放射能による汚染とその除去について (第6報)

(表面汚染とその除去についての総括)

日本医科大学衛生学教室 (主任 八田貞義教授)

石 田 典 夫

Norio Isida

I. ま え が き

数年前に放射性同位元素の輸入が開始されて以来、各種の放射性同位元素の輸入量は年と共に増加の一途をたどり、国内でも少量ながら放射性同位元素がつかわれつつある。これらの放射性同位元素は医学領域を始めとし、物理学、化学、生物学、農業、工業、鉱業その他自然科学の殆どあらゆる部門に於て使用されており、その利用範囲及び使用量は年々増大するばかりである。一方原子力の利用が推進されると共に、自然放射性物質たる U, Th の採鉱、製錬もますます大規模に行われなければならない。

放射性物質を使用する場合に、これを2つに大別する事が出来る。即ち放射性物質が密閉された線源 (sealed source) であるか或は密閉されない線源 (unsealed source) であるかである。密閉された線源とは ^{60}Co の multicurie source の様に γ 線を、或は static eliminator の如く α 線や β 線を利用するもので、この場合には放射性物質は一定の容器内に納められ、外部に放射性汚染をひきおこすおそれはなく、体外からの放射線の防止のみに注意を払う事で十分に傷害を予防する事が出来る。この方法は原理的には距離を保つ事と鉛等による吸収を利用する事等である。

これに反して密閉されない状態で放射性物質を取扱う場合、即ちトレーサー等として使用する場合には、外部照射の危険に加えて更に種々の問題が惹起されてくる。放射性物質の溶液或は粉末を使用する場合、その放射性物質が誤つて容器の外に出た時、つまり気体や aerosol となつて空気中に飛散したり、又実験台、床、腰掛、壁更に手等に附着してしまつた時には前述の体外照射の危険と共に、吸入、嚥下によつて体内をも汚染して体内照射の危険も出て来るのである。

従つて容器の外に逸出した放射性物質は、出来るだけ完全に除去されなければならない。という事は放射性物質を使用する作業室では最初から放射性表面汚染の除去しやすい材料でつくられる必要があるわけであ

る。即ち一般の実験室や作業場とは異り、床、壁、机面、腰かけ、流し更に使用する器具等すべて附着した放射性物質が容易に除去出来るものでなければならない。こうした汚染が存在する時には体内汚染をおこすおそれもあり、固定した汚染も外部照射の危険があるばかりでなく、測定の誤差を来して実験精度を低下させる原因にもなる。従つてこれ等の取扱規程がきめられているわけである。

尙密閉された線源では通例の状態では表面汚染はおこらない筈であるが、最近医療用ラジウムカプセル破損による室内汚染が報告されている¹⁾。ラジウムカプセルの破損のため粉末ラジウムが室内に散乱し、このため建物のみならず自動車から家庭迄汚染除去が必要になつたのである。更にラジウム治療を永年行つてきた病院を調査したところ、高度の放射性表面汚染が発見された例もある²⁾。

かように放射性物質を取扱う場所では常に放射性汚染のおこる事を予想し、予め汚染除去をしやすい材料でつくつて、作業者の健康を守る様に努力しなければならない。殊に放射線は我々の五感によつて検知出来ないため、この傷害予防には充分留意しなければならない。放射線物質取扱いの実験室や作業場の設計、計画に当つては、工学側のみならず、保健管理の立場からも充分な考慮が払われねばならないし、又保健責任者はこういった材料がどの様に汚染するかを知つておかねばならない。

固体の表面に附着した微量物質の態度については、吸着剤の如き特殊な物質の態度については今迄にも一部検討が加えられているが³⁾、各種の一般材料の表面での現象については殆んど知られていない。汚染された表面からの除去方法についてはハンドブックその他⁴⁻¹¹⁾の文献があるが、材料の撰定については Watson 等¹²⁻¹⁴⁾ がガラス、ステンレススチール、塗料等について行つた実験がある程度である。

そこで著者は放射能による汚染とその除去と題して

1954 年以来、各種材料についての汚染性と汚染除去性を検討して来たので¹⁵⁻²⁰⁾ここに総括的な検討を報告する。

II. 実験方法

これについては各報に詳細にのべたが要約以下の通りである。

実験材料は木¹⁵⁾、被服材料¹⁶⁾、金属、ガラス及びその他の建築材料¹⁷⁾、織物、ゴム、及び皮革¹⁸⁾及び塗料及びその他の材料¹⁹⁾を使用した。

汚染する放射性物質としては広く使用されている⁴⁵CaCl₂、H₃³²PO₄、H₂³⁵SO₄、¹³¹I₂、及び核分裂生成物の溶液、更に粉末による汚染をみるために⁴⁵Caを含む蔞酸カルシウムを使用した。

汚染性をみるため、溶液 0.1 cc を 1 cm² の広さに滴下し、蒸発を防いで一定温度で 1 時間放置し、その後溶液を除去して放射能を測定した。

汚染除去は溶液又は粉末懸濁液を滴下乾燥後、水洗或は濡れたガーゼでこする事を繰返えす方法をとった。

III. 総括及び考察

物体の放射性表面汚染を考慮する場合に、粉末ではあまり問題はないが、汚染物が液体の場合にはその汚染が表面のみに留るか或は内部に迄進行してゆくかという事が非常に重要になってくる。そのためここでも有孔性の表面と無孔性の表面にわけて検討をすすめたいと思う。

A) 有孔性の表面

1) 被服材料の汚染と汚染除去

被服材料の汚染と汚染除去は第 2 報¹⁶⁾にのべた。この中にものべた様に、非放射性の汚染と汚染除去については二三の報告がみられ²¹⁾²²⁾放射性物質による汚染については、著者の報告につづいて高中²³⁾²⁴⁾も報告している。

注目される事は汚染する物質が液体中に懸濁した粉末である時と、溶解している溶質による場合とでは汚染及び汚染除去の様子が異っている事である。溶液の場合、溶存している放射性物質が異つても、その汚染除去の程度は互に相関を示している。水溶液で汚染した場合には吸水性の大きな材料程汚染しやすく、除去しにくい事が示された。これはオートラジオグラフで透過面積を測定した結果からもわかるように、吸水性の大きい材料程、一定量の溶液が滴下された場合にも広範囲に亘つて透過して多くの線維表面に附着し、汚染面積が大きくなる事によるものであろう。吸水性の

少ない場合には汚染除去も比較的容易である。従つて水溶液となつた放射性物質を扱う際の作業衣としては吸水性の少ない被服材料或はビニール製のものが望ましい。事実ビニール・シートは極めて良好な汚染除去性を有しているのでこの種の作業衣としては適している事を示している。又高中²⁴⁾は防水加工した布はしないものよりも汚染除去のすぐれている事を報告している。

但し粉末で汚染した場合には稍ちがつてくる。この場合には微細な粒子が矢張り或程度内部に入り線維表面に附着するわけであるが、溶液の場合と異り粒子が或る大きさをもっている。そのため合成線維のように線維表面の滑らかなものは除去が比較的容易であり、天然線維の如く表面が滑らかでないものは除去が困難になってくる。そして吸水性との相関も溶液による汚染よりもはつきりしない。しかし矢張り吸水性の少ないものの方が汚染除去は容易である傾向を示している。

ここで興味のある事は放射性粉末を水或は油に懸濁して汚染した場合の除去は、溶液の汚染除去よりもカーボン・ブラックを使い、反射率による変化で汚染除去を測定した場合の方に相関が高い事である。即ち水に可溶性の物質の除去と水に不溶性の物質の除去はちがつており、互に相関をもっていない。水に可溶性のものは洗剤を使用しなくてもかなりの程度に除去され、洗剤の効果ははつきりしない。水に不溶性の物質の汚染除去では水洗ではあまり効果がなく、洗剤による効果が認められている。

尙被服の一部として靴、手袋を考えた場合、革等を使用したものは第 4 報⁸⁾に報告した通り或程度透過して汚染除去がよくない。放射性物質を取扱う場所ではゴム製品の使用がすすめられる。ゴムは勿論品質によつてかなりの相異のある事が考えられるが、著者のしらべた範囲では良好な汚染除去性を示し、充分使用出来ると思われる。

2) 木材、モルタル及び煉瓦の汚染と汚染除去

これ等の表面はすべて多孔性であり、液体はよく内部迄透過してゆく、そして溶媒が如何に内部に透過してゆくかによつて汚染の程度が決定されるため、被服材料と同じようにそれに含まれる放射性物質の種類によつては殆んど影響されない。

従つてこれらの汚染除去を考える場合にはその透過状態を知る事が必要となつてくる。多孔性の物質で材質が略均等であると思われるのが煉瓦である。この表面に溶液が附着し透過してゆく状態は第 3 報¹⁷⁾に示し

たように、小さな点から滲透を開始した時にはその点を中心とする半球形を示す。つまり溶液が附着した点から横に滲透していつた範囲とその深さは略一致しており、横に拡がった長さを知れば滲透していつた深さも大略推定出来るわけである。

木材の様に材質が均等でなく、線維が走っているものについての汚染の滲透は複雑になってくる。木を0.3 mm 厚さの薄片とし、再びこれを本通り組立てて木のブロックとしてこれを汚染し、ブロックを解体して各木片についての汚染状況をしらべた¹⁵⁾。この時には木材の質と線維の走向方向に強く影響されるが、いづれにしてもかなりの深さ迄滲透してゆく事が認められた。これは板目についての汚染であるが、線維と直角方向の横断面については汚染がもつと進行するであろうと思われる。

こういつた多孔性物質の表面が汚染された場合の汚染除去としては汚染された部分の除去以外に方法がないわけである。もしこの汚染表面に洗滌液等をそそいで汚染除去をしようすると汚染は却つて内部に滲透してゆくのである¹⁵⁾。この場合注意しなければならない事は表面から測定した場合、 γ 放射体を除いては内部に滲透していつた放射性物質を検出出来ないため、カウント数は幾分減少して汚染除去効果があるようにみられるが、これは内部に滲透していつた事によるものである。従つてこのような事はその後の汚染除去を面倒なものにするのに外ならない。

これらの材料の表面に塗装を行つて完全に不滲透性の表面にした時には、基材の性質は失われて表面に塗装した材料のみの問題となつてくる。この塗装表面の汚染については後でまとめてふれたい。但し塗装表面にきずがある時には汚染は容易に内部に滲透するためその調製、保持には充分の注意が要求される。

B) 無孔性の表面

無孔性の表面の汚染は多孔性の表面の汚染とは異なり、後者の汚染に主役を演ずるのは溶媒の滲透であるに反して前者の汚染では溶質と物体表面の間の物理的な又化学的な力によつて収着され汚染される。

前にのべた通り多孔性物質の放射性溶液による汚染及びその除去は、溶質が異つても互に相関が認められた。しかるに不滲透性の表面ではこれ等の相関が全くみられなかつた。という事は表面の材料と溶質の間で汚染とその除去が決定される事を示している。ではこの汚染は如何にしておこるか。これは勿論一部は物理的に吸着され、そして又一部は化学的に結合されるも

のであろうが、極微量の溶質の態度は従来の概念に従わぬものがあり⁷⁾、現在各種のアイソトープを用いて研究されつつある²⁵⁾²⁶⁾。

用いた放射性物質では各種の材料を通して一般的にCa, S, 核分裂生成物、Pの順に汚染除去が困難となり、汚染しやすいかつた。Pが磷酸の形をしているため、金属等とは磷酸塩をつくる事は想像出来るが、それ以外の殆んどすべての物質についても汚染しやすく、除去が困難であつた。これは他の報告とも一致するところである²⁷⁻²⁹⁾。

汚染除去を行う際、その方法をえらぶに当り常識的に又多くの成書に記載されているように、汚染物を溶解するような溶媒を使う事が多い。本実験ではもし新しい化合物をつくらなければすべて水に易溶性のものを使用した。そして水洗或は水でしめらせたガーゼでこすつた結果を第1報から第4報¹⁵⁻¹⁸⁾に示した。これからわかるように水洗したり、こすつたりしても残存放射能を或値以下に下げる事は出来なかつた。そしてPを除いては水洗にくらべて摩擦が特に有効とはみられなかつた。汚染除去を行う際に、こすするという事は近接する必要がある、余計な放射線をうけねばならず、又作業者の汚染するおそれも多い、もしこする方法をとるにしても20回以上こすつてもそれ以上汚染除去は進行しないから、繰返えてこす事は意味がなく、除きうる汚染の大部分は初めの数回で除去されてしまう。渡辺等³⁰⁾は³⁵Sを加えた加硫アミノ油を用い、金属表面からの油脂除去を測定したが、種々の溶媒を用いても油脂を完全に除去する事は出来なかつた。水溶性の物質を水で除去する場合についても同じ事が言えるわけである。

¹³¹IをI₂として銅板に滴下し、放置乾燥後これを水及びアルコールで洗滌又は摩擦して汚染除去を行つた場合の汚染除去指数は第1表の通りである。但し汚

第1表 ¹³¹Iの汚染をアルコール及び水で洗滌及び摩擦した時の汚染除去指数

被汚染物質	洗滌法	洗滌剤		水	
		アルコール		洗滌	摩擦
ガラス板	洗滌	1.2	1.7	1.1	1.8
	摩擦	0.09	0.10	0.05	0.15

染除去指数(D.I.)とは第9報¹⁹⁾にのべた式、即ち

$$\text{汚染除去指数} = \log \frac{\text{汚染除去前の放射能}}{\text{汚染除去後の放射能}}$$

によつて表わされ、この値の大きい程汚染がよく除去

出来る事を示す。I₂は銅と反応して沃化銅を形成し、かすかに白い斑点を認めた。沃化銅は水には可溶であるがアルコールには不溶である。しかるに汚染除去指数は水及びアルコールのいずれに於ても殆んど変化しなかつた。

かくの如く微量の物質を溶解して完全に除去しようという試みは或程度以上に効果を期待する事が出来ず、又こすつて除去するにも限度がある。従つて、もし完全に汚染を除去しようと思うならば、表面を除去するより外に方法がないわけになる。

表面を除去するのに二通りの方法が存在する。つまり機械的に剝す方法と化学的に表面を溶解し去る方法とである。後者については、各材料につき適当な薬剤をえらぶ事によつて解決出来る。表面を機械的に剝す方法としては予めストリッパブルペイントの様に膜状にはがす事の出来るペイントをぬつておき、表面をはがしやすい様にしておく方法がすすめられている³¹⁾。第5報¹⁹⁾にのべた通りこの方法による場合除去は完全であつた。又後にのべる様に適当な上塗りをえらぶとかなりの汚染除去指数が得られるから、適切な塗装はすすめられるべきである。

表面が撥水性を有するものが汚染防止及び除去に有利であるといわれているが¹⁴⁾著者が接触角によつて測定した結果では汚染率及び汚染除去指数は共に相関はみられていない¹⁹⁾。勿論撥水性が大きければ一定量の水が附着した時、接触面積は狭くなるからその点でよいといへばいえるのであるが、或程度以上の接触角を有するものについては接触面積は大きくはちがつてこ

ないから、撥水性にこだわる事は無意味であらう。

ここで各材料の汚染性及び汚染除去性を示すのに汚染率 (C.F.) を使用した。汚染率は第5報¹⁹⁾にのべた式、即ち

$$\text{汚染率} = \frac{\log(\text{残存放射能})}{\log(\text{滴下全放射能} - \text{残存放射能})} \times 150$$

で表され、汚染しやすいもの程大きくなる。そして汚染率と汚染除去指数の間には高度の逆相関が認められているから¹⁹⁾汚染率を以てその材料の性質を比較する事が出来る。

1) 金属、ガラス、ゴム等に対する汚染と汚染除去
これ等の材料の汚染率は第2表にのせた通りであるが、注目すべき事はステンレス・スチールの中で案外よくないものもある事である。これは Cr 18% の市

第2表 各種材料の汚染率

汚 染 物 質	P	F.P
ブ リ キ	103	105
亜 鉛 引 鉄 板	100	104
銅 板	99	70
ステンレス・スチール(1)	54	107
〃 (2)	51	84
〃 (3)	51	71
ビ ニ ル ・ シ ー ト	57	17
ゴ ム	84	38
ガ ラ ス	41	42
木 材	108	150
革	71	74
ス レ ー ト	100	111

第3表 各種塗料 (クリアー) の³²P による汚染率

塗 料			C.F.	塗 料			C.F.
自 然 乾 燥 型	ス ト リ ッ パ ブ ル ・ ペ イ ン ト		77	加 熱 乾 燥 型	エ ト キ シ リ ン 樹 脂 系 塗 料		71
	ビ ニ ル 系 塗 料 (1)		65		ス チ レ ン ・ プ タ ジ ェ ン 系 塗 料		84
	〃 (2)		62		尿 素 樹 脂 及 ビ エ ト キ シ リ ン 樹 脂 系 塗 料		65
	〃 (3)		59		ヤ シ 油 変 体 フ タ ー ル 酸 樹 脂 系 塗 料		67
	ア ル コ ー ル 溶 性 フ ェ ノ ー ル 樹 脂 系 塗 料		77		シ リ コ ン 系 塗 料		60
	ラ ッ カ ー ・ ク リ ャ ー		66		ア ル コ ー ル 溶 性 フ ェ ノ ー ル 樹 脂 系 塗 料		65
	油 溶 性 フ ェ ノ ー ル 樹 脂 系 塗 料		76		フ タ ー ル 酸 樹 脂 系 塗 料 低 温 焼 附 型		70
	メ タ ア ク リ ー ル 酸 樹 脂 系 塗 料		64		エ ト キ シ リ ン 樹 脂 系 塗 料		72
	大 豆 油 変 体 フ タ ー ル 酸 樹 脂 系 塗 料		73		大 豆 油 変 体 フ タ ー ル 酸 樹 脂 系 塗 料		69
	フ ェ ノ ー ル 変 体 フ タ ー ル 酸 樹 脂 系 塗 料		61	対 照	ス テ ン レ ス ・ ス チ ー ル		51
	塩 化 ゴ ム 塗 料		76		亜 鉛 引 鉄 板		100
	〃 (放射線防禦用)		69		木 材		108
型	シ リ コ ン 系 塗 料		68				
	ス ー パ ー ・ ワ ニ ス		67				

販のステンレス・スチールを使用し、必ずしも同一でないためかもしれない。つまり時には感心出来ないものもあるという事である。ガラスは良好な性質を示している。亜鉛引鉄板、ブリキ板、銅板等はいずれも汚染しやすく、そのまま使用する事は不適当である。

2) 各種塗料に対する汚染と汚染除去

前にものべた様に適当な塗料をえらぶ事によつてステンレス・スチールを使つた場合にかなり近い結果を得る事が出来る。³²P についての汚染率を表で示すと第3表の通りである。汚染物質によつて汚染及び汚染除去の程度は異つてゐるが、大体ビニール系塗料と加熱乾燥型のシリコン系塗料がすぐれてゐた。

以上は顔料を含まない塗料についてであるが、各種の顔料を加えると一般に汚染しやすくなる。これを第4表にのせた。顔料を塩基性と中性のものにわけると出来る³²Pがその相異は認められず、又或程度以上加えるとその量が多少変つてもあまり汚染性にちがひ

第4表 各種顔料による汚染率の相異

顔 料	汚 染 物	P	F.P.
ク リ ヤ	—	79	42
酸 化 鉄	10%	83	45
チ タ ン 白	10%	86	
カーボフラック	2%	79	53
鉛	白	95	46
"	75%	92	54
亜 鉛 華	5%	87	45

はみられない。この事から放射性物質を取扱う作業室の塗装は最低3層が要求されてくる。第1層はいわゆる目どめであり、一般の塗装と同じである。この上にストリッパブル・ペイントを塗り、この中に適当な顔料を加えるか、或はそれが出来ない時にはこの上に塗装を行い、最後にはビニール系塗料等のクリアー即ち顔料を含まないもので仕上げる事が望ましい。この中或程度以上汚染したら廃棄交換出来るものはストリッパブル・ペイントを省略してもよいがいつれにせよ最終仕上は顔料を含まないクリアーで仕上げるべきである。しかしながら目的によつてはストリッパブル・ペイントの表面等は放射性物質を吸着しやすい性質の要求されることも忘れるべきではないであらう。

C) 各種材料の汚染性及び汚染除去性の比較

放射性物質が物体の表面を汚染する機構としては種々の要因が考えられる。そしてそれ等の総合されたものが汚染として示されるわけである。著者は汚染性をし

らべる方法として $20 \pm 1^\circ\text{C}$ で 1cm^2 の広さに一定量の液体と接触させ、蒸発を防いで1時間放置した。この方法による汚染率と水洗による汚染除去指数の間には高度の逆相関が認められた¹⁹⁾。この事から汚染率を求めれば大略の汚染除去指数を知る事が出来る。摩擦した時の汚染除去指数も水洗した時の汚染除去指数と略似ているから、汚染率を求めればその材料の大略の性質は知る事が出来る。但し前述した様に無孔性の表面では汚染物質がちがつた時には変つてくるため既知の材料と比較する事は必要である。

撥水性の大小が汚染性及汚染除去性の大小と関係あるものとすれば¹⁴⁾、撥水性のみを測定すればよいわけであるが著者の実験結果¹⁹⁾では相関を認めていない。

但し多孔性の表面を有する材料が水溶液で汚染する際には、汚染性は吸水性と一致している事から吸水性の測定で知る事が出来る。

IV. 要 約

各種の材料の放射性物質による汚染と汚染除去に関して実験を行つた結果、次の結果を得た。

木、モルタル、煉瓦、被服材料等の多孔性物質の表面が放射性物質の水溶液で汚染された場合は、汚染物質が異つても互に相関がみられており、吸水性の大きいもの程汚染除去は困難であり、木、モルタル、煉瓦等では或程度の厚さの表面除去が必要で、外部から洗滌液等をそそぐと汚染は却つて内部に滲透してゆく。

金属、合成樹脂、ゴム、塗装表面等の無孔性の表面が水溶液で汚染された場合、汚染物質が異つてくると相関がみられていない。この場合、水で溶解し去る方法による汚染除去では限度があり、数回の摩擦を行つた後では汚染除去はあまり進行しない。これ以上の汚染除去には表面の薄層を除去する方法を用いる必要がある。汚染率と汚染除去指数の間には高度の逆相関が認められた。

しらべた材料ではビニール・シート、ゴム、ガラス、ステンレス・スチール及び顔料を含まないビニール系塗料、加熱乾燥型シリコン系塗料がすぐれ、塗装が完全であるとステンレス・スチールに匹敵する結果を得た。但し塗料に顔料をまぜると一般に汚染しやすくなる。ストリッパブル・ペイントによる汚染除去は完全である。撥水性と汚染性及汚染除去性の間に相関関係はみられなかつた。

(稿を終るにあたり、恩師八田教授に深謝し、全篇に亘つて御指導、御校閲をいただいた労働科学研究所三浦博士に感謝の意を表します。尙終始御鞭達下さつ

た乗木助教授に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) R.G. Gallagher & E.C. Saenger : Am. J. Roentg. Radium Therapy and Nucl. Med. **77**, (3), 511 (1957)
- 2) R.G. Gallagher et al : Public Health Reports **70** (7), 617 (1955)
- 3) 鮫島実三郎 : 膠質学, 裳華房 (1940)
- 4) National Bureau of Standards : Control and removal of radioactive contamination in laboratories : N.B.S. Handbook **48**, (1951)
- 5) Radiological Health Handbook : Decontamination Method, Radiological healthtraining section (1954)
- 6) E.D. Snell et al : Soap **29**(10), 42 (1953)
- 7) 化学の領域委員会 : アイソトープ実験技術第1集, トレーサー・テクニクス, 南江堂 (1955)
- 8) 江藤秀雄他 : ラジオアイソトープの医学的応用 : 東西医学社 (1953)
- 9) 井上武一郎 : アイソトープ設備と防護 : 地人書館 : (1956)
- 10) H.A. Kunkel : Strahlentherapie Heft **1** 100 (1953)
- 11) J.B. Huff : Nucleonics **15** (6), 106 (1957)
- 12) P.C. Tompkins et al : Nucleonics **7** (2), 42 (1950)
- 13) P.C. Tompkins et al : Ind. and Eng. Chem. **42** (8), 1469 (1950)
- 14) C.D. Watson et al : Ind. and Eng. Chem. **42** (8), 1475 (1950)
- 15) 石田典夫 : 労働科学, **31** (12), 836 (1955)
- 16) 石田典夫 : 労働科学, **32** (7), 569 (1956)
- 17) 石田典夫 : 労働科学, **32** (11), 910 (1956)
- 18) 石田典夫 : 労働科学, **33** (2), 116 (1957)
- 19) 石田典夫 : 労働科学, **33** (9), 707 (1957)
- 20) 三浦豊彦他 : ケミカル・エンジニアリング, **1**, (8), 595 (1956)
- 21) 三浦豊彦他 : 労働の科学, **8** (10), 19 (1953)
- 22) 後藤幸子他 : 労働の科学, **8** (11), 19 (1953)
- 23) 高中順一 : Radioisotopes **5** (1), 1 (1956)
- 24) 高中順一 : (156) Radioisotopes **6** (1), 49, (1957)
- 25) 日本化学会編 : 実験化学講座 7 界面化学丸善株式会社 (1956)
- 26) T. Sasaki et al : Bulletin of the Chemical Society of Japan **29** (1), 35 (1956)
- 27) 永野 晃 : 日大医誌, **14** (10), 1357 (1954)
- 28) G.K. Schmeitzer et al : Radiation tracer technique D. Van Norstrand Co. (1949)
- 29) 大槻幸雄 : 私信
- 30) 渡辺銀他 : 原子力工業, **1** (4), 36 (1955)
- 31) A.J. Cipriani : A.M.A. Archives of Ind. Health **14** (1), 7 (1956)
- 32) 児王正雄他 : 塗料と塗装, 太陽閣 (1955)