

《ノート》

核医学診療科外来の床表面汚染

Surface Contamination on Floor Inside Controlled Area

森 厚文* 折戸 武男** 真田 茂** 天野 良平**
久田 欣一*

Hirofumi MORI*, Takeo ORITO**, Shigeru SANADA**,
Ryohei AMANO** and Kinichi HISADA*

*Department of Nuclear Medicine, School of Medicine,

**School of Paramedicine, Kanazawa University

I. はじめに

放射線管理の1つとして床表面汚染の管理があり、法規(医療法施行規則第30条の22)により、1か月に1回以上測定することが義務づけられている。一般にその測定方法として、サーベイメーター、フロアモニタ、スミヤ法が用いられている。しかし事故的に汚染した場合を除けば上記の方法ではほとんど検出されない。したがって一般に床表面汚染に関する関心が薄く、またこれに関する報告もほとんどみあたらない。

われわれは当科外来の管理区域内及び境界の床にマットシートを敷きGe(Li)半導体検出器にて測定を試み若干の知見を得たので、放射線管理上の問題点に関する検討も加え報告する。

II. 材料ならびに方法

金沢大学医学部附属病院核医学診療科外来の管理区域内(RIの注射をする部屋)及び境界の出入口にマットシート(ダイセルHPマット、成分は

ポリプロピレンとポリエチレンから成り58×85cmの大きさ)を敷き0.5~10日毎に取り替えた。そのマットシートを約8×8cmの大きさに折りたたみポリ袋に封入し、Ge(Li)半導体検出器及びORTEC製4096チャンネルPHAでエネルギー分析を行った。次に標準試料として既知量(0.5μCi)の^{99m}Tc、¹¹¹In、¹³¹Iをマットシートにほぼ均一に1mlシリソジで滴下し、その標準試料測定結果からEnergy-Efficiency curveを作成し、これを用いて採取試料の定量を以下の如く行った。すなわちプリンターから打ち出されたカウント数を各ピーク毎に正方眼紙に描き、バックグラウンドを差し引いたピーク面積(カウント数)を算出し(Nc)、真のγ線の数(Nt)をNt=Nc/Eff×e^{-λt₁}×

$$\frac{\lambda t_2}{1-e^{-\lambda t_2}}$$

より求める。次にこの値と各核種のNuclear Dataからマットシートに汚染した放射能量を求めた。なおEff=測定効率、t₁=試料採取から測定開始までの時間、t₂=測定時間、λ=崩壊定数とする。採取試料の測定は512秒で行い、放射能量が少ないものについては誤差を少なくするため40960秒にて再測定を行った。

床表面汚染の原因として、床へのRIの滴下及び、汚染した床に接触したスリッパよりの汚染の

* 金沢大学医学部核医学科

** 金沢大学医療技術短期大学部

受付: 54年9月21日

最終稿受付: 54年9月21日

別刷請求先: 金沢市宝町13-1 (〒920)

金沢大学医学部核医学科

森 厚文

Key words: Surface contamination, controlled area,
^{99m}Tc, ¹³¹I, ¹¹¹In

Table 1 Density of surface contamination ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) on plastic floor mat located at boundary of controlled area

	Apr. 25 (AM9:00) -27 (AM9:00)	Apr. 27 AM9:00- PM1:30	Apr. 27 (PM1:30) -May 2 (PM1:30)	May 2 (PM1:30) -9 (PM0:30)	May 9 (PM0:30) -12 (PM3:30)	May 12 (PM3:30) -22 (PM2:00)
^{99m}Tc	—*	3.0×10^{-7}	5.3×10^{-7}	3.2×10^{-6}	1.6×10^{-7}	2.2×10^{-6}
^{131}I	1.1×10^{-7}	1.2×10^{-7}	1.1×10^{-7}	3.0×10^{-8}	2.2×10^{-8}	—*
^{111}In	8.5×10^{-6}	2.2×10^{-6}	1.3×10^{-6}	1.2×10^{-7}	4.5×10^{-8}	—*

* not detectable

Table 2 Density of surface contamination ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) on plastic floor mat located at workplace inside controlled area

	Apr. 25 (AM9:00) -27 (PM9:00)	Apr. 27 (AM9:00) -May 2 (PM1:30)	May 2 (PM1:30) -9 (PM0:30)	May 9 (PM0:30) -12 (PM3:30)	May 12 (AM3:30) -22 (PM2:00)
^{99m}Tc	—*	8.7×10^{-7}	1.2×10^{-5}	2.8×10^{-7}	2.6×10^{-5}
^{131}I	9.7×10^{-8}	—*	7.9×10^{-8}	2.2×10^{-8}	1.3×10^{-8}
^{111}In	6.2×10^{-7}	4.1×10^{-7}	6.2×10^{-8}	3.4×10^{-8}	—*

* not detectable

拡散が推測されたので、1)床材(リノリウム)よりスリッパ、2)スリッパより床材、3)スリッパよりマットシート、4)マットシートよりスリッパへの付着率に関するモデル実験を行った。核種として $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を用い、スリッパは底の材質が軟質スポンジ、硬質スポンジ、合成皮革の3種類を用い、測定はアニマルカウンター(アロカ株)製ユニバーサルガンマカウンター JGC-101 B)にて行った。

III. 結 果

管理区域の境界におけるマットシート1枚の汚染をみると、 ^{99m}Tc は最大 $1.6 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}$, ^{131}I は $6.0 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$, ^{111}In は $4.2 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}$ であった(測定器の検出限界を 3σ と仮定すると、40,960秒測定で ^{99m}Tc は $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{シート}1\text{枚}$, ^{131}I は $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{シート}1\text{枚}$, ^{111}In は $10^{-5} \sim 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{シート}1\text{枚}$)。これを表面汚染密度($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)で表現した値を Table 1 に示す。 ^{99m}Tc の表面汚染密度は最大 $3.2 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, ^{131}I は $1.2 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, ^{111}In は $8.5 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ であった。Table 2 に RI を注射する部屋の入口に敷いたマットシートの表面汚染密度を示す。 ^{99m}Tc の表面汚染密度は最大 $2.6 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, ^{131}I は $9.7 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, ^{111}In は $6.2 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ であった。床表面汚染

Table 3 Fraction* of surface contamination of ^{99m}Tc

	Amount of ^{99m}Tc used (mCi)	Fraction of surface contamination (cm^{-2}) A ⁺	B ⁺⁺
April 26**	270	—***	—***
27	180	1.7×10^{-12}	
May 2	250	2.1×10^{-12}	3.5×10^{-12}
9	380	8.4×10^{-12}	3.2×10^{-11}
12	140	1.1×10^{-12}	2.0×10^{-12}
22	300	7.3×10^{-12}	8.7×10^{-11}

+ A: boundary of controlled area

++ B: workplace inside controlled area

* expressed as cm^{-2}

** measured April 27, 1979

*** not detectable

は当然使用量によって影響されることが推定されるので、使用量とマットシートの表面汚染密度との関係を検討した。 ^{99m}Tc の場合、測定した汚染量を使用量で除すことにより表面汚染の割合を求めたが、計算を簡単にするため使用量として測定当日の使用量と前日の使用量の $1/16$ (減衰を考慮)を合計した値を用いた。その結果を Table 3 に示すが管理区域の境界では $1.1 \times 10^{-12} \sim 8.4 \times 10^{-12} / \text{cm}^2$ と測定日によって余り大きく変動しなかったのに対し、RI を注射する部屋では $2.0 \times 10^{-12} \sim 8.7 \times 10^{-11} / \text{cm}^2$ と測定日によって大きく値が異なる。一方 ^{131}I , ^{111}In の場合、半減期が比較的長

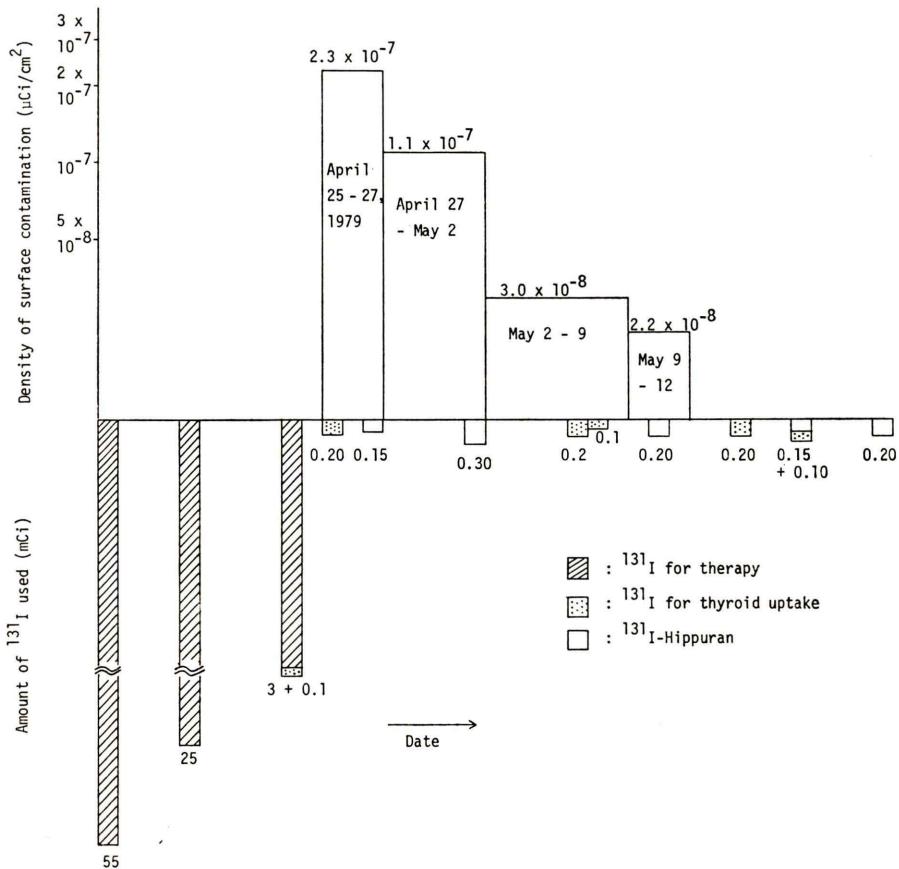


Fig. 1 Relation between amount of ^{131}I used and density of surface contamination on bounding of controlled area.

いため ^{99m}Tc の様に表面汚染の割合を簡単に求めることができない。従って Fig. 1,2 に示すように、横軸に測定年月日、縦横(上段)に管理区域の境界におけるマットシートの表面汚染密度($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)、縦軸(下段)に ^{131}I あるいは ^{111}In の使用した日におけるその使用量をとり、表面汚染密度と使用量との関係を棒グラフで表示した。 ^{131}I の場合、甲状腺摂取用 Na^{131}I 、レノグラム用 ^{131}I -ヒッパンよりの汚染はほとんど認められず、甲状腺癌で ^{131}I 大量療法あるいは甲状腺機能亢進症で ^{131}I 療法を受けた患者(外来と RI 治療室は同じ管理区域内に存在する)よりの汚染が最も疑われた。 ^{111}In の場合、4月25日に RI システルノグラフィー用として $^{111}\text{In-DTPA}$ を 2mCi 使用した翌日に

最も高い汚染が検出された。しかしその後は日が経つにつれ ^{111}In の半減期より早い割合で汚染量が減少し、5月17、18日にそれぞれ 1 mCi ずつ使用した5~6日後の5月22日に測定しても汚染は検出できなかった。このように RI システルノグラフィーは不注意に操作すると汚染する可能性が高いことが示唆される。

Table 4 に 1) 床材(リノリウム)よりスリッパ、2) スリッパより床材、3) スリッパよりマットシート、4) マットシートよりスリッパへの付着率のモデル実験の値を示す。いずれも RI 滴下直後の方が自然乾燥後よりも高い付着率を示した。3種の材質のうち合成皮革は他の 2 種と比較して(湿った状態での床材よりスリッパ、マットシートよ

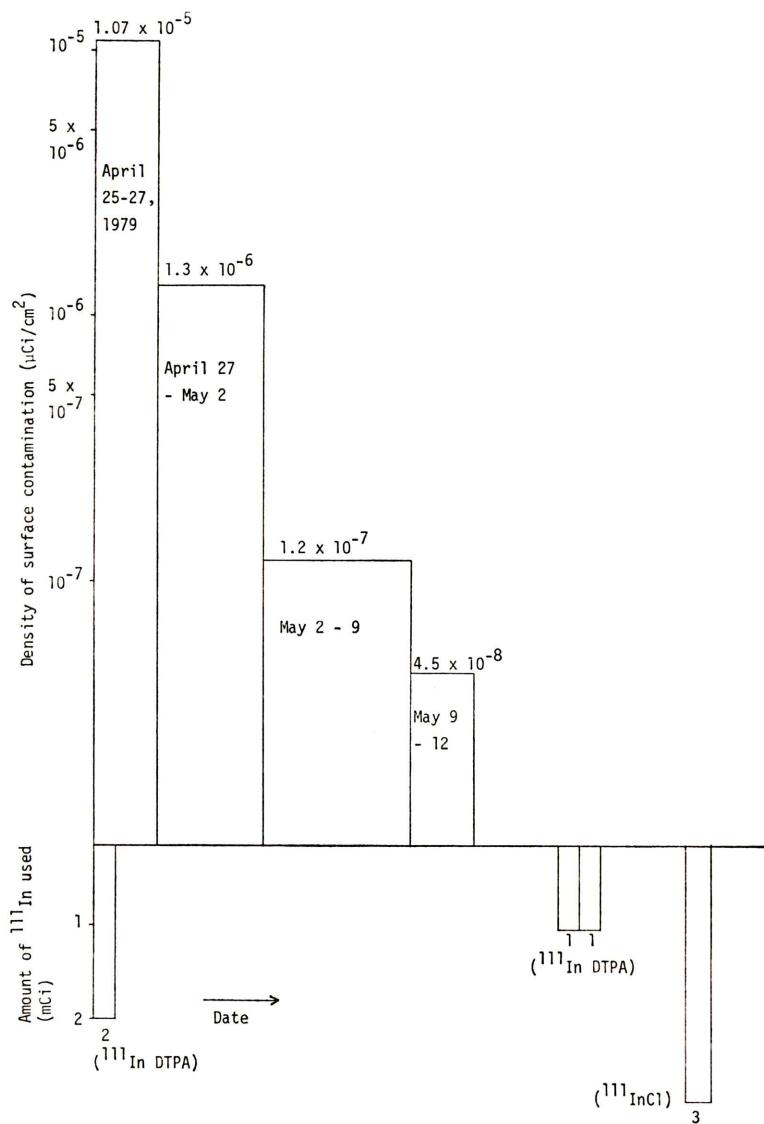


Fig. 2 Relation between amount of ^{111}In used and density of surface contamination on bounding of controlled area.

りスリッパへの付着率が若干小さいことを除けば、付着率が高かった。軟質スポンジと硬質スponジを比較すると、床材よりスリッパ、スリッパよりマットシート(乾燥した状態)、マットシートよりスリッパへの付着率は軟質スポンジの方が高い値を示し、一方スリッパより床材、スリッパよりマットシート(湿った状態)への付着率は硬質

スポンジの方が高い値を示した。

IV. 考 察

本邦では核医学診療の外来の管理区域内に入りする際、スリッパをはきかえることを義務づけている施設が多いが、外国の実情などよりその必要性に関して疑問を有する人も少なくないと考え

Table 4 Adhesion fractions* of $^{99m}\text{TcO}_4^-$ for slipper in relation to flooring and plastic floor mat

	soft sponge**		hard sponge**		synthetic leather**	
	A***	B****	A***	B****	A***	B****
flooring → slipper ⁺	43.3	4.5	31.5	2.5	28.1	11.3
slipper → flooring ⁺⁺	45.0	2.9	49.9	3.7	72.9	5.5
slipper → plastic floor mat ⁺⁺⁺	23.9	7.4	44.8	3.9	74.3	7.7
plastic floor mat → slipper ⁺⁺⁺⁺	50.5	10.2	38.3	6.0	34.5	33.1

* expressed as %

** materials for sole of slipper

*** before dryness

**** after dryness

⁺ adhesion fraction from flooring with $^{99m}\text{TcO}_4^-$ dropped to slipper⁺⁺ from slipper with $^{99m}\text{TcO}_4^-$ dropped to flooring⁺⁺⁺ from slipper with $^{99m}\text{TcO}_4^-$ dropped to plastic floor mat⁺⁺⁺⁺ from plastic floor mat with $^{99m}\text{TcO}_4^-$ dropped to slipper

られる。通常の定期的な床表面汚染の測定では汚染は検出されない場合が多いが、1) 測定部位以外の場所が汚染している、2) 従来の測定方法で検出できない汚染が存在する可能性を否定できない。そこでわれわれは手術室などに利用されているスリッパ、空中の塵あいを吸着するマットシートを管理区域内で最も汚染の危険性の高い部屋及び管理区域の境界に敷いて、核種識別ならびに検出感度が優れている Ge(Li) 半導体検出器を用いて測定を試みた。その結果 ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{111}In の汚染が検出された。一方測定期間中には ^{201}Tl , ^{75}Se , ^{133}Xe , ^{67}Ga , ^{125}I (RIA 用) などが使用されたが、いずれも汚染は検出されなかった。このように ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{111}In のみが検出された原因として、 ^{99m}Tc は診断用、 ^{131}I は治療用 (^{131}I 治療を受けた患者を介しての汚染) として大量使用したため汚染量が比較的多く、一方 ^{111}In は使用量は少ないが、脳槽シンチグラフィー施行時に RI 注入の際、誤って汚染されたものと考えられる。なお ^{111}In 汚染は検査に慣れていない人が RI 注入を行った 4 月 25 日に起きたと推定され、その後は日が経つにつれ汚染が減少していくのが認められた。管理区域内の RI を注射する部屋(ただし RI アンギオグラフィーを施行する場合は、シンチカラマのある測定室にて注射する)と、管理区域の境界を比較すると、 ^{99m}Tc は RI を注射する部屋の方が汚染が多いのに対し、 ^{131}I , ^{111}In は管理区域

の境界の方が多かった。これは ^{99m}Tc は RI を注射する部屋で注射する場合が多いのに対し、治療用 ^{131}I , $^{111}\text{In-DTPA}$ は他の部屋にて投与されたためと考えられる。それぞれの核種の汚染量は表面汚染密度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) で表現すると、いずれも法規で定める許容表面密度の 1/10 すなわち $10^{-4}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 以下であった。

しかし管理区域の境界のマットシートを敷いてない部位の床のスミヤテストを行っても汚染は検出されないことからわかるように、マットシートによって初めて汚染が検出されている。このことよりマットシートの汚染はその大部分はスリッパを介しての汚染と推測される。すなわちスリッパの汚染は、事故的あるいは無意識に RI を滴下した床汚染に由来し、床材よりもマットシートの方が付着率が高いため検出されるようになったと考えられた。そこで 1) マットシートの汚染からある程度汚染の状況を知ることができること、2) 何枚かマットシートを広範囲に敷くことにより、スリッパに汚染した RI が大部分マットシートに付着し、管理区域の境界にいちいちスリッパをはきかえる必要がなくなることを期待して、(1) 床材からスリッパ、(2) スリッパから床材、(3) スリッパからマットシート、(4) マットシートからスリッパへの RI の付着率に関するモデル実験を $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を用いて行った。その結果、まず第 1 におのおのの付着率はスリッパの底の材質及び滴下

した $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の乾燥度によって大きく影響を受けることがわかった。当然核種ならびにその化学形のみならず管理区域内を歩く人の体重、歩き方などによっても付着率は影響を受けると考えられる。従ってマットシートの汚染より、スリッパの汚染量などの汚染の状況を推定することは困難であると同時に、マットシートを広範囲に敷いてもスリッパの汚染は著しく減少するという保障は得られないといえる。表面汚染に関する現行の法規の正当性についていくつかの疑問はあるが、現行の法規に忠実に従うとすれば矢張りスリッパをはきかえる必要があると考えられる。すなわち、(1) 事故的に汚染、あるいは無意識に比較的多量の汚染をする危険性を否定できない、(2) たとえマットシートの表面汚染が法規で定める値以下であっても、多数のスリッパにはほぼ均等に汚染しているのではなくて、少数のスリッパに比較的多くの汚染(法規で定める値以上)が存在し、その汚染の一部しかマットシートに付着しない可能性が十分疑えるからである。スリッパをはき変える必要があるとすれば、次に問題になるのはどんな材質のスリッパを使用すれば放射線管理上最も望ましいかということである。今回のモデル実験では、合成皮革が最も汚染を拡散しやすい材質と考えられた。すなわち合成皮革は表面が平滑で接着性が強いため、乾燥後は他の2種の材質と比較して付着率が高く、また湿った状態では疎水性のため床材よりもスリッパへの付着率は若干小さいが、スリッパより床材への付着率は高い。軟質スポンジと硬質スポンジは(スポンジの密度により硬度が異なる)、床材よりもスリッパへの付着率は軟質スポンジの方が高いのに対し、スリッパより床材への付着率は硬質スポンジの方が高い。従ってどちらが放射線管理上望ましいかに関する評価は困難であるが、総合的には硬質スポンジの方が幾分床の汚染を広げにくくと考えられる。現在のRI専用のスリッパは合成皮革あるいは軟質スポンジが多いことを考慮すると、スリッパの材質に関して更に検討する必要があると考えられる。

モデル実験を実施する前は、スリッパの汚染は

マットシートの方が床材よりも格段に付着しやすいと考えられたが、実験結果は湿った状態ではむしろ床材の方が付着しやすく、また乾燥した状態ではマットシートの方が床材よりも、約1.1～2.6倍高いだけであった。これは床の汚染はスミヤ法で検出されないので対し、マットシートにて初めて汚染が検出されたという事実に反する。しかし実験の汚染の拡散は、今回行ったモデル実験と異なって床あるいはスリッパの塵あいを介して拡散し、またマットシートはスリッパあるいは空中の塵あいを集収する目的で一般に使用されていることを考慮すれば、実際の汚染はマットシートの方が有意に付着しやすいと推測される。従って塵あいの介在などを加味した実際により近いモデル実験を現在検討中である。

V. 結 語

核医学診療科外来管理区域内及び境界にマットシートを敷いて、Ge(Li)半導体検出器にてその汚染核種ならびに汚染量の測定を行うと共に $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を用いた付着率のモデル実験を行い以下の如き結論を得た。

1) 管理区域の境界の床を直接スミヤしても汚染は検出されなかつたが、マットシートに ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{111}In の汚染が検出された。しかしその他の ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{75}Se , ^{125}I , ^{133}Xe などの核種の汚染は検出できなかつた。

2) これらの ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{111}In のマットシートへの汚染を表面汚染密度で表現すると、管理区域の境界では ^{99m}Tc は最大 $3.2 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, ^{131}I は $1.2 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, ^{111}In は $8.5 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ であり、いずれも法規で規制する値以下であった。

3) 管理区域のRIの注射をする部屋でも管理区域の境界と同様に ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{111}In の汚染が認められたが、 ^{99m}Tc の汚染は管理区域の境界よりも多いのに対し、 ^{131}I , ^{111}In は少なかつた。

4) ^{99m}Tc は診断、 ^{131}I は治療用として大量使用するため汚染量が多く、一方 ^{111}In は使用量は少ないが脳槽シンチグラフィー施行時に RI 注入に気をつけないと汚染する可能性が普通の静脈注射

よりも高いと考えられた。

5) マットシート汚染は、スリッパに付着したRIに起因すると考えられ、現行の法規の正当性に関して問題点は残されているが、法規を遵守すれば、スリッパをはきかえる必要がある。

6) $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を用いた付着率に関するモデル実験では $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の乾燥度ならびにスリッパの種類によって異なった。乾燥した状態では、床材か

らスリッパへの付着率は 2.5~11.3%，スリッパから床材は 2.9~5.5%，スリッパからマットシートは 3.9~7.7%，マットシートからスリッパは 6.0~33.1% であった。

7) 3種のスリッパのうち硬質スポンジが一番汚染を拡散しにくいと考えられたが、管理区域内に使用するスリッパの材質について更に検討する必要があると考えられた。

「ラジオアイソトープ文献題目集—第5集」
の作成にさいし文献別刷ご寄贈のお願い

社団法人 日本アイソトープ協会
文献収集委員会

当協会では、わが国の研究者のラジオアイソトープに関する全関係分野の貴重な研究成果を集大成して記録にとどめるとともに、研究の相互連絡と推進に役立てる目的で、「ラジオアイソトープ文献題目集」を刊行しています。

同題目集は、幸い、関係各位の多大なご協力により、これまでに第1集（昭和37年）～第4集（昭和52年）と4回にわたり刊行を見ています。

このたび、昭和50年1月～昭和54年12月の5年間に印刷・公表された関係文献を収集調査して同題目集の第5集を作成し、関係各位のご参考に供することといたしました。

つきましては、皆様がこの5年の間にご発表になった研究の文献別刷（または複写）1部をご恵贈賜りますようお願いいたします。

文献収集要綱

I. 文献収集の範囲

a. 著者

日本人の発表したものに限る（外国で発表したもの、外国人と共同で発表したものも含む）。

b. 文献の種類

原著、ノート、速報、総説、資料、著書（翻訳を含む）、その他の寄書、紹介、シンポジウム報告など印刷・公表されたすべての文献。ただし学会の講演要旨を除く。

c. 文献の内容

ラジオアイソトープの製造、分離、精製、測定、測定機器、利用（フォールアウト、中性子線源の利用を含む）、廃棄物処理な

どラジオアイソトープに関するもの、加速器、原子炉およびステーブルアイソトープの利用ならびに保健物理に関するもの。

d. 文献発表の時期

昭和50年1月から昭和54年12月末まで。

II. 文献送付上の注意

a. 送付方法

文献ごとに必ず文献整理票に所定事項を記入の上添付してお送り下さい。

b. 送付部数

文献ごとに別刷またはその複写1部。

ただし、著書の場合は文献整理票のみで結構です。

また、当協会機関誌“RADIOISOTOPES” Vol. 24～Vol. 28ならびに“Isotope news”'75年1月号～'79年12月号、および「第12回、第13回日本アイソトープ会議報文集」に掲載された文献は当委員会で採録しますから、文献整理票および別刷のご送付にはおよびません。

c. 締切日

昭和55年5月末日

d. 文献整理票は、お手数でも当委員会へご請求下さい。

e. 送付先および問合せ先

〒113 東京都文京区本駒込2-28-45

社団法人日本アイソトープ協会

文献収集委員会あて

☎(03)946-7111（代表）内線263, 264

訂 正

17巻1号、81頁に字句の誤りがありましたので、下記の如く訂正します。

<ノート> 核医学診療科外科の床表面汚染

折戸 武男→折戸 武郎