

放射線管理のための表面汚染からの再浮遊係数 に関する文献調査

1988年7月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村村松4-33
動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所
技術開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel
Development Corporation 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki,
319-11, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団
(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1988 年 7 月

放射線管理のための表面汚染からの再浮遊係数 に関する文献調査

(報告者) 関 昭雄[※] 大西俊彦[※]
叶野 豊[※] 岩月恒信^{※※}

要 旨

放射性物質等によって汚染された場所で作業を実施する場合、汚染物の再浮遊による空気汚染が放射線管理上問題となる。このため、再浮遊係数を予測あるいは測定、評価することは、放射線管理上極めて重要である。

本報告書は、今後の放射線管理における空気汚染の事前評価を目的として、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理工場、日本原子力研究所東海、大洗研究所等の各種放射線作業で測定されたデータを基に求めた再浮遊係数についての調査結果をまとめたものである。

その結果、再浮遊係数の平均的な範囲として、機器の除染、補修作業時は $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ であり、また、プルトニウム等を取扱う作業時は、 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ であった。

今回の調査は、必ずしも同一条件下での作業でなかったことやモニタリング方法等の違いにより再浮遊係数の値は同一ではないが、その値はおよそ $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ の範囲であることがわかった。

また、付録の“種々の表面からのプルトニウムの再浮遊係数を決定するためのいくつかの実験”のレポートは、放射線管理上有用かつ詳細なデータが報告されており、参考となる点が多々あり、併せて課員の資質向上を図ることを目的に全訳し添付している。

目 次

1. は じ め に	1
2. 各施設等で観測された再浮遊係数について	1
3. 考 察	7
付 録	9
AERE-R 4635 レポート和訳	9
「種々の表面からのプルトニウムの再浮遊係数を決定 するためのいくつかの実験」	

1. は じ め に

原子力施設の放射性物質等により汚染された場所で作業を実施する場合、汚染物の再浮遊による空気汚染が問題となる。この再浮遊は、再浮遊係数（空气中放射性物質濃度を表面汚染密度で除して得た値）として表わされている。

汚染された作業場所の表面汚染密度から空气中放射性物質濃度を推定する場合、この再浮遊係数をいくつにするかが大切となってくる。また、呼吸保護具の選定にも大きな影響を与える。

本報告書は、日本原子力研究所東海、大洗研究所のホットラボ、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所のプルトニウム燃料第二開発室、再処理工場等で測定されたデータを基に求めた再浮遊係数についての調査結果を今後の放射線管理における空気汚染の事前評価に資するため、また課員の資質の向上を目的とした教育用の一資料としてまとめたものである。

2. 各施設等で観測された再浮遊係数について

日本原子力研究所東海、大洗研究所のホットラボ施設、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所のプルトニウム燃料第二開発室、再処理工場の各施設等で測定された文献データを基に再浮遊係数についての調査を行った。結果を次の表-1に示す。また、付録の“種々の表面からのプルトニウムの再浮遊係数を決定するためのいくつかの実験”のレポートは、放射線管理上有用且つ詳細なデータが報告されており参考となる点が多々あるので全訳し添付した。

表-1 各施設等で観測された再浮遊係数について

施設名	主な作業内容	再浮遊係数 (cm^{-1})	文献
原研・大洗 ホットラボ 施設	- セル内マニピュレータによる遠隔除染後の第1回目の除染作業 (機器の搬出, フィルタ交換, 架台表面の除染 (ぬれウエスによる))	(研磨系セル) 範囲: $2.6 \times 10^{-6} \sim 5.6 \times 10^{-5}$ 平均: 1.8×10^{-5} (その他系セル) 範囲: $3.9 \times 10^{-8} \sim 3.9 \times 10^{-5}$ 平均: 7.5×10^{-6} ※平均表面汚染密度と再浮遊係数との関係図-1 参照	JAERI- memo-84- 156 (2.2.7)
原研・東海 燃料試験施設	セル内除染作業	(No.5 セル) 平均: 1.3×10^{-5} (No.6 セル) 平均: 1.2×10^{-6}	JAERI- memo-84- 156 (2.2.6)
原研・東海 ホットラボ 施設	ケーブル内機器のオーバーホールに伴う除染作業	範囲: $4.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-4}$ 平均: 6.0×10^{-6} ※平均表面汚染密度と再浮遊係数との関係図-2 参照	JAERI- memo-6224 (B.3.4)
原研・東海 プルトニウム 研究1棟 (107号室)	ビニールテント内における床面の汚染固定作業及び汚染漏洩箇所の封じ込め作業	範囲: $4.0 \times 10^{-8} \sim 1.9 \times 10^{-7}$	JAERI- memo-6224 (B.3.7)
動燃・東海 プルトニウム 燃料 第二開発室 (A-104室)	グローブボックス及び付属機器類の解体・撤去作業	(焙焼炉・炉芯管切断作業) 8.5×10^{-9} (還元炉・炉芯管切断作業) 3.2×10^{-8}	PNC SN841-84 -19

施 設 名	主 な 作 業 内 容	再 浮 遊 係 数 (cm ⁻¹)	文 献	
動燃・東海 再処理工場 (主工場, 酸回 収セル)	○主工場, 酸回収蒸発缶修復 工事	(酸回収セル)	PNC SN841-84 -06	
動燃・東海 再処理工場 (主工場, 除 染保守セル)	○パワーマニピュレータの修理 作業	(除染保守セル) 床上 1.2 m 範囲: 1.1×10 ⁻⁸ ~7.5×10 ⁻⁸ (R-335 セル) 床上 0.5 m 2.2×10 ⁻⁸	PNC SN841-79 -09	

施 設 名	主な作業内容	再浮遊係数 (cm ⁻¹)	文 献
動燃・東海 再処理工場 (廃棄物処理 場, 放射性 配管分岐室)	◦除染作業及びフランジ修復 作業	放射性配管分岐室 (R-018セル)	PNC SN844-80 -15
	作 業 内 容	再浮遊係数 (cm ⁻¹)	
	床及びV10, 11, 12 タンク 頭部ふきとり除染	5.0×10^{-7}	
	床及びV11, 12 タンク頭部 ふきとり除染	1.0×10^{-5}	
	床 ふ き と り 除 染	6.0×10^{-7}	
	床面ビニールシート養生	5.0×10^{-6}	
	廃棄物整理, 搬出	範囲: $1.0 \times 10^{-7} \sim 4.0 \times 10^{-6}$	
	サンダーによる研磨	2.0×10^{-7}	
	床面のボーリング	4.0×10^{-6}	
	セル内使用資材の整理	範囲: $2.0 \times 10^{-8} \sim 3.0 \times 10^{-7}$	
イギリス UKAEA	◦種々の表面からのプルトニ ウムの再浮遊係数を決定す るためのいくつかの実験		AERE- R-4635
	条 件	酸化プルトニウム	
	静 止	2.0×10^{-8}	
	歩行速度14歩/分	1.0×10^{-5}	
	” 36歩/分	5.0×10^{-5}	
		硝酸プルトニウム	
	静 止	2.0×10^{-8}	
	歩行速度14歩/分	1.0×10^{-6}	
	” 36歩/分	5.0×10^{-6}	

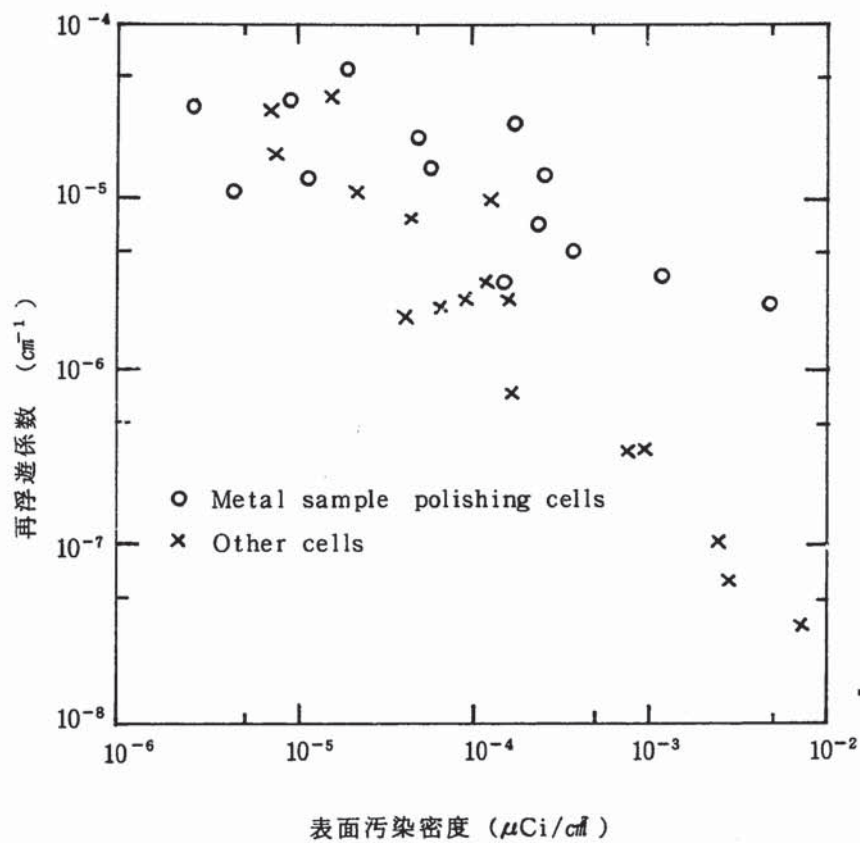
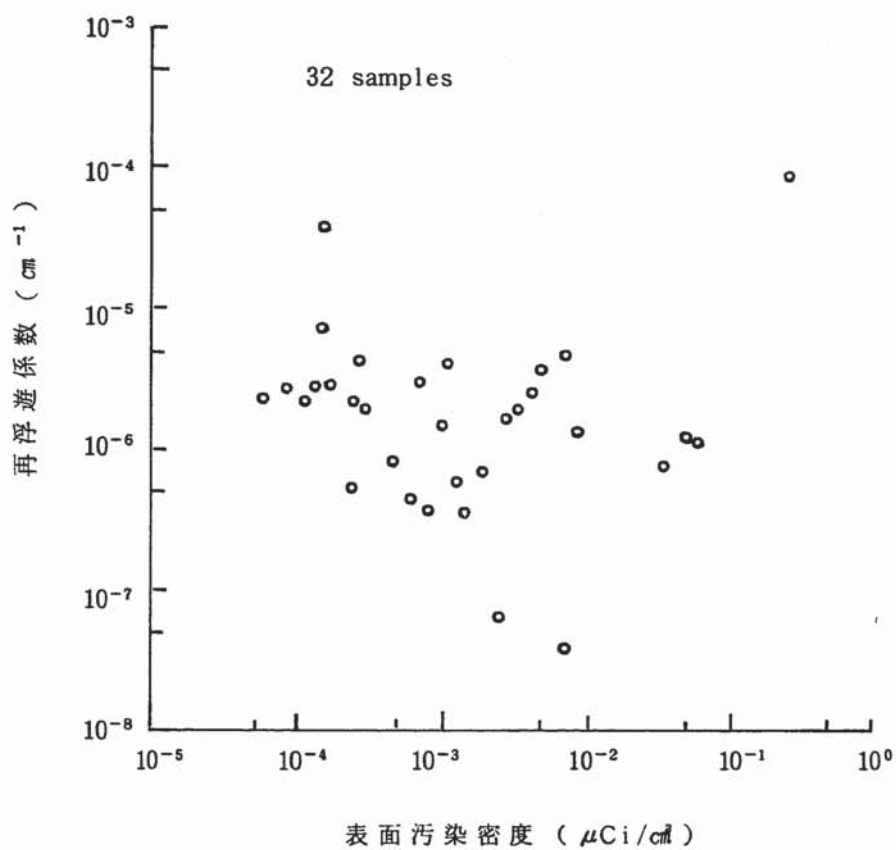


図-1. 平均表面汚染密度と再浮遊係数との関係



図－２ 平均表面汚染密度と再浮遊係数との関係

3. 考 察

文献データを基に各施設の作業で観測された再浮遊係数の調査結果は、2章に示した通りである。

2章の調査結果を基に、再浮遊係数を作業別に大別すると、機器の除染、補修作業等における平均的な範囲は、 $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ であり平均すると 10^{-6} cm^{-1} の値となる。

また、プルトニウム等を取り扱う作業における平均的な範囲は、 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ であり平均すると 10^{-6} cm^{-1} (静止時は除く) の値となる。

再浮遊係数 (K) は、表面汚染から空气中汚染へ浮遊する割合であり次式で表わされている。

$$K (\text{cm}^{-1}) = \frac{\text{空气中放射性物質濃度 } (\mu\text{Ci}/\text{cm}^3)}{\text{表面汚染密度 } (\mu\text{Ci}/\text{cm}^2)}$$

その値は、2章の調査結果にも示した通り、作業内容、手順及び物質の化学形態や汚染物の表面形状等の各種条件によって大きく変化するものであり、かつ再浮遊係数を予測あるいは測定、評価することは放射線管理を実施する上で非常に重要である。

今回の再浮遊係数の調査は、必ずしも同一条件下での作業でなかったことやモニタリング方法などの違いにより再浮遊係数の値は同一ではないが、その値は、およそ $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ の範囲であることがわかった。

今後とも再浮遊係数のデータの蓄積を図り、より充実した放射線管理に資するようになりたい。

参 考 文 献

- 1) 富 井 博 行 : 保健物理-管理と研究-No 26 2.2.6 章
J E A R I - m e m o - 8 4 - 1 5 6 (1 9 8 3)
- 2) 河原井 邦 雄 : 保健物理-管理と研究-No 26 2.2.7 章
J E A R I - m e m o - 8 4 - 1 5 6 (1 9 8 3)
- 3) 岡 本 利 夫 : 保健物理と安全管理, No 17 B.3.4 章
J E A R I - m e m o - 6 2 2 4 (1 9 7 4)
- 4) 松 下 紘 三 : 保健物理と安全管理, No 17 B.3.7 章
J E A R I - m e m o - 6 2 2 4 (1 9 7 4)
- 5) 関 昭 雄 他 : プルトニウム燃料第二開発室, A-104 室 におけるグローブ
ボックス及び付属機器類解体・撤去に伴う放射線管理報告
P N C S N 8 4 1 - 8 4 - 1 9 (1 9 8 4)
- 6) 大和 愛 司 他 : 酸回収蒸発缶の修復工事に伴う放射線管理
P N C S N 8 4 1 - 8 4 - 0 9 (1 9 8 4)
- 7) 中田 啓 他 : パワーマニプレータ修理 (主工場 R 3 3 3 除染保守セル内作業)
に伴う放射線管理
P N C S N 8 4 1 - 7 9 - 0 9 (1 9 7 9)
- 8) 中田 啓 他 : 放射性配管分岐室内フランジ修復作業に伴う放射線管理報告
P N C S N 8 4 4 - 8 0 - 1 5 (1 9 8 0)
- 9) I.S.Jones and S.F.Pond : Some experiments to determine
the resuspension factor of
Plutonium from various surfaces
A E R E - R 4 6 3 5 (1 9 6 4)

付 録

AERE - R 4 6 3 5 レポート和訳

「種々の表面からのプルトニウムの再浮遊係数を決定するためのいくつかの実験」

I. S JONES and S. F POND

1. は じ め に
2. 実 験 設 備
3. 実 験 手 順
4. 再浮遊係数の測定結果
5. 考 察
6. 結 論

参 考 文 献

AERE-R4635 レポート和訳

「種々の表面からのプルトニウムの再浮遊係数を決定するためのいくつかの実験」

I. S. JONES and S. F. POND

1. はじめに

現在イギリス原子力公社 (UKAEA) で使用されている表面汚染の誘導作業限度 (derived working limits) (以前は最大許容レベルと定義されていた) は以下の値である。

非放射性および低放射性区域に対して

α 放射能について $10^{-5} \mu\text{Ci} / \text{cm}^2$

β 放射能について $10^{-4} \mu\text{Ci} / \text{cm}^2$

放射性区域に対して

α 放射性について $10^{-4} \mu\text{Ci} / \text{cm}^2$

β 放射能について $10^{-3} \mu\text{Ci} / \text{cm}^2$

これらの値は DUNSTER によって導入され⁽¹⁾、そして CHAMBERLAIN によって大部分が実験によって証明された。⁽²⁾

ハウエル原子力研究所の管理区域の表面汚染を出来るだけ低く維持することを実施してから平均汚染レベルは許容レベルより十分低く保たれている。現在の誘導作業限度の適切さについて時々批判があるが、この批判は一般的に実測に基づくものではなく感覚的なものである。現在の不確さを解決する試みとして、種々の床表面で粉末状の酸化プルトニウムと硝酸プルトニウムの形態で付着している ^{239}Pu についての再浮遊係数を導き出すためのいくつかの実験を行った。

2. 実験設備

2.1 実験室について

実験を行なった実験室は 15.7 m^2 の床面積で天井高さは 3.15 m であった。フィルタで濾過した $540 \text{ m}^3/\text{h}$ の空気を床に近い位置から部屋に供給し部屋の反対側の天井高さの所から $436 \text{ m}^3/\text{h}$ の流量で排気を行った。給排気の空気量の差は我々の実験室よりも圧力をより低く保ったより大きい実験室に戸口の部分から空気が漏洩していることによる。実験で使用した装置から離れた所にこの実験室のただ一つの

備品であるグローブボックスが壁に向かって設置してあり、また汚染された床から戸口まわりの清浄な床をセパレートするための頑丈な汚染防止用バリアがある。

2.2 空気サンプリング装置

垂直面に15個のサンプリングヘッドをもっている特別製のエアサンプラを使用した。エアサンプラを図-1に示す。ヘッドは3個ずつ水平にしてそれぞれ14cm, 45cm, 83cm, 129cmおよび175cmの高さに保持してある。3個のヘッド間の水平距離は7.5cmである。各々のヘッドは直径2.4cmのグラスファイバーフィルタがとりつけてあり、ヘッドの背後には汚紙を通過する空気流量を調節する0.12cmのオリフィスに取りつけられている。装置全体は安定した空気吸引本管の空気吸引ラインへ接続した。各ヘッドの流量率は流量計で校正して約7 l/min (0.42 m³/h) であった。その後の実験では流量率34 l/minで動作する1台のサンプラを排出用本管の中に設置した。

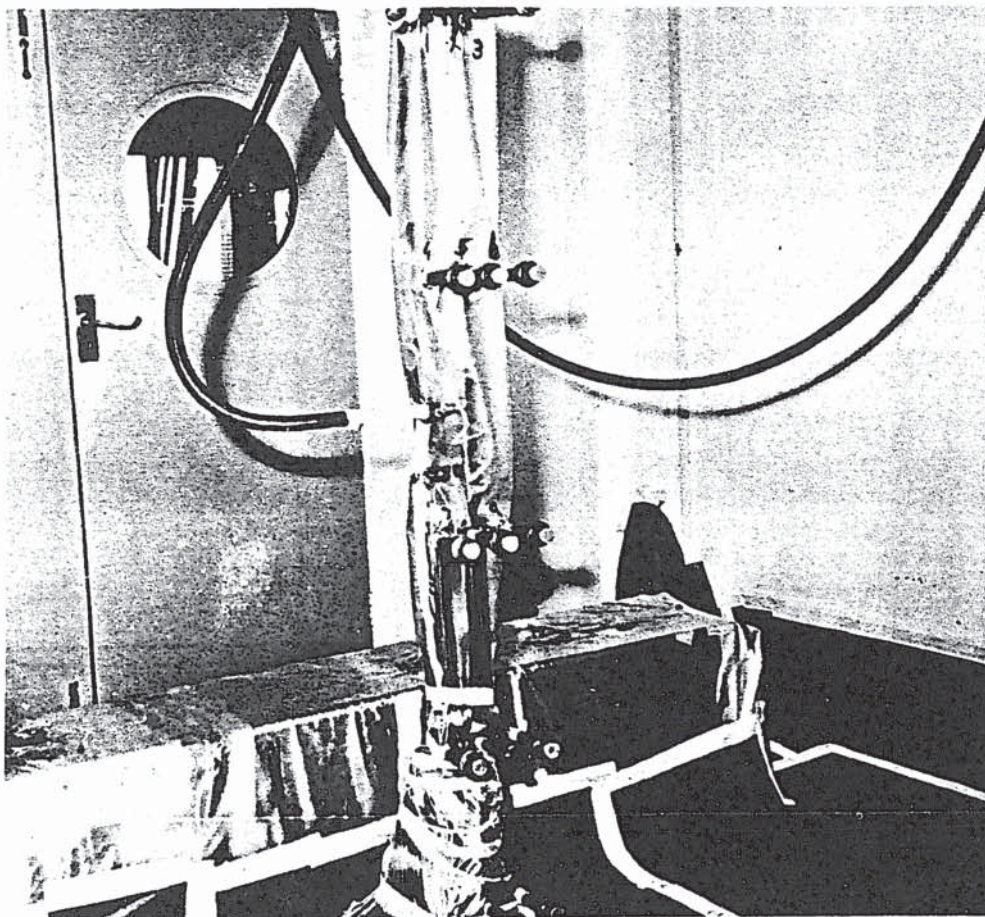


図-1. 15ヘッドエアサンプラ

2.3 床面プローブ

床のモニタリングに使用したプローブ（図-2に示す）は、 300 cm^2 の面積をもっている。検出器はZnSシンチレータであり、光電子増信管で増幅してレートメータへ接続してある。 ^{241}Am の標準線源についての検出効率は7.4%である。

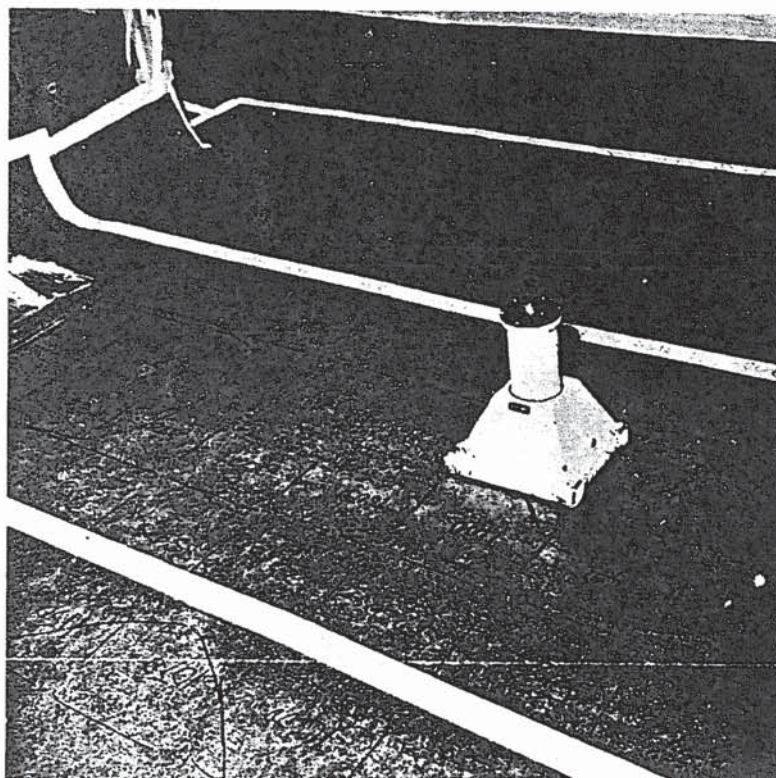


図-2. 床面プローブ

3. 実験手順

床面をそれぞれ酸化プルトニウムと硝酸プルトニウムで汚染させた後に一連の実験を2回行った。

3.1 酸化プルトニウム試料の調合

使用した酸化プルトニウムは ^{239}Pu 82%, ^{240}Pu 3.8%, ^{241}Pu 0.3%の組成であり、その比放射能は計算で 0.059 Ci/g である。約 1 mg の酸化プルトニウム粉末を計量する試みであったが必要量が微量であり、容器の重量との差が大きいため実験ごとに大きな変動があった。懸濁水溶液を作り、出来るだけ全体の床面に均一にピペットで滴下した。汚染の不均一の程度はモニタリング結果をヒストグラム

にして図-3 a に示す。

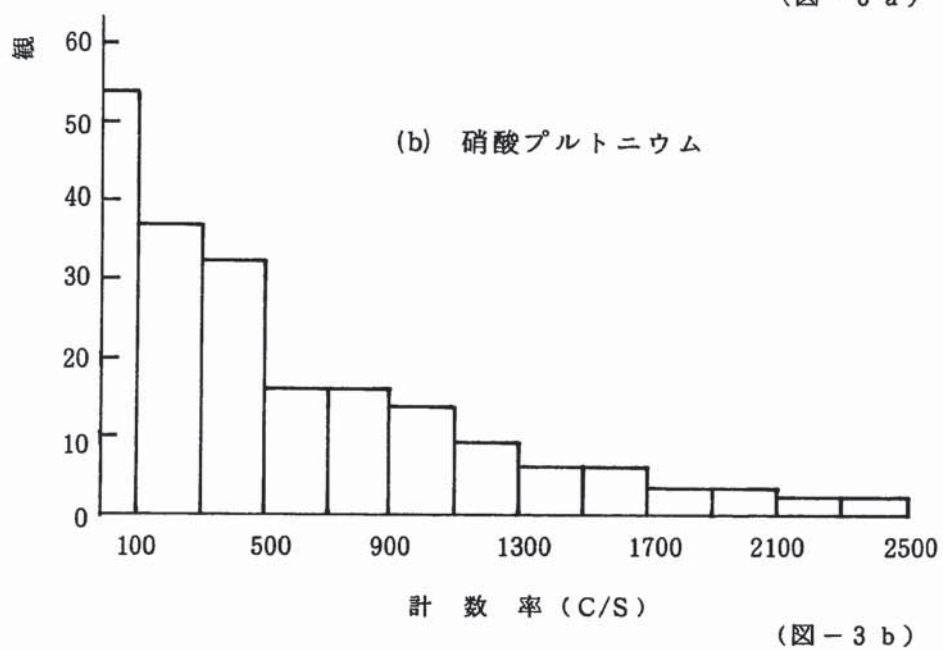
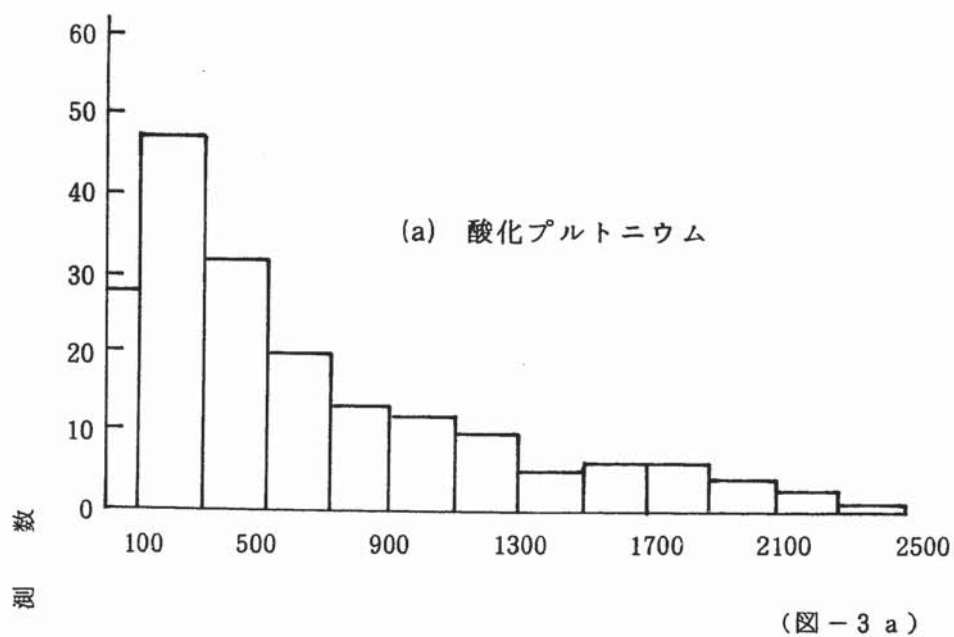


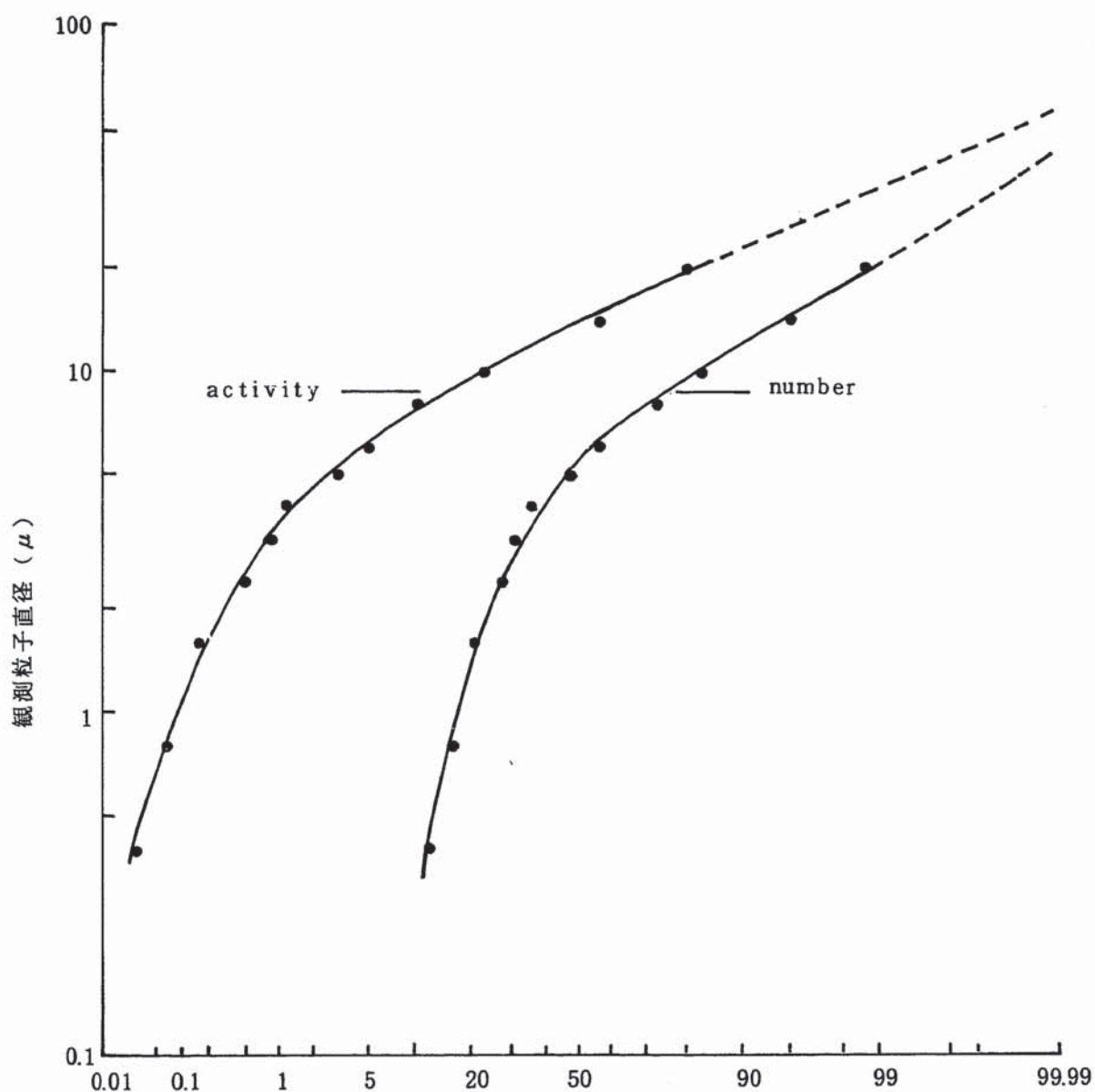
図-3. プルトニウム汚染の不均一性

3.2 酸化プルトニウムの粒子サイズの分析

酸化プルトニウムの懸濁液の一滴をグラスファイバーフィルタに滴下し、乾燥させた後原子核乳剤はく離技術 (nuclear stripping emulsion technique) を使用して⁽⁴⁾オートラジオグラフをとり粒子の放射能強度を検査した。光学顕微鏡で粒子サイズを検査した。酸化プルトニウム粒子は、オートラジオグラフの露光による方法の最低検出限界 (直径約 0.4μ) から最大約 60μ の範囲にある。図-4は個数と放射能強度によって分類した酸化プルトニウムの粒度分布を示す。個数による中央径は約 5μ 、放射能強度による中央径は約 14μ であった。この粒度分布は懸濁液1滴から分類したたった200個の粒子によるものであるので非常に概略的なものである。汚染した表面の放射能強度は、当然より大きい粒子やより放射能強度の強い粒子に依存する。 0.4μ の検出限界以下の小径の粒子がたくさん存在するが、これらは表面の放射能強度に対してほとんど寄与しない。

多くの粒子は、1辺約 10μ の正方形または長方形の板状結晶であった。他の粒子は非結晶質または微小結晶の混合物であると思われる。また両方のタイプの混合物も存在していた。自己吸収効果と共に、この形状効果およびオートラジオグラフ法による放射能測定誤差は形状粒子として計算した放射能強度と、測定した放射能強度間の相違の原因となっている。

酸化プルトニウム粒子の放射能強度と粒子径の関係について図-5に示す。



記述した粒子数 / 放射能強度以下のパーセント

図-4. 酸化プルトニウムの粒度分布

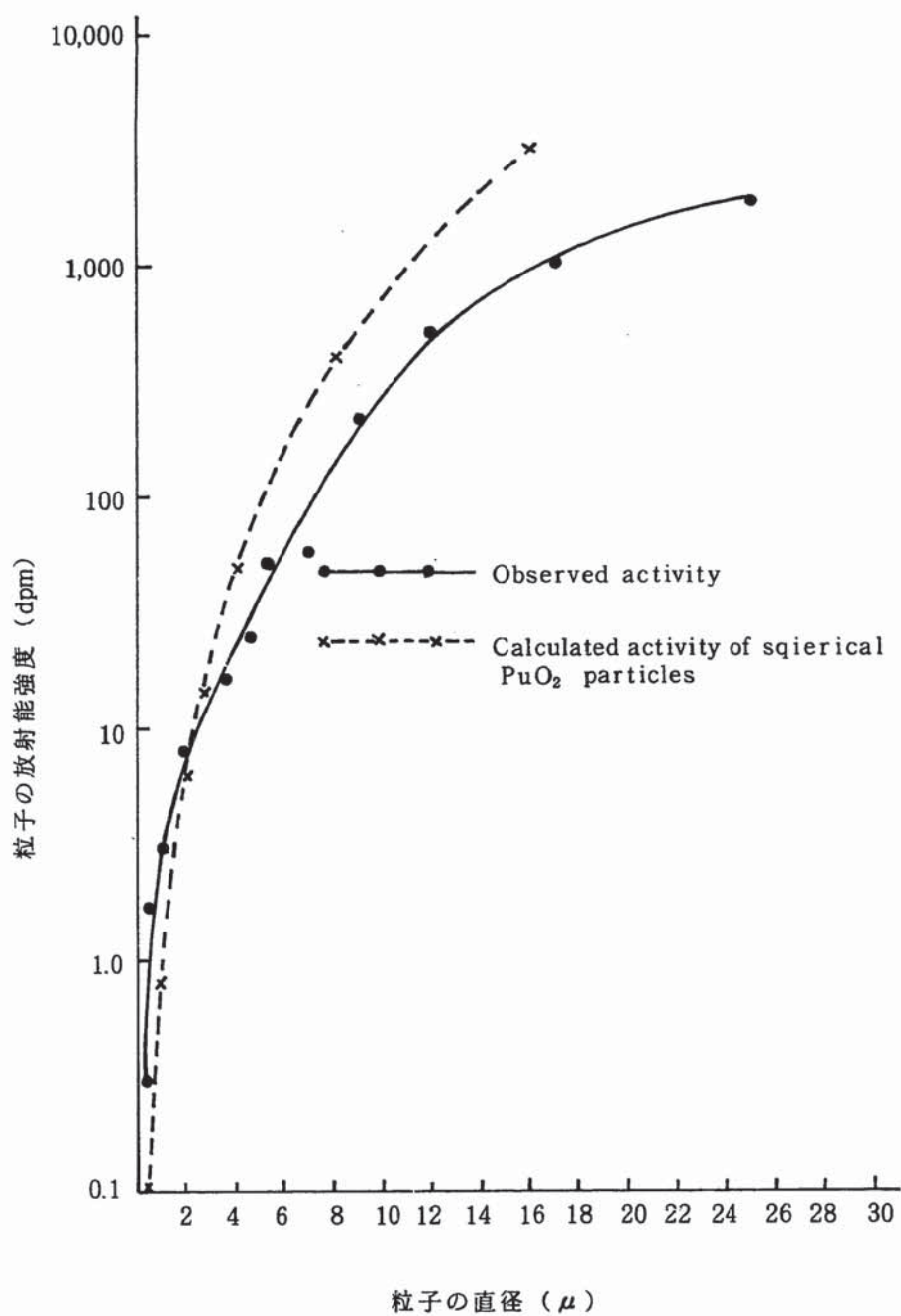


図-5. 酸化プルトニウム粒子の放射能強度と粒子径の関係

3.3 硝酸プルトニウム試料の調合

各実験において比放射能 $66 \mu\text{Ci}/\text{ml}$ の硝酸プルトニウムの硝酸溶液の一部を水で希釈し、滴下ビンを使用して滴下して床を出来るだけ均一に汚染させた。それから水滴を乾燥させるために16時間実験室を放置した。モニタリングにより測定した床汚染の不均一の程度を図-3bにヒストグラムで示した。

3.4 床表面

実験は瀝青で処理した紙、PVCシート、ワックスをかけて磨いたリノリウム板およびワックスをかけてないリノリウム板の床表面について行った。汚染させた床面積は 10^5 cm^2 であった。

3.5 実験順序

床を汚染させた後、16時間バックグラウンドの空気サンプリングを行った。次に空気サンプリング用紙を取り除き、実験室の床の詳細サーベイを行うために連続的に運転するサンプラに新品の用紙をとりつけた。この詳細サーベイ（通常約60分間行った）ですべての調査区域をモニタ（図-2参照）した。作業者は汚染させた床面上を平均14歩/1分で歩き回った。それから予め選択した区域のスポットモニタリングを行う間、新品の用紙を取り付けたエアサンプラのヘッドを再びセットしてサンプリングを行った。このスポットモニタリングを行っている間（約60分間行った）歩行速度の平均は36歩/1分であった。

3回での実験では、2人の作業者がヘッドドライアを床面に向けて床の上を歩き回るといふ再浮遊の極端な状況を模擬する試みを実施した。これら3回の実験のそれぞれの平均時間は約45分間あり、作業者の平均歩行速度は100歩/1分であった。

モニタリングを実施している間、作業者はパーソナルエアサンプラを装着し、 $2 \text{ l}/\text{min}$ の流量率でサンプリングを行った。

4. 再浮遊係数の測定結果

13回にわたる全部の実験で得られた結果を表-1に示す。モニタリングによって測定した平均汚染レベルは、調合した試料から計算して求めた値とかなりよく合致している。（ただし測定可能な α 汚染が紙による吸収のために約半分に減少してしまう硝酸溶液を紙上に滴下した場合を除く。）多くのスミアテストを行った結果、スミアで取り除かれる量の平均値を表-1に記載した。

再浮遊係数 K は表面汚染 ($\mu\text{Ci}/\text{m}^2$) に対する空气中濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{m}^3$) の比であらわれる。この研究により多くの再浮遊係数が計算により求められた。 K_1 は床面で静止

した状態で得られた値であり、 K_2 は詳細モニタリング（歩行速度 14 歩/1 分）の測定からのもの、 K_3 はスポットモニタリング（歩行速度 36 歩/1 分）の測定からのもの、 K_4 は極端な状態（ヘアドライアを身につけて表面汚染を攪乱しながら 200 歩/1 分で歩きまわる）から得られた値である。表-1 に引用した室内空気の汚染レベルのすべての値は、収集した 15 サンプルの平均値である。

異なった条件のもので K の値を図-6 にグラフで示す。図-7 に酸化プルトニウムと硝酸プルトニウムに対する全平均値を示す。室内排気空気のエアサンプラとパーソナルエアサンプラから得られた結果も表-1 に示す。

4.1 空気試料および表面汚染試料のオートラジオグラフの結果

いくつかの空気試料について、粒度分布および粒子放射能強度分布を調査するために、オートラジオグラフ技術と顕微鏡技術により検査を行った。オートラジオグラフにより、空気中濃度の測定において $5\ \mu$ 以上の放射能強度の高い大きな粒子により空気中濃度が決められてしまうという一般的によく出合う特徴について証明することが出来た。例えば、酸化プルトニウムで汚染させた床面上に設置したエアサンプラでは 200 ～ 300 粒子が捕集されるが、試料の放射能強度の約 50 % は、100 ～ 500 dpm の放射能強度を持つ 5 ～ 10 個の $5\ \mu$ 以上の粒子によって決まってしまう。捕集される粒子数がより少ない硝酸プルトニウムの実験においては、この支配的粒子の問題はもっと厳しいものであった。

もし、酸化プルトニウム粒子の肺の深部への侵入についての上限直径が $3\ \mu$ （単位密度の $10\ \mu$ の粒子に相当する。）であると控え目に仮定をすれば、今回の測定値は全浮遊放射能強度のほんの 10 ～ 20 % が肺の深部領域に侵入するだけであろうことを示している。

詳細なオートラジオグラフ検査によって汚染させた瀝青で処理した紙についての実験において、捕集した粒子の放射能強度の 3 ～ 10 % は非放射性ダスト粒子および繊維に付着している $5\ \mu$ 以下の小さな酸化プルトニウム粒子によるものであることが証明できた。このような汚染した不活性ダスト粒子は、プルトニウム作業区域⁽⁶⁾で捕集したサンプル中でたびたび見つかった。繊維粒子はおそらく紙から発生したものである。限られたオートラジオグラフ検査の結果では、紙の床表面上の酸化プルトニウムの粒度分布は、空気中における粒度分布とよく似ていることが証明できた。硝酸プルトニウムで汚染させた PVC 床表面で観測した 10000 dpm 以上の非常に高い放射能強度をもつ粒子は、表面張力効果によって 2 ～ 3 の大きな水滴が蒸発して生成したものと思われる。

表-1 プルトニウムの再浮遊係数

Expt. No	Floor Covering	Average floor contamination derived from dispensed amount (μCi)	Average floor contamination derived from ($\mu\text{Ci}/\text{m}^2$)	% activity removable by smear	Average room air sample $\mu\text{Ci}/\text{m}^3 \times 10^5$	Extract air sample $\mu\text{Ci}/\text{m}^3 \times 10^5$	Personal Air Samples $\mu\text{Ci}/\text{m}^3 \times 10^5$	Floor movement on monitoring operation	K factor $\frac{\mu\text{Ci}/\text{m}^2}{\mu\text{Ci}/\text{m}^3 \times 10^5}$	Remarks
Plutonium oxide 1 (i)	Paper	6.45	6.8		0.002 3.38 24.8	— — —	— — 286	No movement Detailed Spot	K_1 0.003 K_2 5 K_3 36	Air sample in horizontal plane at about 3'6" from the floor
1 (ii)	Paper	12.3	5.3		0.08 6.0 33	— — —	— 1.28 —	No movement Detailed Spot	K_1 0.15 K_2 11.28 K_3 62	
2 (i)	PVC	13.46	9.6		0 2.76 40.6	0 1.8 8.8	— — —	No movement Detailed Spot	K_1 0 K_2 2.9 K_3 42	
2 (ii)	PVC	15.82	12.6		0.014 8.2 33.2	0.002 4.4 16.6	— — —	No movement Detailed Spot	K_1 0.01 K_2 6.5 K_3 26.3	
3	PVC	14.6	10.3	14	0.002 0.62 15.6	0.0006 0.38 3.08	— 0.18 0.9	No movement Detailed Spot	K_1 0.002 K_2 0.6 K_3 15.2	
4	Lino Waxed & Polished	17.58	12.0	58	0.002 9.6 43 33.6	0 1.4 21.0 10.2	— 1.26 8.0 15.2	No movement Detailed Spot Maximum	K_1 0.01 K_2 8 K_3 35.8 K_4 30.5	
5	Unwaxed Lino	17.58	13.0	20	0 26 230 192.6	0 13.8 116.0 7.8	— 2.4 45.4 82.4	No movement Detailed Spot Maximum	K_1 0 K_2 20 K_3 177 K_4 148	
Plutonium nitrate 6 (i)	Paper	6.6	3.3	0.2	0.02 0.42 0.8	0.006 0.2 0.02	— 0.42 0.54	No movement Detailed Spot	K_1 0.06 K_2 1.27 K_3 2.4	
6 (ii)	Paper	6.6	3.7	0.1	0.012 0.11 0.36	0.002 1.0 0.12	— 0.06 0	No movement Detailed Spot	K_1 0.03 K_2 0.3 K_3 1.0	
7 (i)	PVC	6.6	7.6	21	0 0.28 2.9	0.04 0.14 0.78	— 0.1 0.24	No movement Detailed Spot	K_1 0 K_2 0.36 K_3 3.84	Air sample in horizontal plane at about 3'6" from the floor.
7 (ii)	PVC	6.6	7.5	29	0.002 1.0 12.2	0.002 0.32 6.8	— 1.16 1.58	No movement Detailed Spot	K_1 0.01 K_2 1.33 K_3 16.2	
8	PVC	6.6	7.8	31	0.006 0.72 2.84	0.006 0.52 1.0	— 0.04 0.9	No movement Detailed Spot	K_1 0.01 K_2 0.9 K_3 3.65	
9	Lino Waxed & Polished	6.6	8.0	6	0.042 0.3 1.2 6.4	0.018 0.24 0.42 1.02	— 0.04 1.36 0.92	No movement Detailed Spot Maximum	K_1 0.05 K_2 0.37 K_3 1.5 K_4 4.8	

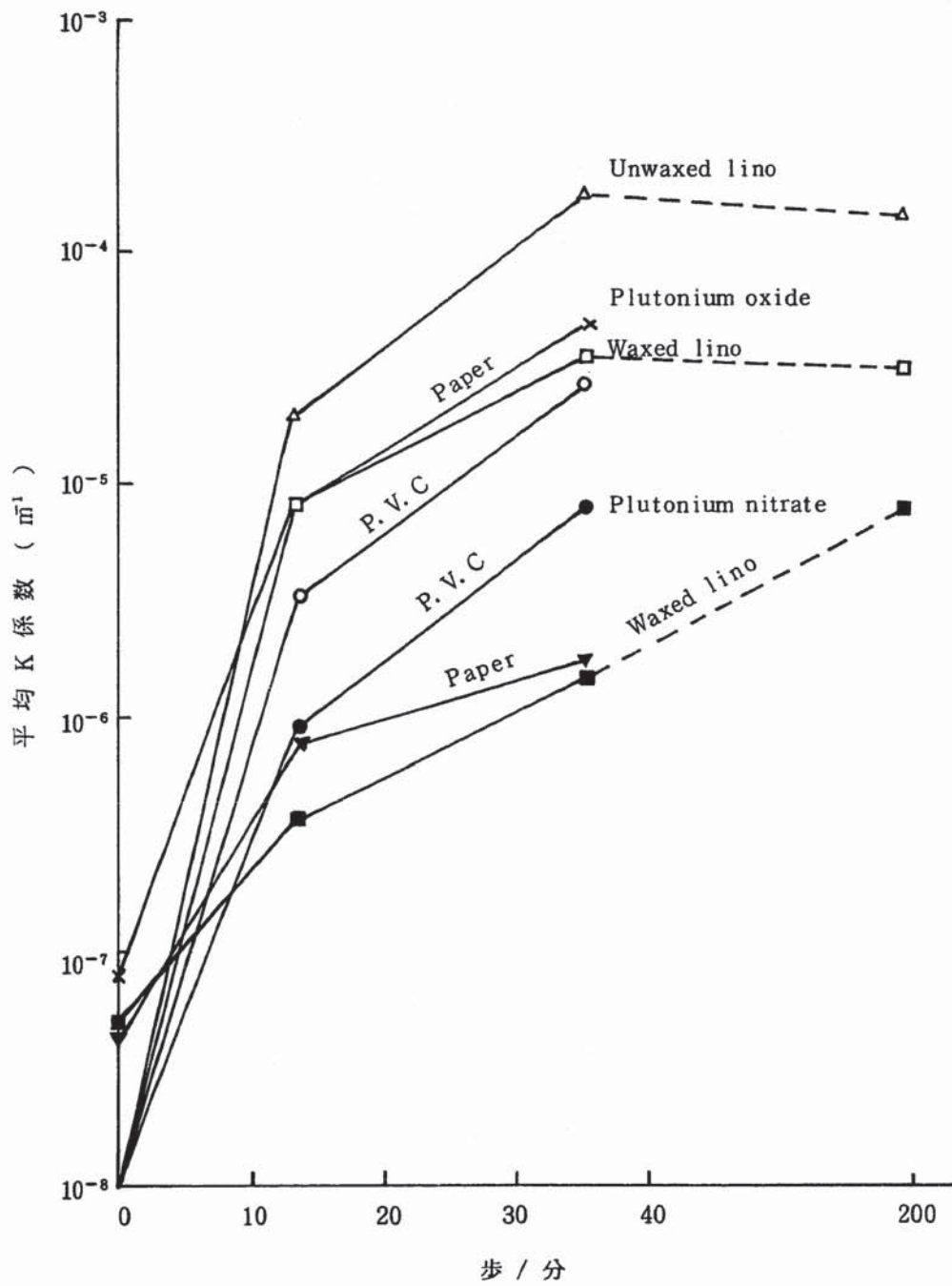


図-6. 異なった床表面の再浮遊係数

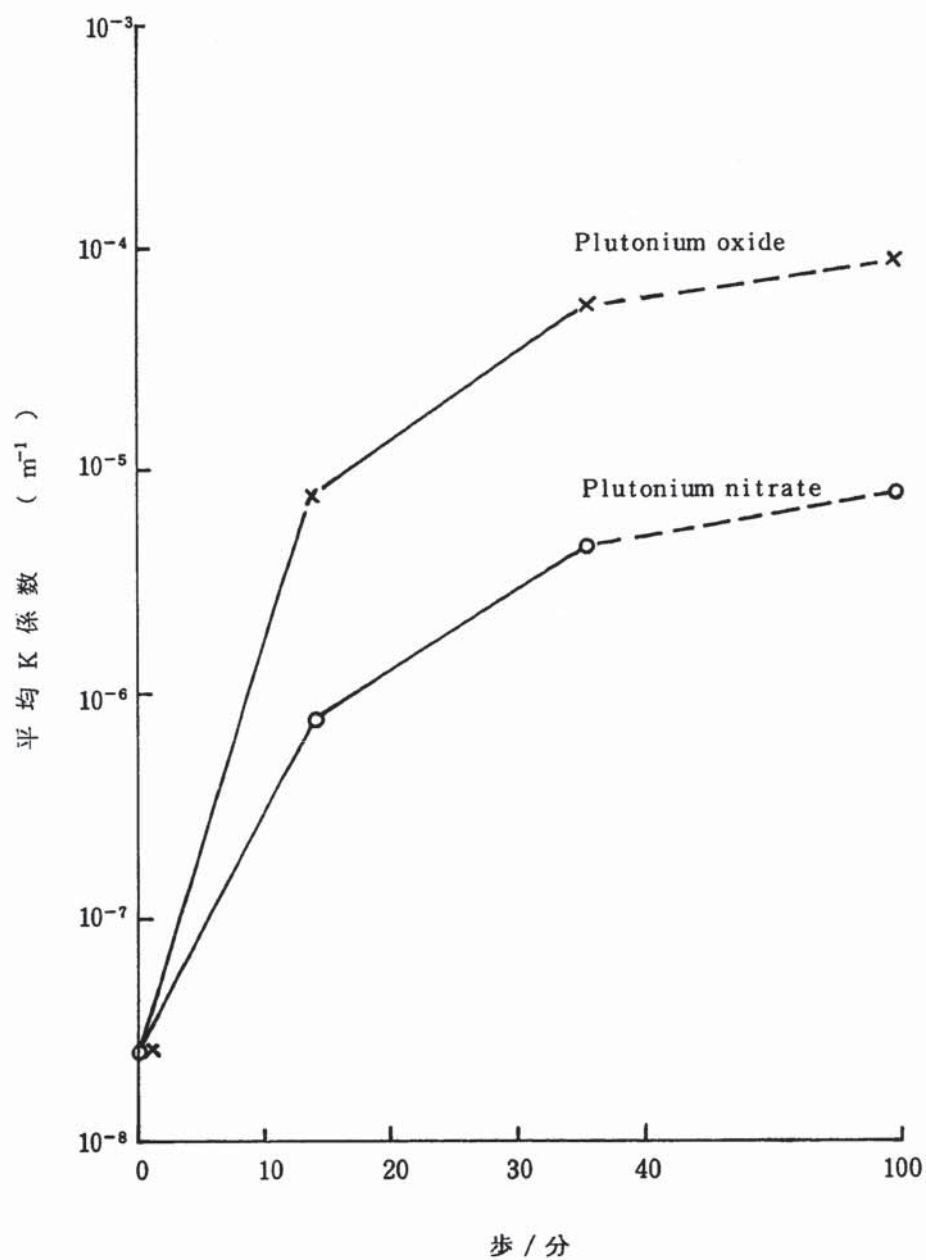


図-7. 酸化プルトニウムと硝酸プルトニウムに対する平均再浮遊係数

5. 考 察

オートラジオグラフ検査によって、15個のサンプリングヘッドから得られた結果の平均は、1個または数個のサンプルから得られたものより、支配的な粒子の影響を実質的に低下させられるので、より浮遊性汚染を代表するサンプルであることを証明できた。再浮遊係数は汚染の形態、床表面材の種類、作業者の動きによって明きらかに影響されるにもかかわらず、特定の条件のもとではかなり首尾一貫した再浮遊係数が得られることを実験結果が示している。溶液のプルトニウムの場合には、不浸透性の紙の表面よりも吸収性の紙の表面の方がより低い再浮遊係数であった。

より大きな粒子はサンプリング用紙を水平にし、捕集面を上にした場合に集まりやすいと考えられたが、用紙を垂直にして行った2つの実験においては、再浮遊係数の有意な相違はなかった。予想に反して、極端な動作の条件のもとで得られた K_4 の値は、作業者がスポットモニタリングを行なって得た K_3 の値と有意な相違はなかった。汚染した表面を歩くことは、床面の放射能のある部分を固定する傾向があると思われる。一連の実験において、床面の上の動きを増加させていくと、より多くの放射能がしだいに固定されるようになった。しかし、この点を解明するためにはさらに実験が必要であろう。事故時には、作業者が動きまわって汚染を固定したりあるいは拡散させるのでこの出来事のような状況は典型的なものになるのであろう。

ワックスをかけてないリノリウムの床は、ワックスをかけて磨いてあるリノリウムの床よりもより高い再浮遊係数となった。ハウエル原子力研究所においては、汚染管理区域の床面は通常リノリウム板で覆っており定期的にワックスをかけて磨いてあるのでこの事実は実用上重要な点である。ワックスをかけて磨いた表面の除染の容易さはスミアによって除去される放射能のパーセントが高いことから示された。(58%)

今回の結果から、作業条件のもとで最も妥当な再浮遊係数を得るには2通りの方法がある。簡単な算術平均を行うことにより、 K_3 の値は酸化プルトニウムについて $6 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ の値を、硝酸プルトニウムについては $5 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ の値が得られる。(図-7参照)酸化プルトニウムの場合、ワックスをかけないリノリウムの場合の高い値を除いて評価すると K_3 の値の平均値は $4 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ に減少する。

もう一つの方法は、 K 値のある範囲の値の発生頻度を示すヒストグラムをプロットする方法である。図-8に示したヒストグラムの検査によって實際上重要な最悪ケースの場合で K_3 の値は 10^{-5} m^{-1} の値から 10^{-4} m^{-1} の範囲で最も頻度が高いことを示しているので、それ故 K_3 の平均値としては $5 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ が妥当と思われる。

以上の2つの求め方により研究を行った實際上最悪の条件に対する再浮遊係数として $5 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ の値が得られた。並みの汚染条件ではより低いオーダーの値となるであろう。

この $5 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ の値は α 表面汚染についての誘導作業限度の基本となっている

Dunster によって使用されている再浮遊係数の値 $4 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ の値とよく一致している。現在使用されている職業被曝に対するプルトニウムの空気中の最大許容濃度 ($2 \times 10^{-12} \mu\text{Ci}/\text{cm}^{(7)}$) は Dunster が計算値を公表する時に使用した値よりも3倍程低い値である。一方、一連の試験結果から得た $5 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ の値を採用することはプルトニウムの他の形態、および異なった条件に対して再浮遊係数がかなり小さくなることが実験により推定できるので悲観的なことである。さらに無視できないこととしては、実際に床面全域にわたって一様に汚染が生じるということはめったにないということである。

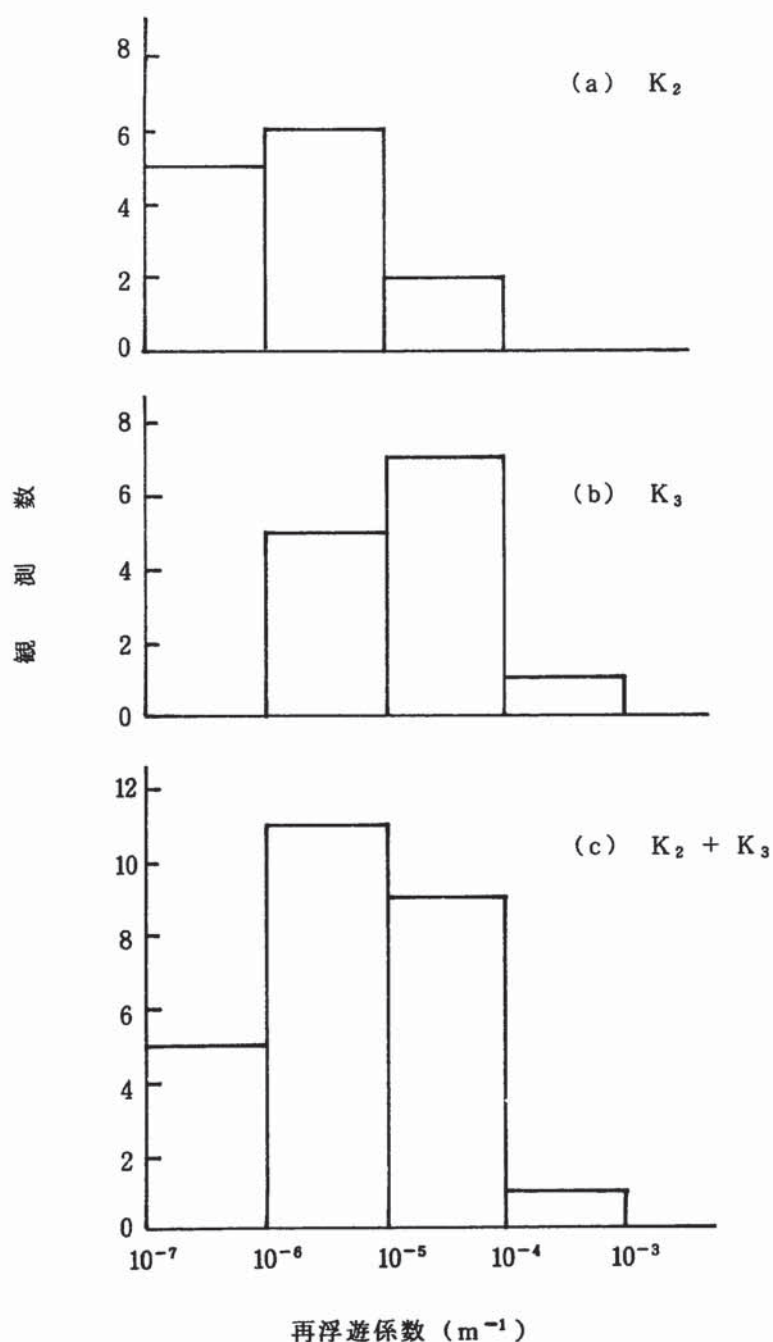


図-8. 再浮遊係数の発生頻度

6. 結 論

捕集された浮遊性プルトニウムのサンプルの解析により、放射能強度のわずか10～20%が吸入される大きさの粒子によるものであることが示された。

この研究の結果は、表-2に示す再浮遊係数を用いることが妥当であることを示唆している。床上をより活発に動きまわっても、再浮遊係数の有意な増加は起こらない。

表面汚染に対する作業限度を求めるためにこれらの再浮遊係数を用いるに当って浮遊性放射能の大部分（今回の実験では80～90%）は肺の深部に吸入されない粒子の大きさであることを知っておくことは価値のあることである。

この一連の実験によりイギリス原子力公社で使用されている表面汚染に対する誘導作業限度の値はほとんどの実際的な状況において妥当なものであるという結論を得た。

表-2 再浮遊係数のまとめ

Material	Movement in Laboratory	Resuspension Factors (m^{-1})
Plutonium oxide	No movement	$K_1 \quad 2 \times 10^{-8}$
	14 steps/minute	$K_2 \quad 10^{-5}$
	36 steps/minute	$K_3 \quad 5 \times 10^{-5}$
Plutonium nitrate	No movement	$K_1 \quad 2 \times 10^{-8}$
	14 steps/minute	$K_2 \quad 10^{-6}$
	36 steps/minute	$K_3 \quad 5 \times 10^{-6}$

参 考 文 献

- (1) H.J. Dunster, Surface Contamination Measurements as an Index of Control of Radioactive Materials, Health Physics, Pergamon Press, 1962, Vol. 8, pp. 353-356.
- (2) A.C. Chamberlain, G.R. Stanbury, The Hazard from Inhaled Fission Products in Rescue operations after an Atomic Bomb Explosion, AERE HP/R 737.
- (3) N.J. Dunning, Comprehensive list of nuclides with a statement of Atomic Mass, Half Life and Specific Activity - AHSB Report 4.
- (4) D.C. Stevens, Location and Examination of Alpha Active Airborne Dust Particles collected on Glass Fibre Filter Paper. (Ann. Occup. Hyg. Vol. 6, pp. 31-38).
- (5) R.J. Sherwood, D.C. Stevens, A Phosphor-Film Technique to determine the activity of individual particles on air sample filters - AERE R 4310.
- (6) R.J. Sherwood, On the Interpretation of Air Sampling for Radioactive Materials, AERE R 4491.
- (7) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Report of Committee II (1959).