度で、使用が望まれるE感度フィルムを使用している施設は10%のみで、D

感度が61%と大部分を占めた。写真処理方法は、自動現像処理が58%と大部分を占めるが、日常的な処理方法としては好ましくないインスタント現像処理が26%に見られた。

2. テスト画像と参照画像の濃度比較。

表2に結果を示す。各歯科医療施設でX線曝射・現像を行ったテスト画像(E D-S)と大学で照射・現像を行った

Figure 3

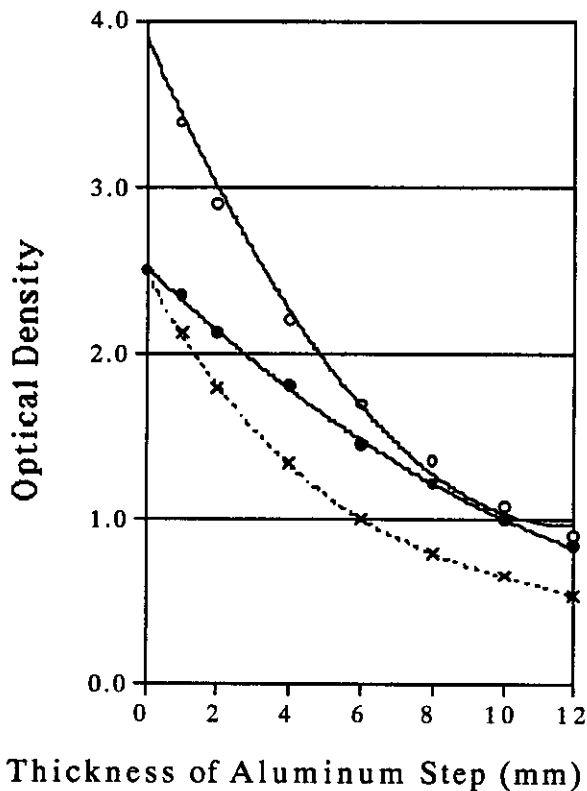


図3 X線過剰曝射・現像不足の黒化度曲線例：Dタイプフィルムを使用し、インスタント現像を行った(ED-S)画像(●)、(E-S)画像(○)、(R-S)画像(×)。(ED-S)●が(R-S)×より全領域で高濃度、(ED-S)●より、(E-S)○のほうが高濃度域で上方にあることから、(ED-S)●ではコントラストが不足していることがわかる。(E-S)○が(R-S)×の上方にあることから、X線過剰曝射であることがわかる。感度が61%と大部分を占めた。写真処理方

Figure 4

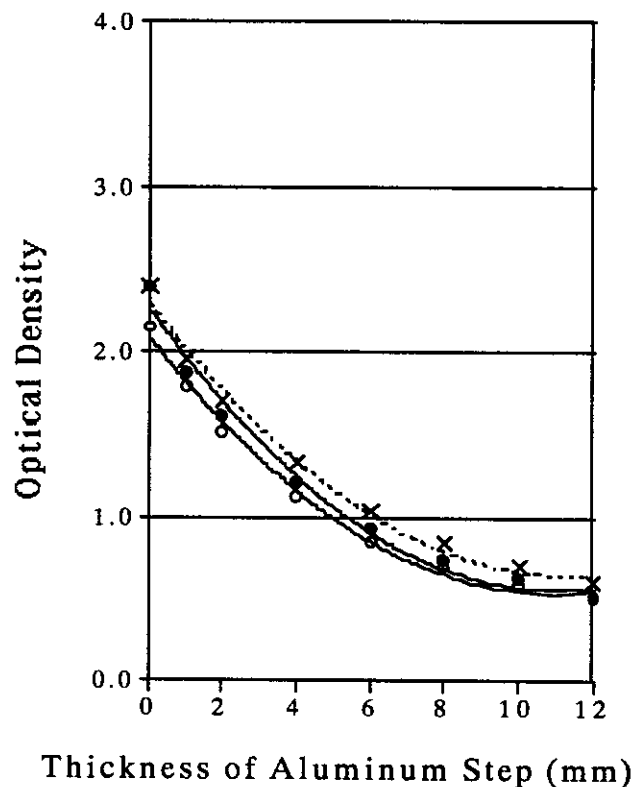


図4 理想的な黒化度曲線の例：Eタイプフィルム使用、自動現像機による写真処理。(ED-S)●、(R-S)×、(E-S)○がほとんど一致していることから、X線曝射、現像処理法が適切であることがわかる。

参照画像(R-S)とを比べると、ほぼ同等な写真濃度を有する写真が得られた施設は5施設、濃度が高いと判定されたのが7施設

設、濃度が低い施設が19施設 (61%) であった。各施設で照射のみを行い、大学で現像した画像 (E-S) と(ED-S) を比較すると、ほぼ同等な写真濃度を得られた施設が8施設、残りの23施設(74%)では、大学で現像を行った(E-S) 画像に比べて(ED-S)画像の濃度は低かった。特にインスタント現像を行っている施設において、(E-S) 画像に比べて(ED-S) 画像の濃度は著しく低かった。自動現像機を使用しながら現像不足 (写真濃度の低下) となった施設では、3分以下の写真処理時間 (現像、定着、水洗、乾燥の全過程) の設定を行っていたことから、現像時間の不足が原因と考えられる。(E-S) と参照写真(R-S) を比較すると、18施設 (58%) で(E-S) 画像の写真濃度が(R-S)より高く、多くの施設で過剰曝射が行われていることが明らかになった。

	フィルム感度グループ				
	C	D	E	合計	%
(ED-S) vs (R-S)					
低	9	10	0	19	61
高	0	5	2	7	23
等	0	4	1	5	16
(ED-S) vs (E-S)					
低	5	17	1	23	74
高	0	0	0	0	0
等	4	2	2	8	26
(E-S) vs (R-S)					
低	5	2	0	7	23
高	2	14	2	18	58
等	2	3	1	6	19

表2. フィルム感度グループ毎のテスト画像と参照画像における写真濃度比較

(ED-S)、(E-S)、(R-S)を相互に比較すると、過剰曝射を行い不十分な写真処理を行っていたと考えられる施設が16施設 (52%)、過剰曝射で、現像処理は適正であったのが3施設 (10%)、曝射は適正でも現像処理不足の施設が6施設 (19%)、曝射不足で適正な現像処理を行った施設が2施設 (6%)、曝射・現像ともに不足な施設が1施設であった。適正X線曝射を行っ

	フィルム感度グループ				
	C	D	E	合計	%
X線曝射状況					
適正	5	3	1	9	29
過剰	2	15	2	19	61
不足	2	1	0	3	10
合計	9	19	3	31	100
現像処理状況					
適正	5	2	2	9	29
過剰	0	0	0	0	0
不足	4	17	1	22	71
合計	9	19	3	31	100

表3. フィルム感度グループ毎のX線曝射と現像処理状況

	現像処理状況			合計	%
	適正	不足	過剰		
X線曝射状況					
適正	3	6	0	9	29
不足	2	1	0	3	10
過剰	3	16	0	19	61
合計	8	23	0	31	100
%	26	74	0	100	

表4. X線曝射状況と現像処理状況の纏め

ている施設は、9施設 (29%)、適正現像処理を行っているのは8施設 (26%) で、両者とも適正と考えられる施設は、わずか3施設 (10%) であった (表4)。

D. 考察

本研究では、郵送方式による口内法X線診断の質的保証プログラムを試験的に作成し、それを基に各歯科医療機関でテストフィルムのX線曝射を行い、アンケート用紙と共に返送されてきたフィルムを大学などのX線曝射方法と写真処理条件が適正である機関が解析する方式をとっている。この試験は卒後研修会の一貫として行われたが、濃度計を有する施設ならば、どこの施設においても、すべての歯科医院などを対象に簡単に照射条件、現像条件を調べることができる。経費は安価で、また時間もそれほどかからずに手軽に行うことができるので、大学等の教育機関が中心となり、

本方法を用いることにより、地域の診療所の質的保証を向上させることができると考えられる。

使用したアルミニウム階段の厚さは、1-12mmであるが、アルミニウムの厚さ1mmが軟組織約1cm相当、アルミニウムの厚さ12mmが大白歯のエナメル質の最も厚い部分を十分にカバーできることを考慮した。大きさは、一階段の大きさを10x5mm²として、標準型のデンタルフィルム3x4cm²で撮影できるよう7階段で、計10x35mm²とした。アルミニウム階段の厚さが10mm(6階段)の時に、参照写真(R-S)では約0.7の濃度となることから、6階段のアルミニウム階段でも十分と考えられる。

現在、D感度の白昼迅速現像処理(インスタント現像)が可能なデンタルフィルムが販売されているために、多くの施設でこの型のフィルムの使用されている(8/31)。しかしインスタント現像では、自動現像や手現像に比較すると、均一な現像処理をすることが難しく、写真濃度は不足しがちである。とくに、このことは高濃度領域で著しい。また同一撮影条件下における写真濃度の再現性は極めて低い。本方法で用いた撮影は、下顎前歯部といった最も照射線量が低い撮影条件で行われ、コントラストをそれほど必要としない部位であるが、この条件においてさえも、インスタント現像の欠点が顕著に表れた。上顎大白歯部等のように大きな照射線量と高いコントラストを必要とする部位においては、さらに差がでると考えられる。

本研究では、現像不足が計23施設と78%の施設で認められた。多くの歯科医院では、インスタント現像や不適切な現像処理条件による現像不足による濃度低下を補うために、結果的にX線曝射が過大になっていると考えられる。現像処理は自動現像機を使用しながらも、正しい現像時間の設定が行われていないことも原因としてあった。とくに簡易型の自動現像機は全写真処理過程(現像、定着、水洗、乾燥)で3分前後の設定となっており、必然的に現像不足を招くことが明らかにされた。また曝射時間に関しても問題がみられた。撮影部位ごとにあらかじめ設定された時間でしか設

定できないX線発生装置も存在する。このような型では、E感度のデンタルフィルムを用いたときには、最短の撮影時間である下顎前歯部の照射時間まで短縮できないようになっている。これらの解決法としては、アルミニウムフィルターの追加によって、照射線量率を軽減させる方法が必要であると考えられた。

過大曝射を現像不足で補う方法は、最適化の法則に明らかに反し、ICRPは行ってはいけないとしている。

研修会の受講後のアンケート調査では、画質の良いX線写真ができない原因が理解でき、その改善点を見いだすことができたという理由から、すべての受講者に好評であった。

E. 結論

本研究で用いた郵送法による試験的な質的保証プログラムは、一般歯科医療機関における口内法X線写真のX線曝射と写真処理過程が適切に行われているかについて、簡便で、しかも的確な判断材料を提供することが、本研究により明らかにされた。この方法により、我が国の一般歯科診療所では、不適切な写真処理や過剰なX線曝射が、かなりの頻度で行われていることを示唆するデータが得られた。今後、もっと広範囲の調査と、X線診断の質的保証プログラムの普及が望まれる。

F. 参考文献

1. 日本歯科放射線学会・放射線防護委員会編. 歯科診療における放射線の管理と防護. 東京: 医歯薬出版; 1994: 1-11
2. 佐々木武仁, 岩井一男, 岡野友宏, 加藤二久, 佐藤健児, 島野達也, 速水昭宗. 高感度フィルムを用いる口内法X線撮影に関するガイドライン. 歯科放射線. 1995; 35: 92-100
3. 一次歯科診療に対する放射線医学基準に関するガイドライン 王立放射線科医協会及び国立放射線防護庁報告-その2-(日本放射線学会放射線防護委員会訳). 歯科放射線. 1997; 37: 58-73

G. 研究発表

1. 佐々木武仁、加藤二久、岩井一男、岡野友宏、佐藤健児、島野達也、速水昭宗、和田真一、寿藤紀道：口内法X線撮影における患者の被曝線量及び半価層の測定 - 放射線防護委員会報告 - . 歯科放射線 40 (1) : 58-69 2000.
2. 森田康彦、菅田栄一、吉野教夫、加藤二久、河野一典、犬童寛子、佐々木武仁、野井倉武憲：高速らせんCT検査における患者被曝線量の低減. 歯科放射線 4 (3) : 187-199, 2000.
3. Sasaki T: Recent reappraisal on the effect of radiation in the low dose domain. In "Oral and Maxillofacial Radiology Today", H. Fuchihata ed., Elsevier Science B.V., Amsteram, 2000, pp. 3-8.
4. Katoh T, Sasaki T, Kotani H, Saitoh H, Negishi T, Ohbayashi N, Honda H: A digitizing and filing system of film-based intraoral radiography. In "Oral and Maxillofacial Radiology Today", H. Fuchihata ed., Elsevier Science B.V., Amsteram, 2000, pp.129-134.
5. Kurabayashi T, Ida M, Yasumoto M, Ohbayashi N, Yoshino N, Tetsumura A, Sasaki T: MRI of ranulas. *Neuroradiology* 42: 917-922, 2000.
6. Ono T, Otsuka R, Kuroda T, Honda E, Sasaki T: Effects of head and body position on two- and three- dimensional configurations of the upper airway. *J Dent Res* 79(11): 1879-1884, 2000.
7. Tetsumura A, Yoshino N, Amagasa T, Hagumo K, Okada N, Sasaki T: High-resolution magnetic resonance imaging of squamous cell carcinoma of the tongue: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 30: 14-21, 2001.

厚生科学研究費補助金（医薬安全総合研究事業）
分担研究報告書

新しい放射線治療装置の開発と放射線管理

分担研究者 青木幸昌 東大病院放射線医学教室助教授

研究要旨 ガントリーヘッドをCアームにマウントすることで円錐状にビームを入射させる機構と、マルチリーフコリメータの運動を連動させることで、歳差集光原体照射法を開発した。歳差集光原体照射法では、従来のライナックとは異なり、機械室と反対側の壁、天井は広く照射されることになる。本研究では、歳差集光原体照射法の概要を報告し、その漏洩線量を測定した。

A.研究目的

筆者らは、ガントリーヘッドをCアームにマウントすることで、X線発生部を直交する2軸に関して回転駆動させる機構(Cアームライナック)に60対のマルチリーフコリメータを組み合わせることで、歳差集光原体照射法を開発した。この照射方法はガントリー-回転とCアーム回転を組み合わせた原体照射であり、ビームはガントリー角度に応じた照射野形状をとりながら、円錐状にアイソセンターに集光する。複数の歳差集光原体照射を組み合わせることで、従来の原体照射より優れた3次元的に線量分布が得られる可能性がある。しかし、ガントリー回転のみを可能とする従来のライナックでは、治療室の壁と天井のうち、ビームが照射される一部だけの遮蔽が十分であったが、Cアーム回転により、機械室と反対側の壁、天井は広く照射されることになる。本研究では、Cアームライナックシステムと歳差集光原体照射の概要と、漏洩線量につき報告する。

B.研究方法

Cアームライナックシステム

照射部本体は、Cアーム、ガントリー、スタンド及びパルスから構成される。Cアームは名称が示すとおり“C”の字形状をしており、マグネトロン・電子銃・加速管・偏向電磁石・ターゲットなど主要な放射線発生用部品

を内蔵し、Cアーム先端部には一般放射線治療にも対応可能な60対の多分割絞りコリメータ(中央40対は5mm厚、外側20対は1cm厚、アイソセンタ深度)を装着している。ガントリーはCアームを保持するための構造部材であり、2本の円弧ガイドレールを介してCアームを回転可能なように結合している。ガントリー両側面にリトラクタブルバランスウェイトを設置し、ワイヤロープを用い滑車を介してCアームとつなぎ、Cアームの動きと逆方向に連動させることで、Cアーム回転に伴う、重心の位置の変動を解消した。

本装置の仕様の概要を以下に示す。

- (1)X線エネルギー 4MVまたは6MV
- (2)X線出力 0.4~2.0Gy/min (4MV)
0.6~3.0Gy/min (6MV)
- (3)照射野 最大40cm×40cm
- (4)ガントリー回転角度範囲 ±195°
- (5)ガントリー回転速度 0.1~1.0rpm
- (6)Cアーム回転角度範囲 0~60° (下向きを0°として)
- (6)アイソセンタ回転精度 ±0.5mm以下

C.研究結果

仮想的ターゲットに対して、本法と原体照射の線量分布をフィルム法などによって比較し、実際の腫瘍に対する治療計画上の線量分布を、DVHを用いて評価した結果、歳差集光原体照射法では、CT面上での線量集中度が高まり、頭尾方向の線量分布についても、ター

ゲット形状との相似を保っていたが、実症例でのDVH上の優劣は明らかではなかった。遮蔽計算に従い、治療室の側壁に厚さ20cm、天井に厚さ9cmの鉄板を、数カ所にわたり張った他、天井のコンクリートを70-140cm補強した。人体ファントムを寝台上に置き、腹部に設定したアイソセンタの吸収線量が300cGyとなるように10cm×10cmの照射野で照射した。ガントリー角度90度、180度、270度と、Cアーム角度0度、20度40度60度の組み合わせに対して、放射線治療室に隣接する多数の場所で、ガンマサーベイメーターを用いて漏洩線量を測定した。ガントリー角度、Cアーム角度の組み合わせに対する各測定点の漏洩線量の最大値を以下に示す。300cGyの照射に対して、最大でも6マイクロシーベルト以下の漏洩線量であることが確認された。

	C-arm=0°	C-arm=20°
Gantry=0°	0.38	0.44
Gantry=90°	5.12	5.1
Gantry=180°	4.48	3.52
Gantry=270°	5.60	5.44

(単位:マイクロシーベルト)

	C-arm=40°	C-arm=60°
Gantry=0°	0.52	0.66
Gantry=90°	4.96	4.64
Gantry=180°	4.64	1.20
Gantry=270°	4.96	5.12

(単位:マイクロシーベルト)

E. 結論

歳差集光原体照射法は、原体照射より優れた線量分布を提供する照射技法として期待される。従来ライナックよりも、はるかに広範囲に漏洩は起こりうるが、適切な遮蔽措置により、新法令下においても、問題ない線量範囲にあることが確認された。

F. 研究発表

1. 論文発表

Nakagawa K, Igaki, H, Aoki Y, Ohtomo K, Kawaguchi, H, Eto M.

A Quantitative Analysis of Rat Osteoporosis Model with a Microfocus X-ray Tube and Digital Radiography System. Radiation Medicine 17:165-168, 1999

Nakagawa K, Aoki Y, Ohtomo K, Albright N, Goer D.

Dosimetry of leakage doses from a mobile accelerator for IORT and legal issues for its clinical use in Japan. International Journal of Clinical Oncology 4: 215-219, 1999

Takeuchi T, Kozuka T, Nakagawa K, Aoki Y, Ohtomo K, Yoshiike K, Kanda T

Adeno-Associated Virus Type 2 Nonstructural Protein Rep78 Suppresses Translation in Vitro. Virology 266:196-202, 2000

Nakagawa K, Aoki Y, Tago M, Terahara A, Ohtomo K.

Megavoltage CT-assisted stereotactic radiosurgery for thoracic tumors. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics 48(2):449-457, 2000

Terahara A, et al

Analysis of dose distribution in gamma knife radiosurgery for multiple targets. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics 47:1431-1434, 2000

Nakagawa K, et al

Dynamic conical conformal therapy using a c-arm accelerator.

International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics (supplement)48:220, 2000

多湖正夫, 寺原敦朗, 中川恵一, 青木幸昌, 栗田浩樹, 辛正広, 河本俊介, 大友邦, 佐々木康人. 脳動静脈奇形に対するガンマナイフ後の合併症に関する検討. 定位的放射線治療 3:27-33, 1999

中川恵一, 井垣浩, 青木幸昌, 大友邦. 術中照射用移動式ライナック -漏洩線量と法律上の問

題-. INNERVISION 14(10):100-102,1999

中川恵一, 青木幸昌, 後藤正治, 長尾昌隆, 岸本
健, 札本博明, 鈴木保恒 C-armライナックと
歳差集光原体照射. INNERVISION
14(10):96-99 1999

2.学会発表

中川恵一, 寺原敦朗, 多湖正夫, 青木幸昌, 大友
邦. ライナック-CTによる転移性胸部腫瘍の
定位放射線治療. 日本医学放射線学会, 東京,
4.7, 1999

中川恵一, 寺原敦朗, 坂田耕一, 青木幸昌, 大友
邦. 照射計画の変遷と21世紀への展望. 日本頭
頸部腫瘍学会, 6.17-19, 舞浜, 1999

中川恵一, 青木幸昌, 寺原敦朗, 多湖正夫, 井垣
浩, 大友邦. Cアーム型ライナックによる歳差
原体照射法. 日本放射線腫瘍学会, 11.21, 横浜,
1999

G.知的所有権の取得状況

1. 特許取得
2. 実用新案登録
3. その他

平成12年度厚生科学研究費補助金（医薬安全総合研究事業）

「医療機関における使用済み放射線源及び診療用放射性同位元素の
管理の合理化等のあり方に関する研究」

分担研究報告書

分担課題：医療用放射性物質の線源保管状況調査と安全管理基準の研究

分担研究者：菊地 透 自治医科大学RIセンター管理主任

研究要旨

医療機関では、約500施設において密封された放射性同位元素の線源が保管されている。これらの線源は合理的な安全管理体制の基に、線源の受け入れから使用・貯蔵及び保管と線源廃棄までの線源管理サイクルの確立が必要である。しかし、最近これらの線源の紛失や法的手続きの不備な線源が発見される等により、社会的な不安を助長する問題が散見している。また、今回の医療法施行規則の改正により、さらに密封線源の利用が拡大する状況がある。そのため、医療機関における医療用密封線源の保管状況を調査し、密封線源の利用施設における線源核種と数量及び安全管理について解析した。また、この解析結果を参考に医療機関の線源保管状況に関するアンケート調査を検討し、密封線源の保管管理と使用済み線源の合理的な安全管理基準を研究した。

A. 研究目的

わが国における医療用放射性物質の密封線源は、診療用放射線照射装置と診療用放射線照射器具及び放射性同位元素装備診療機器として、現在約500施設の医療機関で利用され保管・貯蔵されている。特に、放射性同位元素装備診療機器は、平成元年に新しい密封線源に関する独自の改正として、①骨塩定量分析装置、②ECD付きガスクロ、③輸血用血液照射装置の密封線源の保管が加わり、さらに今回の法令改正が平成13年4月1日より施行することで、適切な防護措置を講じた場合や汚染防止措置及び、放射線診療従事者の被ばく量の低減が十分に保証された場合には、SPCET・PET装置等の核医学撮像装置の吸収補正用線源及び、インターベンショナルラジオロジー（IVR）において血管内放射線治療用線源として、新たに密封線源の保管が増加されると共に使用済み線源管理が増大すると考える。

また、医療法施行規則等の法規制が整備される以前から、医療機関ではRa-226線源等の医療用放射性物質が利用されていた経緯から、使用済み線源としてその後も法的手続きが不備な状況で保管されていると推察される。そのためこの最近においても、医療機関の使用済み密封線源に関連する放射線事故・異常が散見しており、適正な放射線診療に対する社会的な不安の要因となっている。

そのため、放射線医療の安全利用を図るために、医療用放射性物質の線源保管状況調査を実施し、合理的な密封線源の安全管理基準の策定を検討する。また、今回の法令改正に

伴う新しい医療技術の導入により、今後さらに多様化する線源保管に対応した放射線安全管理基準と事故防止対策の安全と安心に関する研究を目的とする。

B. 研究方法

医療機関における密封線源の保管状況を調査するために、日本アイソトープ協会より毎年発行されている「放射線利用統計」（監修：科学技術庁原子力局）を基に、1970年度から1999年度までについて、医療機関における密封線源に関する放射線障害防止法の許認可施設を解析した。また、文部科学省（旧科学技術庁）からの医療機関における密封線源の事故・異常報告を参考に事故状況と事故原因を解析し、密封線源の安全管理基準を考察した。さらに、これらの線源状況を考慮しつつ、全国の密封線源を保有する医療機関に対してのアンケート調査を実施する。

C. 研究結果

1. 医療機関における密封線源の利用統計

1. 1 密封線源の利用状況

わが国における1970年度から1999年度の放射線障害防止法に基づく密封線源利用施設は、表-1に示すとおりである。現在の密封線源は4,169施設において利用されており、医療機関では471施設において密封線源が利用されていると推測される。なお、これらの施設は線源を利用するために許認可がされている施設であり、必ずしも線源が保管されているとは限らない。医療機関の線源利用施設の年度推移は、1982年度をピークに減少傾向である。また、1970年度では、医療機関が全体の32.6%を占めていたが、現在は全体の11.3%である。また、病院等の開設者別の推移を表-2に示す。1970年代までは、3.7GBq以下の密封小線源である届出施設の割合は、3割前後であったが、現在は3%程度まで減少しており、大半は許可施設である。なお、これらの医療機関における放射線利用形態を表-3に示す。利用形態は放射線治療が中心であり、1970年代までは密封線源の利用が主体であったが、1980年代から高エネルギー発生装置の利用が主体へと推移している。現在、治療用の密封小線源は288施設で利用されており、治療用以外の密封小線源は1990年度をピークに減少しており、現在は20施設である。

1. 2 線源核種別の利用状況

医療機関における密封線源の核種別利用状況を表-4に示す。現在の医療機関では、Co-60が277施設で利用されており続いて、Sr-90、Cs-137、Ir-192、Ra-226、Au-198の順である。なお、Ra-226線源は1973年度をピークに減少しており、逆にCs-137線源が1990年代から増加しているのは、放射性同位元素装備診療機器の法令改正により輸血用血液照射装置の普及であり、Ir-192の増加はアフターローディングシステムの普及である。また、放射性同位元素装備診療機器のECDガスクロマトグラフィや骨塩定量分析用線源は、表-5に示すとおりであり、前者は1980年代前半及び後者は1990年代前半をピ

一クに減少しており、現在は共に 30 施設足らずである。

1. 3 R a-226 線源の廃棄状況

医療機関における密封小線源の利用施設状況の推移を表-4 で示したとおり、R a-226 線源は急激に減少している。これは、ICRP Publ. 33 (1984) でも強く勧告されているとおり、実施しうるかぎり早く R a-226 線源を廃棄するように関係機関からも推奨されているためである。そのため、C o-60 のような危険性の少ない核種に置き換わっており、1973 年から減少傾向となり 1999 年度の 26 年間に 328 施設で、R a-226 線源が廃棄されたと推察される。

2. 密封線源の医療機関における事故・異常事例

2. 1 わが国の放射線事故

わが国においては、放射線障害防止法の事故届によると、昭和 33 年から平成 10 年度の 41 年間で 111 件の事故届がある。この内 42 件が医療機関である。この医療機関での事故届の大半は、密封小線源の紛失が 34 件で大半を占めている。また、34 件の線源紛失となった放射線源の放射性核種は、R a-226 が 21 件、C o-60 が 8 件で全体の 85% を占めている。なお、紛失線源の事故時の数量は、0.1GBq 以下が 14 件であり、1 GBq 以下の線源が全体の 9 割近く占めている。

なお、実際に放射線障害が生じた事例としては、治療用 C o-60 密封線源 (37GBq) を模擬線源と誤認し、医師が直接手に持って軽い皮膚障害が生じた事故が 1 件ある。

2. 2 最近の密封線源の異常事例

最近の医療機関で密封線源の事故・異常事例として報道されただけでも 12 件あり、7 件が未許可線源の所持 (いわゆる沸き出し線源) と線源の紛失が 4 件であり、1 件が屑鉄業者からの発見である。

①1999 年 3 月 24 日：埼玉県立がんセンターで、A u-198 (直径 0.8mm、長さ 2.5mm) の 1 個が、線源のため個数確認のためピンセット操作中に飛び跳ねて紛失。なお、線源の数量は購入当時に 185MBq であったが、紛失時点では $1.85\text{MBq} \times 10^{-260}$ まで減衰していた。実質的には自然環境中のレベルで、A u-198 の放射能はゼロである。

②1999 年 10 月 18 日：国立国際医療センターで、C f-252 線源廃棄を行ったところ 3 個中の 1 個が模擬線源であった。そのため、C f-252 線源の購入当時 591MBq (現時点約 4MBq) が所在不明となった。被ばくへの影響は、1m の距離で約 $5 \mu\text{Sv/h}$ である。

③1999 年 11 月 24 日：高知県立中央病院で、C s-137 線源の購入当時 2.22MBq (紛失時点 1.27MBq) が紛失した。

④2000 年 1 月 20 日：山口赤十字病院で、職員の一般住居である実家の納屋に、戦前からの R a-226 線源 (推定 74MBq) を未許可で所持していた。

⑤2000 年 2 月 1 日：九州大学医学部附属病院で、非管理区域の皮膚科婦長室から R a-226 線源 (推定 74MBq) を未許可で所持していた。被ばくへの影響は、鉛容器から 1m の距離

で約7.3 $\mu\text{Sv/h}$ である。

⑥2000年3月1日：尾鷲総合病院（三重県）で、放射性医薬品貯蔵室からSr-90線源を未許可で所持していた。

⑦2000年3月8日：高松赤十字病院で、ラジウム保管室から昭和30年代後半に、他の医療機関から持ち込まれたと考えられる、Ra-226線源（2個）を未許可で所持していた。なお、保管されていた金庫表面に汚染が検出された。

⑧2000年3月15日：名古屋市立城北病院で、非管理区域の倉庫内保管庫からRa-226線源（185MBq/個）10個を未許可で所持していた。被ばくへの影響は、保管庫周辺からは有意な放射線が検出されていないことから、被ばくの問題はない。なお、Ra-226線源は、昭和31年に購入した物である。

⑨2000年3月21日：東邦大学医学部附属病院で、RI準備室貯蔵箱からCo-60線源の管3本と平板1個を未許可で所持していた。なお、被ばくへの影響は、管理区域内の貯蔵箱に保管されており、被ばくの問題はない。

⑩2000年5月9日：兵庫県の杜島文（K.K）の金属スクラップから、Ra-226線源（74MBq/本）の針4本を発見。線源は、鉛容器に入っており汚染の検出はない。なおRa-226線源が、金属スクラップ中に混在したことは、放射性物質の不法廃棄が考えられる。

⑪2000年5月12日：東京慈恵会医科大学附属病院で、移設後のRI貯蔵室の戸棚から、放射性物質を3個発見。測定の結果は、楕円柱状の物の表面で400 $\mu\text{Sv/h}$ 、円柱状物の表面で200 $\mu\text{Sv/h}$ であり、周辺戸棚等からは汚染の検出はない。

⑫2000年10月18日：高知市内の元個人病院長宅の2階物置に球形の鉛容器に、Ra-226線源が、既に25年以上経過して放置されていた。容器表面から20cmの距離で5.6 $\mu\text{Sv/h}$ であり、周辺への影響は無視できるレベルである。

2.3 諸外国での重大事故例

わが国においては、医療機関からの密封線源の放射線事故によって致命的な大事故は発生していない。しかし、諸外国では最近いくつかの大きな事故が起きており、事故の教訓として類似の事故防止に努める必要がある。なお、最近わが国でもRa-226線源が金属スクラップに混在したことは、線源の数量が少量ではあるが、本質的には重大事故への可能性を示している。

1) 治療用Co-60照射装置による過剰照射

①1996年8月、コスタリカの病院において、放射線治療時に通常の照射線量の50-60%増に気が付かずに115名の患者に過剰照射が行われた。その結果、42名が死亡しその内3名は消化管出血等の明かな放射線障害が原因と思われる死亡であった。その他にも4名が、放射線の過剰照射の影響を否定できない死亡であり、生存者の46名の患者には、今後も経過観察が必要とされる放射線障害が発生した。原因は、Co-60線源入れ替え時の線量率変更を行う際の簡単な線量計の校正と線量計算ミスである

②同様な事故は以前に米国のオハイオ州でもCo-60照射装置の減衰率表を間違え線量計

算ミスで、420名の患者に過剰照射を行い、約20名の患者が過剰照射で死亡している。

③中国の武漢市の病院においては、治療用 $Co-60$ 照射装置による従事者と患者の過剰照射がある。原因は、 $Co-60$ 装置の線源(111TBq)が照射中の位置に気付かずに、貯蔵中と勘違いし、照射中の照射室内にて、治療準備、患者の位置決めを行っていた。そのため、患者、技師ら21名が過剰被ばくを受け、3名が死亡している。

2) 遠隔照射装置の密封線源の盗難事故

①ブラジルのゴイアニア市民の $Cs-137$ 汚染事故

1987年9月にブラジルのゴイアニア市内の閉鎖された病院より、治療用照射装置の $Cs-137$ (51TBq)線源ユニットが盗難された。盗人らは、放射性物質であることを認識しないまま、線源容器を解体し多くの一般市民が $Cs-137$ 汚染のため内部被ばくを受け、4名が死亡した。

②タイの $Co-60$ 線源の盗難

2000年2月にタイで同様な事故が発生しており、使用済みの治療用遠隔照射装置の $Co-60$ 線源が、病院の駐車場に放置されて線源ユニットが盗難された。その結果1名が死亡し、5名が重症である。

3) 密封線源の金属スクラップへの混入

1983年に、メキシコの病院で廃棄処分した治療用 $Co-60$ が屑鉄のスクラップ業者で再生鉄に混入された。この鉄は主にテーブルのスチール材として製品化され米国に輸出された。そのためメキシコと米国市民らが、 $Co-60$ 含有のスチール材により、過剰被ばくを受けたが、重篤な放射線影響はない。

なお、このような事故は、わが国でも最近の輸入コンテナの金属スクラップや金属スクラップ業者から、放射性物質が検出されている。そのため、金属スクラップ業者は放射線測定器を整備し、自主的に測定を行っている。放射性物質の核種や放射線レベル等、国際的な規制が必要である。

4) 治療用照射装置取扱中の技術者の過剰被ばく

1973年12月にチェコスロバキアで、治療用 $Co-60$ (111TBq)照射装置の線源交換時に、取扱い技術者の2名が装置シャッター機構の誤動作で、遮蔽にスリット状の隙間が生じていることに気付かず過剰被ばくを受けた。1名の技師の被ばくは手に10Gy以上の線量を受け、左手指4本の切断、左目に白内障が生じた。なお、過剰被ばくの発見が遅れた原因は、装置取扱中に使用していたGMサーベイメータのGM管が窒息現象で異常を感知できず、翌年の1月にフィルムバッジの結果が出るまで、過剰被ばくに気付かなかった。

また、わが国でも1998年の6月に、沖縄県の病院において放射線治療用アフターロリング装置の $Ir-192$ 線源の交換作業中に放射線診療従事者の医師と診療放射線技師が過剰被ばくした。なお、被ばく線量は手の皮膚被ばくは370mSv(当初は100Svと報道)であり、この被ばくによる健康被害は認められていない。

5) アフターロリング装置の線源脱落