

放射性汚染除去に関する研究 (I)

各種繊維の除染効果

森 嶋 彌 重, 古 賀 妙 子, 丹 羽 健 夫
河 合 廣, 深 川 明 久*, 秋 野 裕 之*
野 瀬 淳**

Studies on the Radioactive decontamination (I)

Decontamination effect of Various types of cloth Material.

Hiroshige MORISHIMA, Taeko KOGA, Takeo NIWA,
Hiroshi KAWAI, Akihisa FUKAGAWA*, Hiroyuki AKINO*
and Jun NOSE**

(Received November 15, 1980)

ABSTRACT

Radioactive isotope (RI) decontaminating characters of cloths for RI handling work were examined. The materials of cloths were ten kinds of cotton, polyester, vinyron, rayon and their mixture. Radioisotopes used were ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{58}Co and ^{134}Cs . Decontamination factors were derived for different kinds of radioisotopes, materials, washing temperatures, concentration of cleaning materials and the times elapsed from the contamination. Among these ten kinds 100% polyester cloth has comparatively good quality and has about the same decontamination factor as the one mixed with cotton. However, polyester cloth with 35% cotton blended is preferable, since it is a little hard to contaminate with RI and easily decontaminated.

KEYWORDS

Radioactive isotopes (^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{134}Cs), Cloth materials (Cotton, Polyester, etc.),
Decontamination factor, Decontaminating characters

1. はじめに

一般に繊維に付着している汚れのうち水に簡単に洗い流せる親水性のものは別として水でおちない疎水性の汚れが問題となる。これらの洗浄効果を高めるために、洗剤などにより細かく分散しやすくし、その他被

汚染物質の材質、攪拌状況、洗浄液温、洗剤の種類、EDTA の併用など除染方法に対する検討がなされ、色々報告されている¹⁻¹⁰⁾。放射性汚染の除去は被汚染物表面の性質および表面の加工処理などならびに汚染機構に大きく依存している^{3,4)}。

原子力研究所およびその他放射性同位元素を取扱う作業場所において、着用する作業衣あるいは実験衣など放射性汚染防護服の材料布がいかなる種類のものであるかを検討するために、本研究室においても東洋紡績株式会社製の木綿、ポリエステルおよびビニ

* 理工学部原子炉工学科

** 東洋紡績株式会社

ロン、レーヨンなどの混紡布などについて汚染状況および汚染布の除染効果を水およびアイソトープクリーナーA溶液で実験を行い、除染効果におよぼす洗浄時間、洗浄液温、洗剤の濃度、汚染後の経過時間などについて、検討を行った。

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 ^{51}Cr 、 ^{58}Co 、 ^{59}Fe および ^{134}Cs を使用し、Table 1 にその仕様を示した。 ^{51}Cr (1.2 $\mu\text{Ci/ml}$)、 ^{58}Co (0.11 $\mu\text{Ci/ml}$)、 ^{59}Fe (0.2 $\mu\text{Ci/ml}$) および ^{134}Cs (0.26 $\mu\text{Ci/ml}$) 溶液をそれぞれ ^{51}Cr は 0.9% 食塩水溶液、他は 0.5N 塩酸溶液で希釈調製した。

2.2 材料布

実験に使用した材料布は、東洋紡績株式会社製の Table 2 に示した10種とした。

1) 各種材料布を予備洗後、2.4 cm ϕ に裁断し、1核種につき5枚ずつ実験を行った。試験布片の中央に放射性溶液 (^{51}Cr 、 ^{58}Co 、 ^{59}Fe 、 ^{134}Cs) 0.1 ml をマイクロピペットで滴下、水平につり下げ自然乾燥した。24時間後、汚染試験布として洗浄実験に供した。

2) 放射性溶液 600 ml のビーカーに各々 30~100 μCi を添加し 200 ml の蒸留水で希釈し、pH 3.0 に 0.5 N HCl 溶液で調整し、これを汚染水とし10種の試験布片を各々5枚ずつ入れ、24時間浸漬し、それぞれの汚染度を調べた。汚染度は次式で汚染係数を計算し比較した。

$$\text{汚染係数} = \frac{\text{試験布片の汚染計数率 (cpm)}}{\text{汚染液の計数率 (cpm/0.1ml)}}$$

Table 1 使用放射性核種

核種	半減期	化学形	主要 γ 線エネルギー (MeV)
^{51}Cr	27.8日	Na_2CrO_4 ; 0.9% NaCl 溶液	0.32 MeV (9%)
^{58}Co	71.3日	CoCl_2 ; 0.5N HCl 溶液	0.81 MeV (99%)
^{59}Fe	45.6日	FeCl_3 ; 0.5N HCl 溶液	1.095 MeV (56%) 1.292 MeV (44%)
^{134}Cs	2.046年	CsCl ; 0.5N HCl 溶液	0.605 MeV (98%) 0.796 MeV (99%)

Table 2 実験に使用した材料布

No.	組成	加工・処理	厚(mg/cm ²)	吸水量*(mg/g)
1	ポリエステル65%, 木綿35%	IS 加工 (防水, 防油)	25.1	0.59
2	〃	L-6 加工 (制電加工)	25.3	1.17
3	〃	一般加工 (樹脂加工)	25.3	0.80
4	木綿 100%	〃	19.9	1.22
5	ビニロン55%, 木綿45%	〃	25.2	1.17
6	ポリエステル65%, レーヨン35%	〃	24.7	1.02
7	ポリエステル30%, 木綿70%	〃	22.6	1.01
8	ポリエステル 100%	長繊維, 一般加工	17.5	1.05
9	〃	〃, オストロ加工(制電加工)	16.4	0.91
10	ポリエステル65%, 木綿35%	OR 加工 (防油, 弱吸水)	23.2	0.80

* 材料布 5.0×5.0 cm に切り 10分間室温で水に浸漬し、取り出して室温 20°C で10分間放置後秤量して吸水量を求めた。

2.3 汚染試験布の洗浄法および測定

1) 水洗

200 ml の蒸留水 (pH 5.6) を入れた 600 ml のビーカーに汚染試験布片は放射能を測定した時、別々に5枚ずつ入れ、マグネチックスタラーでおよそ 250 rpm で攪拌しながら、水温 30°C 10分間水洗した。濾紙でさっと水を吸い取り自然乾燥し、ガラス試験管に入れ、アロカ製オートウエルガンマシステム (Aloka JDC-752) で測定した。

2) 洗剤による洗浄

200 ml の 0.5 % アイソトープクリーナーA 溶液をビーカーに入れ水温 30°C、洗浄時間10分で行った。また洗剤で洗った後10分間水洗を行った。

3) JIS 規格により除染率を次式で計算し比較した。

$$\text{除染率} = (D_0 - D_1) / D_0 \times 100$$

D_0 : 除染前の試験布片の計数率 (cpm)

D_1 : 除染後の試験布片に残存する計数率 (cpm)

除染後の試験布片の計数率は除染前の試験布片の測定時刻に補正した。

3. 結果と考察

3.1 除染における攪拌時間の影響

^{51}Cr , ^{58}Co および ^{134}Cs によって汚染された材料布数種について、水および洗剤によって、マグネチックスタラーで攪拌時間5分より50分間変化させて除染効果を観察し、Fig. 1, 2 に示した。これによると、 ^{51}Cr については攪拌時間が長くなるにつれて、除染率は増加し、15分~20分の洗浄時間で除染効果は飽和に達する。しかし材料布の種類によって除染率は大きく変動し、 ^{58}Co および ^{134}Cs については蒸留水による洗浄での除染率は攪拌時間5分~10分で飽和に達し、 ^{51}Cr に比較して除染速度は早く除染効果も非常によくいずれも90%以上を示した。

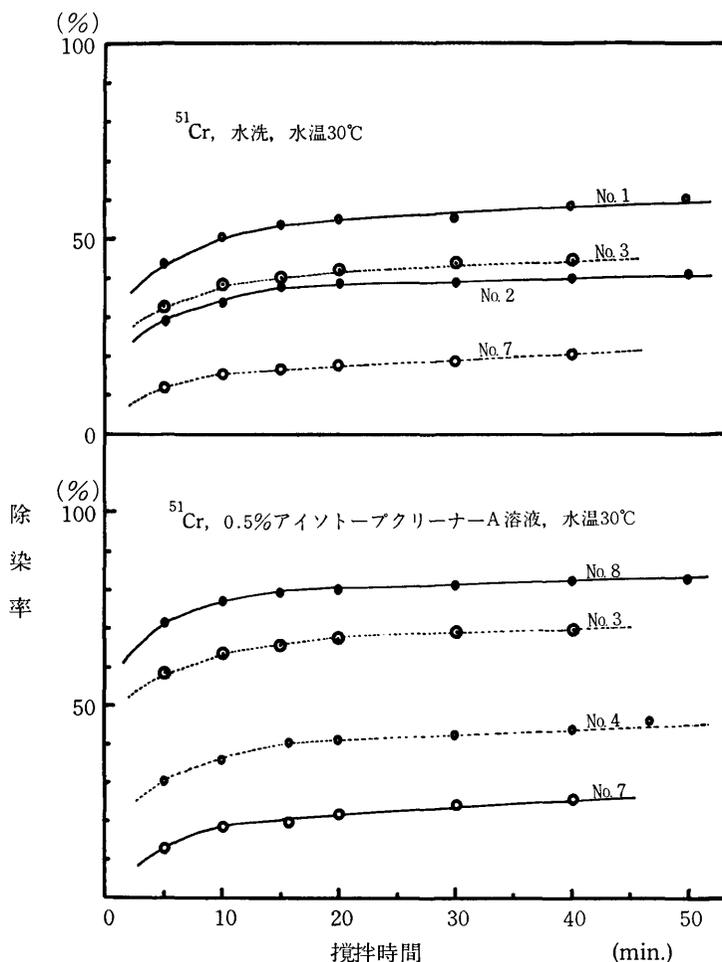


Fig. 1 除染における攪拌時間の影響 (^{51}Cr)

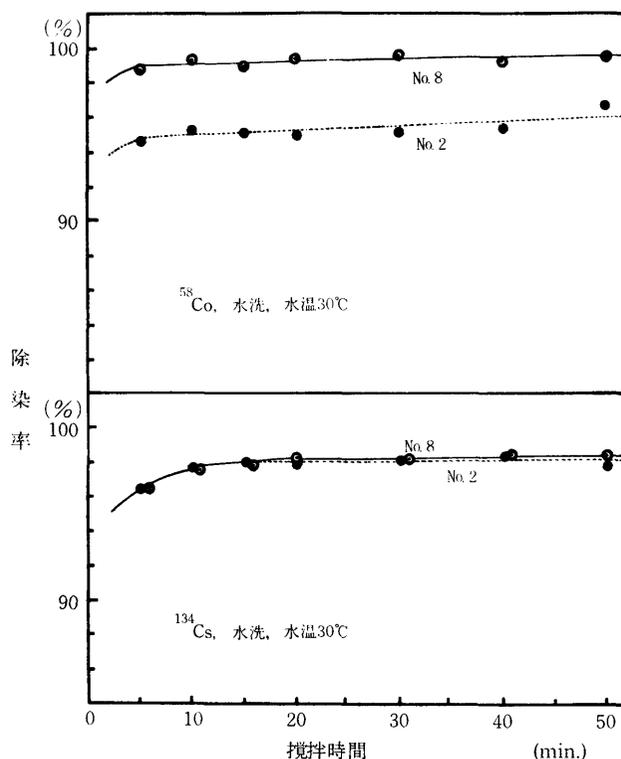


Fig. 2 除染における攪拌時間の影響 (⁵⁸Co, ¹³⁴Cs)

3.2 洗浄時の水温の影響

⁵¹Crによって汚染された布の洗浄において、水温を30°~60°Cに恒温水槽によって一定にし攪拌時間10分の除染率の変化の様子を Table 3 に示した。これによると試験布 (No. 7, 8, 10), すなわちポリエステル30%, 木綿70%混紡布, ポリエステルおよびポリエステル65%, 木綿35%混紡布については水温が上昇するにつれて除染率は若干減少するかあるいは一定すなわち水温にはあまり影響していない。その他のすべての試験布は水温が上昇するにつれて除染効果は増加するが, No. 5, 6 ビニロン, レーヨン混紡布がもっとも水温の影響が大きくそれぞれ60°Cでは30°Cでの洗浄の4~5倍の効果を示した。これはビニロン, レーヨンが合成繊維の中では親水性が高く, 高温により除染が容易になる。⁵⁸Co および ¹³⁴Cs については洗剤による洗浄で除染率は10分洗浄で90%以上で水温の影響は顕著に現われなかった。

3.3 洗剤の濃度による影響

洗剤としてアイソトープクリーナー A 液を用いて

0.1%~2%の水溶液で洗浄した場合の除染率の変化を Fig. 3 に示した。⁵¹Cr については No. 4 (木綿100%) の除染率は洗剤の濃度にはほとんど影響されないが, 洗剤を加えない水洗の場合の約3倍となっている。他の繊維 (No. 5, 木綿およびビニロン混紡布) では ⁵⁸Co による汚染において同様の傾向を示し, 洗剤による洗浄は水洗の場合の約2倍となっている。しかし他の布および ¹³⁴Cs については水洗およびクリーナーの濃度にかかわらず2%まではほとんど変化しない。

3.4 汚染後の経過時間による影響

⁵¹Cr, ⁵⁸Co および ¹³⁴Cs によって汚染させた試験布の水洗および洗剤による洗浄の場合の, 汚染後の経過時間による変化を Fig. 4 に示した。これによると ⁵¹Cr について, 汚染後洗浄するまでの経過時間が増加するにつれて No. 10, 木綿35%およびポリエステル65%については除染率は徐々に低下している。また洗剤による洗浄で No. 6, 7 (レーヨン35%-ポリエステル65%, 木綿70%-ポリエステル30%) の除染率

Table 3 洗濯における水温の影響 (除染率; %)

試験布 No	⁵¹ Cr								⁵⁸ Co			¹³⁴ Cs		
	水 洗				0.5% アイソトープ クリーナー液				0.5% アイソトープ クリーナー液			0.5% アイソトープ クリーナー液		
	30°C	38°C	45°C	60°C	30°C	38°C	45°C	60°C	30°C	45°C	60°C	30°C	45°C	60°C
1	32.8	31.8	34.7	62.9	48.5	51.3	57.2	74.6	—	—	—	—	—	—
2	15.0	18.0	31.6	53.0	23.9	21.1	41.0	64.7	—	—	—	—	—	—
3	45.3	43.3	39.5	55.5	38.1	37.0	56.2	59.9	91.0	90.4	92.1	97.9	96.8	97.4
4	16.2	18.3	36.6	47.5	27.0	26.1	40.8	52.1	99.5	98.7	98.5	97.1	96.7	97.5
5	7.3	6.1	23.4	28.3	10.1	10.0	25.5	34.6	—	—	—	—	—	—
6	8.5	8.0	22.4	42.0	11.4	10.6	—	49.6	—	—	—	—	—	—
7	36.7	31.6	12.9	18.9	16.7	33.3	—	18.0	—	—	—	—	—	—
8	44.7	50.2	44.2	44.1	69.3	69.0	—	65.3	—	—	—	—	—	—
9	58.2	52.9	38.0	61.1	58.3	53.3	—	76.7	—	—	—	—	—	—
10	49.5	—	51.3	38.7	56.6	58.6	62.1	44.8	—	—	—	—	—	—

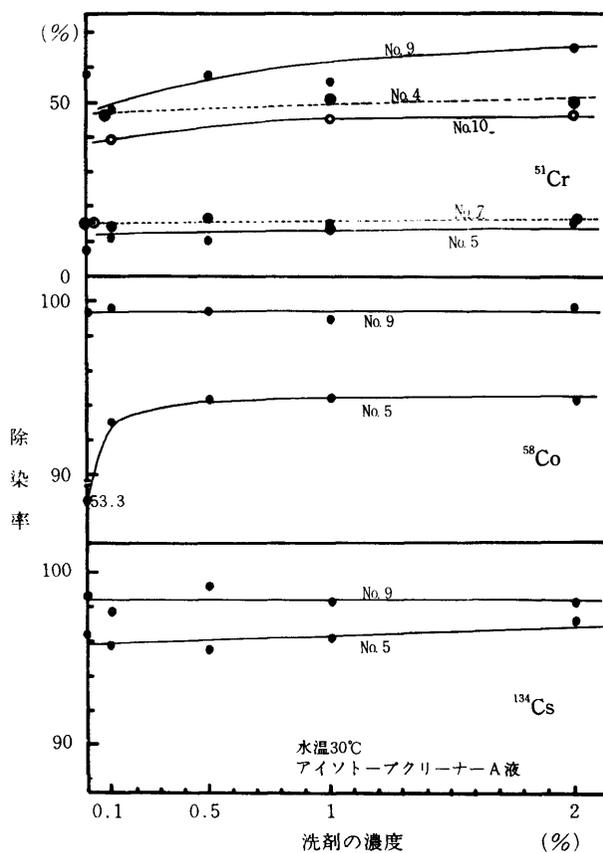


Fig. 3 洗剤の濃度による影響

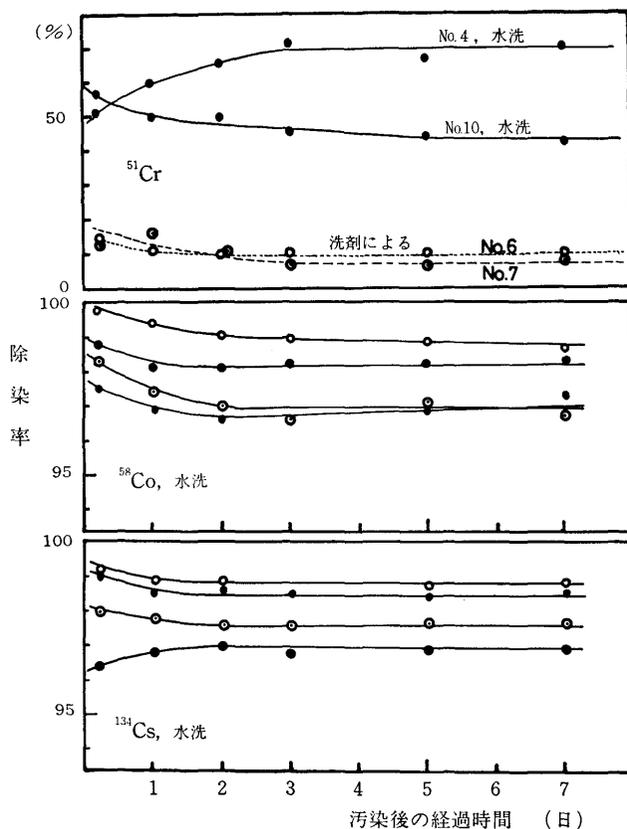


Fig. 4 汚染後の経過時間による除染率の変化

は約 $\frac{1}{4}$ と低いが、除々に低下し汚染後3日で一定に達している。しかし No. 4 (木綿100%) の水洗では ^{51}Cr および ^{134}Cs について逆の傾向を示し、除々に除染率は増加し3日で飽和に達している。 ^{58}Co および ^{134}Cs については水洗において除染率が95%以上となっているが木綿以外同様に除々に低下し3日後に一定になっている。汚染後除染までの時間が長くなると一般に表面より深部への放射性物質の拡散および浸透が進み除染がむつかしくなる。吸湿性の高い木綿の場合、汚染してから時間が長くなると膨潤し、除染しやすくなるものと思われる。

3.5 RI 溶液に浸漬した試験布の汚染係数と除染率

^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{58}Co および ^{134}Cs 溶液中にそれぞれ10種の布を24時間浸し、試験布の汚染係数を Fig. 5, 6 に棒グラフで示した。汚染係数は4種の核種のうち ^{51}Cr および ^{59}Fe に比較して ^{58}Co および ^{134}Cs については一般に低く、もっとも汚染されにくいのは ^{134}Cs で1.0~3.4であった。布の種類による汚染係数は

No. 4, 5, 6, 7 (木綿100%および木綿45%以上の混紡布) について比較的大きく汚染しやすく、No. 1, 8, 9, 10 (ポリエステル100%, ポリエステル65%-木綿35%の混紡) は汚染しにくかった。汚染しやすいものとしては一般加工すなわち樹脂加工を施したもので、木綿35%混紡の No. 1, 10 が汚染しにくいのは IS, OR 加工による防水および防油加工の影響によると思われる。RI 溶液に浸漬し得られた汚染試験布を水温 30°C 、洗浄時間10分で水洗した場合の除染率を Fig. 5, 6 に斜線の棒グラフで示した。

核種による除染率の相違は ^{134}Cs , ^{58}Co に比較して ^{51}Cr , ^{59}Fe は小さく、布の種類においてはいずれの核種についても No. 8, 9 (ポリエステル100%) が他のものに比べて除染しやすい。アイソトープ溶液をこぼした場合、流れ落ちて皮膚を汚染する恐れがあるため、ある程度その場所に吸収などしてとどまることも必要である。

Table 2 に試験布の吸水量 (mg/g) を示したが、これによると木綿が大きく、木綿 (35%)-ポリエス

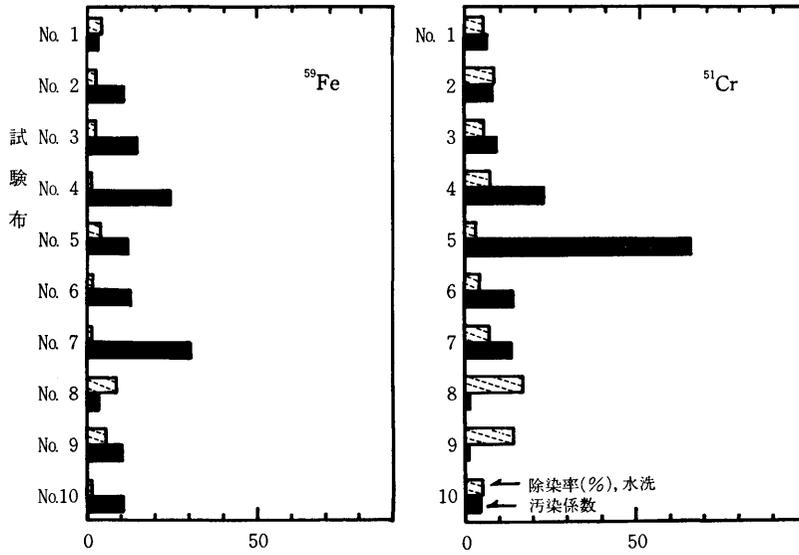


Fig. 5 布の種類による汚染係数と除染率 (^{51}Cr , ^{59}Fe)

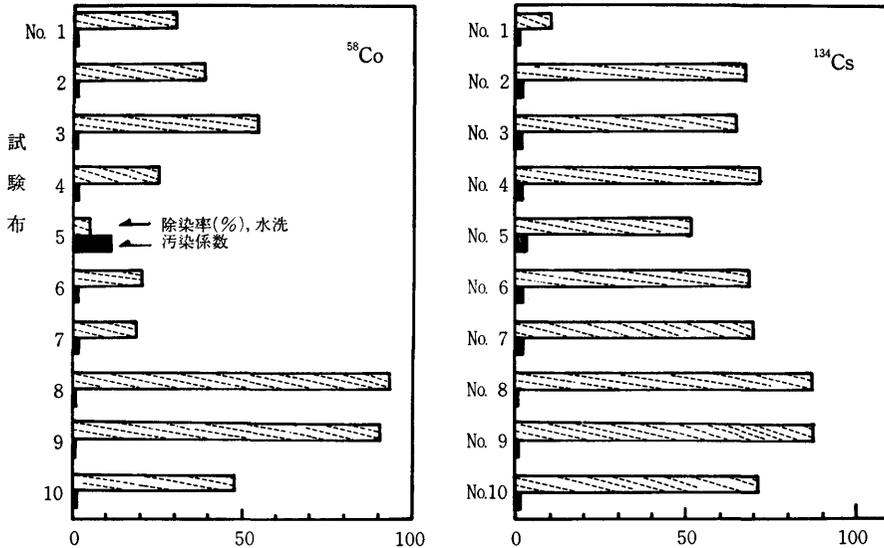


Fig. 6 布の種類による汚染係数と除染率 (^{58}Co , ^{134}Cs)

テル (65%) については IS 加工した No. 1 がもっとも吸水量が小さく、No. 2 (制電加工) の約半分であった。作業衣の材質としては汚染しにくく、除染が容易でしかも吸水性の良いことが望ましい。除染率 (DR)/汚染係数 (CF) を計算し Table 4 に示した。

DR/CF が大きい、すなわち汚染係数が小さく除染率数が多い試験布としては No. 8, 9 ポリエステル 100%がよく No. 4, 5, 6, 7 木綿 100%, ビニロン

(55%) - 木綿 (45%), ポリエステル (65%) - レーヨン (35%), ポリエステル (30%) - 木綿 (70%) は D.F./C.F. 値が小さく作業衣の材質としては不適である。ポリエステルは放射性物質取扱いの作業衣として適しているが、吸水性など実用性を考慮すると中間の DF/CF 値を示すポリエステル (65%) - 木綿 (35%) がよく、その中で防油、弱防水加工を施した No. 10 を選択出来る。

Table 4 試験布による D.R./C.F. 比

試験布 No.	除染率/汚染係数 (D.R./C.F.)			
	⁵¹ Cr	⁵⁹ Fe	⁵⁸ Co	¹³⁴ Cs
1	0.81	1.3	34.0	6.2
2	1.0	0.26	21.4	32.1
3	0.59	0.19	26.1	29.6
4	0.33	0.05	15.8	29.9
5	0.05	0.34	0.42	15.2
6	0.32	0.16	10.7	29.8
7	0.50	0.07	8.6	33.3
8	8.6	2.2	93.3	79.1
9	9.9	0.56	90.7	79.5
10	1.1	0.12	36.6	47.5

3.6 布に付着させた場合の除染効果

(1) 汚染核種による比較

これは JIS 規格により、除染率を検討したもので、10種の試験布について水洗および洗剤による洗浄による

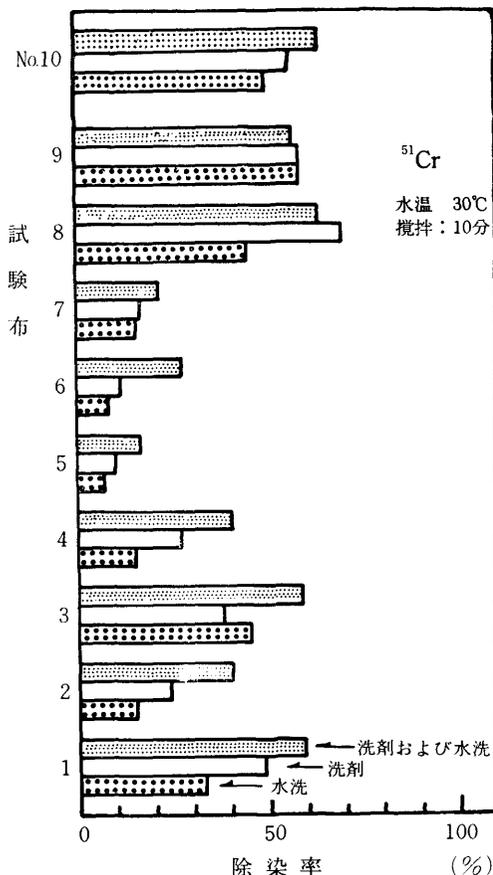


Fig. 7 ⁵¹Cr の除染効果

るものを Fig. 7~10 を示した。これによるといずれの試験布についても ⁵¹Cr の除染率が実験を行った核種の中ではもっとも小さく、⁵⁹Fe, ⁵⁸Co, ¹³⁴Cs の順に除染効果は良くなっている。とくに ⁵⁸Co および ¹³⁴Cs ではビニロン混紡の水洗以外はいずれも 90%以上を示した。

(2) 試験布の材質による比較

樹脂加工を行った異なる材質の試験布について、すなわち木綿 100%，ポリエステル 100%，ポリエステル (65%) - 木綿 (35%)，ビニロン (55%) - 木綿 (45%)，ポリエステル (65%) - レーヨン (35%)，ポリエステル (30%) - 木綿 (70%) における除染効果を Fig. 7~10 で検討すると ⁵¹Cr による汚染の場合、水洗あるいは洗剤による洗浄いずれにおいても、ポリエステル 100% およびポリエステル (65%) - 木綿 (35%) が除染率は大きく、ビニロン混紡布がもっとも小さかった。⁵⁹Fe による汚染試験布の場合あまり大きな差はないが、水洗では木綿 100%，レーヨン - ポリエステル 65% 混紡がよく、ポリエステル 100%，ビニロン混紡が悪く、洗剤による洗浄では木綿 100%，

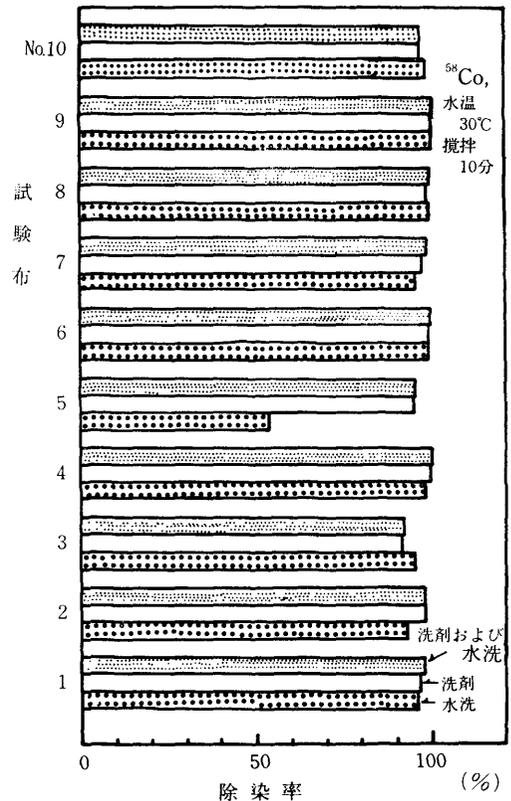


Fig. 8 ⁵⁸Co の除染効果

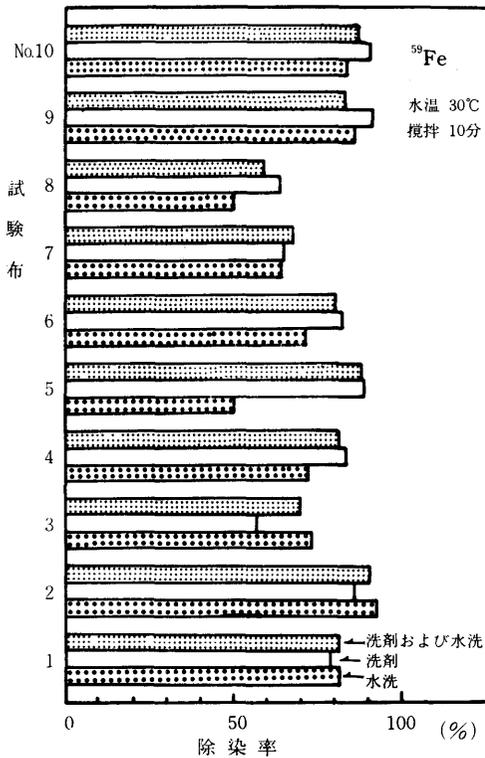


Fig. 9 ⁵⁹Fe の除染効果

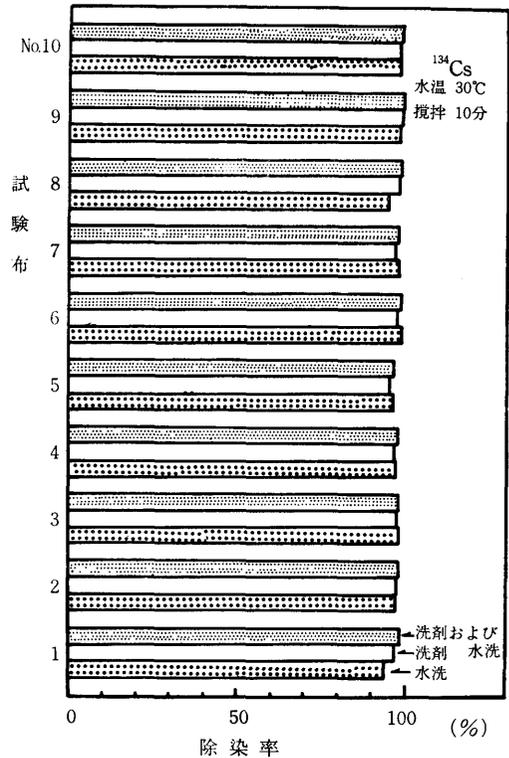


Fig. 10 ¹³⁴Cs の除染効果

ビニロン混紡およびレーヨン混紡がよく、ポリエステル65%混紡およびポリエステルが悪く、⁵¹Crとは若干異なる傾向を示した。⁵⁸Coおよび¹³⁴Csについてはビニロン混紡の水洗において53%を示した以外、90%以上を示し差は顕著ではないがレーヨン(35%)-ポリエステル(65%)、ポリエステル100%が除染率は大きく、ビニロン混紡は小さい。

③ 表面加工による除染効果

ポリエステル(65%)-木綿(35%)混紡布について樹脂加工、IS加工(防水、防油)L-6加工(制電加工)、OR加工(防油、弱防水)など表面加工の違いによる除染効果をFig. 7~10により比較した。⁵¹CrについてはOR、IS、樹脂、L-6加工の順に除染率は低下し、⁵⁸Co、¹³⁴Csについても、いずれも90%以上で差は顕著ではないがOR加工がもっとも高かった。⁵⁹Feについては上記の核種でもっとも悪かったL-6加工がもっとも良くなっている。

(4) 洗浄法による除染効果

ビニロン混紡が⁵⁹Fe、⁵⁸Coに汚染した場合、水洗による除染率は非常に悪く、洗剤による洗浄は非常によくなっている。また⁵⁹Feで汚染された木綿-ポリエ

ステルの混紡において水洗よりも洗剤の洗浄による効果は逆に悪く、水洗の効果が良かった。

(5) 汚染法の異なる布の除染効果

今回行った溶液の液滴による接触による汚染および浸漬による布の全面汚染による除染率はFig. 5~10により、前者がより高い値を示している。これは放射性物質溶液中への浸漬による布への深部性汚染の結果で、除染効果は表面への放射性物質の汚染方法にも依存すると思われる。

4. ま と め

試験布として10種の材質について、RI核種として⁵¹Cr、⁵⁹Fe、⁵⁸Coおよび¹³⁴Cs汚染の程度、水洗および洗剤による除染効果を調査して次の結果を得た。

- (1) 除染効果の程度は汚染RI核種および試験布の材質により影響するが⁵¹Crの除染率は15~20分の洗浄で飽和に、⁵⁸Co、¹³⁴Csについては5~10分で飽和に達し⁵¹Crと比較して除染速度は早く除染率は90%以上であった。
- (2) 除染効果における水温の影響は木綿については顕

森嶋他：放射性汚染除去に関する研究（I）

著であるが、ポリエステル100%およびポリエステル30%混紡については逆に温度が上るにつれて若干減少する。

(3) ^{51}Cr について汚染後の経過時間が長くなるにつれて除染率は除々に減少し汚染後3日で一定になる。しかし木綿100%については逆の傾向を示し増加し3日で飽和に達する。

(4) 布をRI溶液に浸漬した場合の汚染度は ^{134}Cs が低く ^{51}Cr , ^{59}Fe が高い。材質としては木綿100%あるいは45%以上の混紡は汚染しやすく、ポリエステル100%あるいは65%以上の混紡は汚染しにくい。ポリエステル100%およびポリエステル(65%)-木綿(35%)は除染率が大きく、ビニロン混紡布は除染しにくかった。しかし吸水性など作業衣としての実用性を考慮するとポリエステル(65%)-木綿(35%)で弱防水、防油加工を施したものが適している。

参 考 文 献

- 1) 和達嘉樹, 川野幸夫, 田島雄三; *Radioisotopes*, **14**, 1, 18(1965)
- 2) Y. Wadachi, K. Takada, Y. Yamaoka, S. Noguchi; *J. of Nuclear Science and Technology*, **2**, 3, 104 (1965)
- 3) 和達嘉樹; *Radioisotopes*, **23**, 12, 723 (1974)
- 4) 高田和夫, 和達嘉樹, 山岡義人; *日本原子力学会誌*, **6**, 11, 575 (1964)
- 5) 和達嘉樹, 田代晋吾, 井上義教, 村松三男; 同上, **7**, 9, 492 (1965)
- 6) 安中秀雄, 和達嘉樹, 同上, **18**, 5, 286 (1976)
- 7) K. Takada, Y. Wadachi, Y. Yamaoka, S. Noguchi, M. Muramatsu; *Radioisotopes*, **14**, 6, 487 (1965)
- 8) M. Chen, C. Tseng; *保健物理*, **3**, 213 (1968)