

放射線汚染除去に関する研究(Ⅱ)

—呼吸防護具の除染効果について—

森 嶋 彌 重, 古 賀 妙 子, 丹 羽 健 夫
 河 合 廣, 小 山 重 成*, 北 本 忠 士*
 渡 辺 道 彦**

Studies on the Radioactive Decontamination (Ⅱ)

—Decontamination Effect on the Radioactive Contaminated Respirator—

Hiroshige MORISHIMA, Taeko KOGA, Takeo NIWA,
 Hiroshi KAWAI, Shigenari KOYAMA*,
 Tadashi KITAMOTO* and Michihiko WATANABE**

(Received September 28, 1981)

Decontamination efficiencies of ^{59}Co and ^{134}Cs on respirators (gas masks) using several kinds of decontaminants was studied. Respirators and respirator rubber materials contaminated with ^{59}Co and ^{134}Cs were immersed in vessels containing four kinds of decontaminant solutions and distilled water agitated with supersonic wave for 1-3 minutes. After that residual radioactivities on the materials were measured. Results obtained were;

- 1) Residual ^{59}Co and ^{134}Cs on black rubber (latex 55.9%) washed with cleanser "Radioaqua-wash" were 33% and 2.5%, respectively.
- 2) Black rubber material showed better decontamination efficiency than brown rubber one (latex 85.6%).
- 3) ^{59}Co was removed into washing solution at 50°C about 30% more than into that at 25°C.

KEYWORDS

Decontamination efficiency, ^{59}Co , ^{134}Cs , Respirator, Respirator rubber material, Supersonic wave

1. はじめに

原子力発電所において着用している呼吸防護具の面体(以下マスクという)の除染は現在人手にたよっており,かなりの労力と時間を必要としている。原子力発電所の管理区域内で着用されたマスクなどに付着している物は放射性汚染物,汗,手あか,油などでその

付着状況はほとんどが粒子状で乾いた粉塵が約80%と思われる。放射能で汚染された防護実験衣の材料布のEDTAあるいは洗剤による除染効果について多くの文献が報告¹⁻⁹⁾され,本研究室においても木綿,ポリエステルなどそれぞれの混紡布について汚染状況および除染効果を検討し前報⁹⁾に示した。今回,マスク完成品およびそれに使用され,除染が困難とされているゴム材料の試験片を用いて各種中性洗剤および超音波洗浄装置により除染効果を洗滌時間,洗滌水温などについて検討を行い,マスク除染作業の標準化を計る一助とした。

* 近畿大学理工学部原子炉工学科

** 千代田保安用品株式会社

森嶋他：放射性汚染除去に関する研究（Ⅱ）

汚染核種は通常， ^{60}Co が約70%， ^{54}Mn と続きその他は無視出来る程度であるとされているが，除染実験の汚染核種としては ^{58}Co および ^{134}Cs を使用した。

2. 材料および方法

2.1 使用放射性核種

日本アイソトープ協会より購入した ^{58}Co , ^{134}Cs を使用し，第1表にその仕様を，核種溶液の調製は以下に示す。

1) ^{58}Co 0.1N 塩酸溶液

A液 (44 $\mu\text{Ci/ml}$) : 1.1mCi を 0.1N-HCl 溶液で 25ml に希釈

B液 (1.76 $\mu\text{Ci/ml}$) : A 液 1ml を 0.1N-HCl 溶液で 25ml に希釈

C液 (0.176 $\mu\text{Ci/ml}$) : B 液を 0.1N-HCl 溶液で10倍に希釈

2) ^{134}Cs 0.1N 塩酸溶液

A液 (100 $\mu\text{Ci/ml}$) : 1mCi を 0.1N-HCl 溶液で 10ml に希釈

B液 (4 $\mu\text{Ci/ml}$) : A 液を 0.1N-HCl 溶液で 25倍に希釈

C液 (0.08 $\mu\text{Ci/ml}$) : B 液を 0.1N-HCl 溶液で50倍に希釈

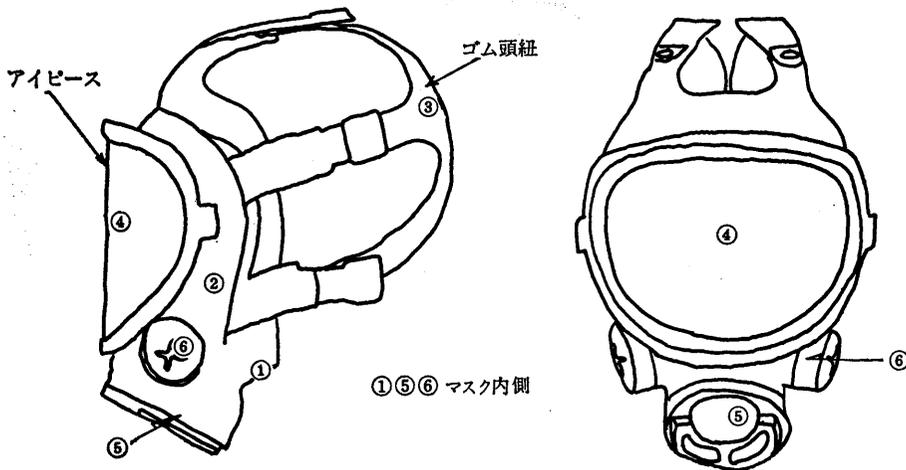
2.2 試験材料

1) マスク

重松製作所株式会社製の全面マスクを用い，放射性核種による汚染箇所は第1図に示した6ヶ所とし，放射性核種溶液はそれぞれB液を用いた。

第1表 使用放射性核種核種

核種	半減期	化学形	γ 線エネルギー (MeV)	β 線エネルギー (MeV)
^{58}Co	71.3日	CoCl ₂ 0.1N-HCl溶液	0.51	EC (85%) β^+ 0.47 (15%)
			0.810 (99%)	
			0.865 (1.4%)	
			1.67 (0.6%)	
^{134}Cs	2.046年	CsCl 0.1N-HCl溶液	0.57 (23%)	β^- 0.089 (28%) 0.410 (1%) 0.662 (71%)
			0.605 (98%)	
			0.796 (99%)	
			1.038 (1.0%)	
			1.168 (1.9%)	
			1.365 (3.4%)	



第1図 マスクにおける汚染位置

2) マスク材料試験片

マスクの材料試験片は黒色および茶色のものを使用しそれぞれの組成は天然ゴム55.9% および85.6% (latex %) で他成分は添加剤である。試験片は 2.4 cmφ に裁断し、1核種につき3枚ずつ中央に ^{58}Co 、 ^{134}Cs 塩酸溶液C液0.1mlをマイクロピペットで滴下、赤外線ランプ下 20cm で乾燥し1日後に洗滌した。

2.3 試験片の洗滌方法

1) 洗滌液

0.5%アイソトープクリーナーA液, 0.5% "アブラトール" 溶液, 0.2% 燐抜洗剤溶液, 5% "ラジオアクアウォッシュ" 溶液および蒸留水

2) 超音波洗滌機

サン電子株式会社製超音波洗滌機 SC-60A を用い、洗滌溶液を 20l 入れ、超音波の最高 28kHz で使用する。

3) 洗滌方法

① 試験片

400ml の洗滌溶液を入れた 600ml 容ビーカーに洗滌前の放射能を測定した汚染試験片 (2.5cmφ) を3枚ずつ入れ、水温25°Cの水道水 20l を入れた超音波洗滌機内にセットし、1, 2, 3分間それぞれ水洗した。沷紙で吸水、自然乾燥後ステンレス試料皿に入れ、アロカ製 2π ガスフローローバックグラウンド計数装置 (Aloka LBC-451) で測定した。

② マスク本体

マスク本体の汚染個所の放射能を GM サーベイメータ (Aloka TGS-113) で測定し、槽に燐抜き洗剤溶液 (0.2%) を 20l を充たし1分間洗滌し残存放射能を測定し続いて1分再除染を実施する。測定は汚染

箇所より 5mm の定位置に検出器を置いて行った。

③ 残存汚染率を次式により算出する。

$$\text{残存汚染率(\%)} = \frac{\text{残存汚染量(cpm/試料)}}{\text{汚染量(cpm/試料)}} \times 100(\%)$$

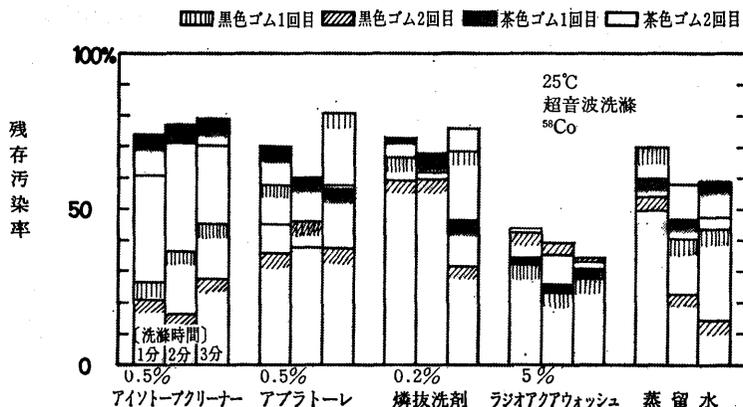
3. 結果と考察

3.1 除染効果における洗滌時間の影響

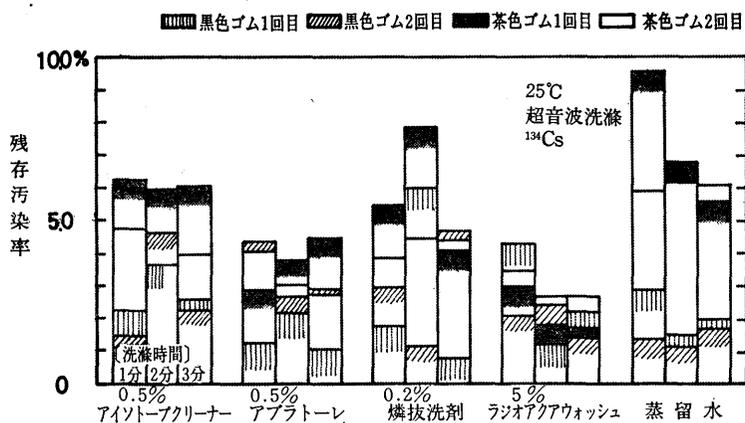
2.4cmφ のマスク材料試験片を用い、超音波洗滌機による洗滌をそれぞれ1分、2分、3分間行い、 ^{58}Co および ^{134}Cs の洗滌効果を第2図および第3図に示す。値はそれぞれ試験片3枚の平均値である。これらによると2種の材料試験片 (茶色, 黒色), 5種の洗滌溶液による1分~3分間の超音波洗滌においては有意な差は認められなかった。洗滌時間の違いについては同一試料について行わず、別の試験片のため、実験条件によるばらつきが影響していると思われる。3枚の試験片での実験値の相対標準偏差は ^{58}Co および ^{134}Cs についての平均は約20%であった。

汚染したマスクの洗滌効果を第4図に示す。これによると試験片と同様な傾向を示し、超音波洗滌においては1分から3分の洗滌時間の変化では洗滌効果は変わらず1分より飽和状態となり、洗滌時間は1分で十分である。

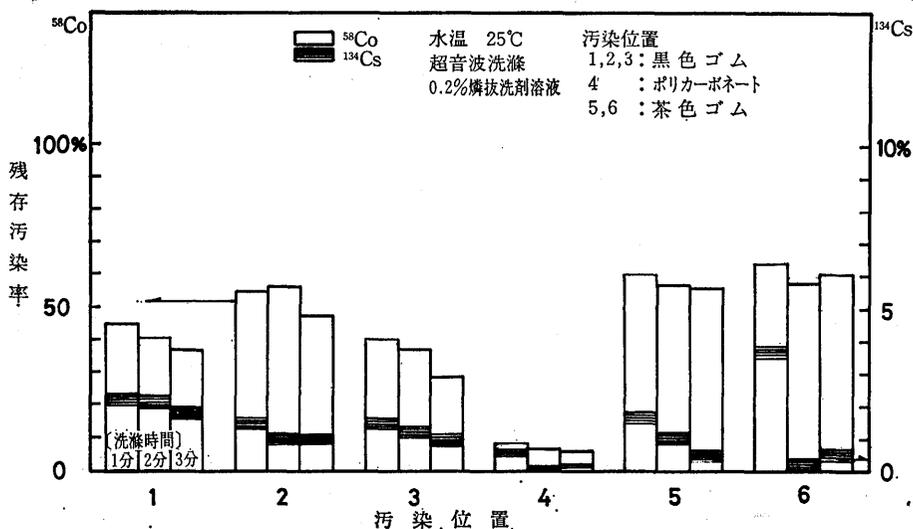
試験片およびマスク本体の放射性汚染の除染を行った後の洗滌液中の放射濃度を第5図に示す。試験片の残存汚染率と同様、溶液中に除染された核種の濃度も洗滌時間 (1~3分) とともに若干増加する洗滌液もあるが、ほぼ一定である。超音波による洗滌効果も処理時間に依存する。 ^{60}Co , ^{59}Fe , ^{144}Ce など放射性核種を30kHzの超音波振動子を用いて除染した場合、核種



第2図 ^{58}Co で汚染したゴム試験片の各種洗剤による洗滌効果



第3図 ^{134}Cs で汚染したゴム試験片の各種洗剤による洗滌効果



第4図 汚染したマスクの超音波洗滌効果

の主要部分は初めの60~90秒で除去され3~5分後には有効でなく、除染効果はそれ以上増大しないという報告⁷⁾と略一致している。今回の超音波洗滌は28kHz一定で行ったが、20~100kHzで除染係数は最適となりそれ以上にしても除染効果の向上はわずかにすぎず⁷⁾、本実験による条件は最適範囲にある。

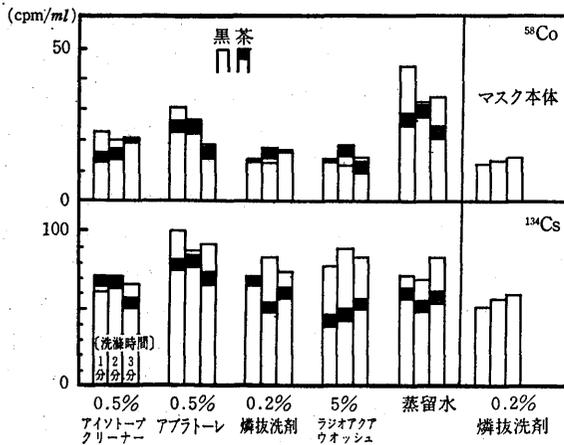
3.2 洗滌溶液による除染効果の相違

4種の洗剤溶液および蒸留水によって、放射性核種 ^{58}Co および ^{134}Cs で汚染したゴム試験片の洗滌効果を第2、3図に示す。これらの結果より洗滌時間の差はないとしてそれぞれの平均値で洗剤による洗滌効果を第2表に示した。これによると4種の洗剤の内、2

種のマスク材料試験片（黒、茶色ゴムについて）いずれについてもラジオアクアウォッシュによる残存汚染率は小さく、 ^{58}Co については約33%、 ^{134}Cs については約2.5%となり、他の3種の洗剤についてはあまり差はない様に思われる。洗剤を加えない蒸留水のみでの核種、 ^{58}Co および ^{134}Cs の洗滌効果も洗剤溶液と同程度となっている。液相媒体（水、洗剤など）による超音波洗滌下における作用効果は影響されず、汚染除去を著しく改善しないが酸およびアルカリの添加により作用効果を高める⁷⁾。

3.3 汚染核種による洗滌効果の相違

マスク材料片について2種の核種の洗滌効果を比較



第5図 除染後の洗滌液中の放射能濃度

した結果、黒色ゴムについては ^{58}Co および ^{134}Cs の洗剤による残存汚染率はそれぞれ29.0~58.5%および2.3~2.9%となり ^{134}Cs で汚染された試験片は大略100%近く除染されているのに反して ^{58}Co については1~3分間の超音波洗滌ではおよそ50%程度残存して

いる。同様に放射性核種で汚染したマスクについての洗滌効果を第3表に示したが、いずれの場所の汚染についても、 ^{134}Cs はほぼ100%除染しているが、 ^{58}Co は35~65%残存し、試験片と同様の結果を示した。

3.4 ゴム材質による除染効果の相違

マスクの材料片のうち、天然ゴム成分55.9%および85.6%の2種すなわち黒色および茶色ゴムの放射性核種の残存汚染率を第2表に示したが、いずれの洗滌溶液においても黒色ゴムが除染効果は良かったが、4種の洗剤のうちもっとも除染効果の良い「ラジオアクアウォッシュ」については材質による差はほとんど見られなかった。洗剤はそれぞれの最適濃度で行っており、 ^{58}Co で汚染したマスク本体についても第3表に示したが、材料

試験片と同様に黒色ゴムの方が除染効果はよく、除染率の100%に近い ^{134}Cs については材質による差は認められなかった。

第2表 異なる洗滌溶液による洗滌効果 (残存汚染率：%)

洗 滌 溶 液	^{58}Co		^{134}Cs	
	黒 色 ゴ ム	茶 色 ゴ ム	黒 色 ゴ ム	茶 色 ゴ ム
0.5% アイソトープクリナーA液	29.0 ± 12.3*	71.8 ± 11.8*	2.84 ± 1.94*	5.14 ± 1.95*
0.5% アブラトール溶液	51.0 ± 17.8	54.0 ± 15.2	2.37 ± 1.86	3.53 ± 0.84
0.2% 燐抜き洗剤溶液	58.5 ± 15.1	66.0 ± 14.8	2.91 ± 2.97	5.06 ± 2.36
5% アクアウォッシュ溶液	33.3 ± 12.8	33.3 ± 9.6	2.28 ± 1.62	2.54 ± 1.03
蒸 留 水	40.9 ± 22.0	53.0 ± 9.6	1.84 ± 0.74	6.70 ± 1.60

* 3枚の試験片の値の標準偏差

第3表 汚染したマスクの洗滌効果 (残存汚染率：%)

汚 染 個 所	^{58}Co	^{134}Cs
黒色ゴム アゴ部 (1)	41.3 ± 8.6*	2.26 ± 1.17*
黒色ゴム ホホ部 (2)	53.0 ± 13.3	1.32 ± 0.38
黒色ゴム ゴムバンド部 (3)	35.4 ± 10.3	1.37 ± 0.45
茶色ゴム 呼吸弁 (5)	57.9 ± 11.5	1.17 ± 0.67
茶色ゴム 吸気弁 (6)	60.6 ± 24.2	1.39 ± 1.30
アイピース (ポリカーボネート) (4)	6.63 ± 3.57	0.28 ± 0.51

* 12ヶの測定結果の標準偏差
洗滌溶液：0.2%燐抜き洗剤

3.5 除染効果における水温の影響

2核種、2種の材質のゴム材料片について洗滌溶液として0.5%アイソトープクリーナーA液を用い超音波洗滌において、水温25°Cおよび50°Cに変化して洗滌効果の影響を第4表を示し比較すると、いずれの試験片の場合においても水温50°Cでの洗滌は25°Cよりも除染効果は良く⁵⁸Coについては残存汚染率は25°Cの場合の約30%減と除染効果は向上している。25°Cの水温で超音波洗滌を行った場合の水温の上昇速度は約0.3°C/分で3分間の洗滌時間で液温は約1°C上昇するのみであった。洗滌溶液温度60°Cで最高の除染効果が得られると報告⁷⁾されている。

3.6 マスク本体の洗滌効果について

放射性核種⁵⁸Co および¹³⁴Cs でマスク1体につき、黒色ゴム部分3ヶ所、茶色ゴム部2ヶ所およびアイピース部1ヶ所計6ヶ所に汚染させた後、洗滌溶液として0.2%燐抜洗剤を用いて超音波洗滌を行った結果を第3表に示した。これによると2種の材質のゴムの試験片で行ったものと同様の傾向が得られた。マスクのアイピース部の洗滌効果は2種のゴム部分よりもよく、⁵⁸Co および¹³⁴Cs について洗滌後の残存汚染率はそれぞれ7%および0.3%と良好の除染効果を示した。

3.7 超音波洗滌効果について

以上⁵⁸Co および¹³⁴Cs について超音波洗滌による

結果を示したが、第5表に¹³⁴Cs で汚染された茶色ゴムについて、洗滌溶液0.2% 燐抜洗剤溶液を用いて超音波洗滌効果とマグネチックスタラーで約250rpmでの攪拌洗滌効果との比較を示した。この場合試験片について行っており、超音波洗滌と同様に1~3分間で洗滌効果は飽和に達し同様の効果を示している。マグネチックスタラーによる洗滌後の¹³⁴Csの残存汚染率は洗剤および蒸留水についてそれぞれ3%および4%となり超音波洗滌より若干良い。マスク本体のマグネチックスタラーなどによる攪拌洗滌は困難である。すなわち超音波を適用した場合、除染効果の向上と除染作業量の軽減が出来、被処理面から汚染物質の除去が超音波洗滌機により生じる媒体の振動運動状態による攪拌によって促進される⁷⁾。

第5表 ¹³⁴Csの超音波洗滌効果

(残存汚染率：%)

洗滌溶液	超音波洗滌法	マグネチックスタラーによる洗滌法
0.2%燐抜洗剤	5.06 ± 2.36	2.92 ± 0.92
蒸留水	6.70 ± 1.60	3.83 ± 1.49

3.8 除染効果における洗滌容積の影響

一連の洗滌実験は600ml容ガラスビーカーに洗滌

第4表 洗滌効果における水温の影響

(残存汚染率：%)

核種	材質	水温	
		25°C	50°C
⁵⁸ Co	黒色ゴム	29.0 ± 12.3 (18サンプル)	20.5 ± 11.8 (10サンプル)
	茶色ゴム	71.8 ± 11.8	51.9 ± 8.5
¹³⁴ Cs	黒色ゴム	2.84 ± 1.94	1.04 ± 0.63
	茶色ゴム	5.14 ± 1.95	2.98 ± 1.11

洗剤：アイソトープクリーナーA液(0.5%)

第6表 ⁵⁸Co の超音波洗滌効果

(残存汚染率：%)

洗滌溶液	洗滌法 A		洗滌法 B	
	黒色ゴム	茶色ゴム	黒色ゴム	茶色ゴム
0.2% 燐抜洗剤	58.5 ± 15.1	66.0 ± 14.8	14.0 ± 1.6	23.4 ± 5.8
5% ラジオアクアウォッシュ	33.3 ± 12.8	33.3 ± 9.6	12.1 ± 2.9	22.7 ± 1.0

溶液 400ml 洗滌物質ゴム試験片 2.4cmφ 3枚の割合で、ピーカーを水槽内に入れ行っており（洗滌法 A）、他に洗滌法 B として 2.4cmφ 3枚の試験片を洗滌溶液 20l で行って比較し、第 6 表に示した。これによると被洗滌物と洗滌溶液との比が大きい B 法による洗滌効果はよく、洗剤による効果の差がなくなり、黒色および茶色ゴムについて洗滌後の残存汚染率はそれぞれ 12~14% および 23% となった。

マスク本体の洗滌は前述した様に燐抜洗剤について行った場合（C 法）、黒色および茶色ゴム部分の残存汚染率はそれぞれ 43% および 58% であったが、B 法では約 1/3 となっており、洗滌溶液と被除染物質との重量比の差によるものと思われる。A, B, C 法による洗滌溶液と被除染物質との重量比はおよびそれぞれ 120, 980 および 16 であった。

4. ま と め

原子力発電所などに用いられている呼吸保護具のマスクおよびその材料のゴム試験片を用いて放射性核種として ^{58}Co および ^{134}Cs の汚染の各種洗滌溶液による除染効果について調査して次の結果を得た。

超音波洗滌は放射性物質の除染効果を促進する。それは超音波の出力および液相の差によって決まり被除染物質および汚染物質の性状に左右される。

- (1) 超音波洗滌効果は汚染放射性核種およびゴム材料試験片の材質により影響されるが、今回行った実験条件で洗剤については“ラジオアクアウォッシュ”が洗滌によるゴム材料への残存汚染率はもっとも小さく、黒色ゴムでは、 ^{58}Co および ^{134}Cs についてそれぞれ約 33% および約 2.5% であった。他の洗剤

についてはほとんど影響はなかった。

- (2) ゴム材質、すなわち天然ゴム成分 55.9% および 85.6% であるそれぞれ黒色および茶色ゴムについて除染効果はいずれの洗滌溶液においても黒色ゴムの方が良好であった。
- (3) 除染効果における水温の影響は 25°C および 50°C について比較したが水温 50°C の方が除染効果はよく、 ^{58}Co の洗滌による残存汚染率は 25°C の場合の約 30% 減であった。
- (4) 2.5cmφ の試験片について超音波洗滌とマグネチックスターによる攪拌洗滌の比較において若干攪拌洗滌の方が洗滌効果はよいが、マスク本体について、ルチンおよび大量の洗滌には不向きであると思われる。

参 考 文 献

- 1) M. Chen, C. Tseng; 保健物理, **3**, 213 (1968)
- 2) 和達嘉樹, 川野幸夫, 田島雄三; Radioisotopes, **14**, 1, 18 (1965)
- 3) K. Takada, Y. Wadachi, Y. Yamaoka, S. Noguchi, M. Muramatsu; Radioisotopes, **14**, 6, 487 (1965)
- 4) 高田和夫, 和達嘉樹, 山岡義人; 日本原子力学会誌, **6**, 11, 575 (1965)
- 5) 安中秀雄, 和達嘉樹; 同上, **18**, 5, 286 (1976)
- 6) 森嶋弥重, 古賀妙子, 丹羽健夫, 河合廣他 3 名; 近畿大学原子力研究所年報, **17**, 53 (1980)
- 7) 藤森夏樹訳; 放射能汚染と除染の物理化学, 232 (1979) 現代工学社