



## 発汗を伴う作業に適した管理区域内作業衣の素材の 調査検討

—発汗作用による作業衣へのMOX粉末付着に係る $\alpha$ 線測定の影響調査—

Examination of Fabric of Protective Clothing Suitable for Sweltering Radiation Work  
-Influence on Survey of Contamination(MOX) in Wet Condition with Sweat-

堀越 義紀 根本 典雄 黒澤 重行\* 高崎 浩司 水庭 春美

Yoshinori HORIKOSHI, Norio NEMOTO, Shigeyuki KUROSAWA\*  
Koji TAKASAKI and Harumi MIZUNIWA

東海研究開発センター  
核燃料サイクル工学研究所  
放射線管理部

Radiation Protection Department  
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories  
Tokai Research and Development Center

April 2008

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2008

発汗を伴う作業に適した管理区域内作業衣の素材の調査検討  
—発汗作用による作業衣へのMOX粉末付着に係る $\alpha$ 線測定の影響調査—

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター  
核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部  
堀越 義紀, 根本 典雄, 黒澤 重行\*1, 高崎 浩司, 水庭 春美

(2008年2月28日受理)

プルトニウム燃料技術開発センターにおいて、発汗を伴う作業に適した管理区域内作業衣の検討が行われた。この検討において、作業衣が汗で濡れた状態では、水分で $\alpha$ 線が遮られ、サーベイメータによる測定が困難になることが懸念された。このため、現在使用している作業衣の素材及び他の素材について、MOX粉末を付着させて測定試験を行い、 $\alpha$ 線の検出状況、MOX粉末の拡散性、作業衣への浸透・貫通性を確認、調査した。その結果、素材によって、サーベイメータの $\alpha$ 線測定における発汗による検出率への影響を少なく抑えることができることがわかった。本書は、これらの調査結果及び作業衣に適した素材選定における留意点についてまとめたものである。

Examination of Fabric of Protective Clothing Suitable for Sweltering Radiation Work  
—Influence on Survey of Contamination(MOX) in Wet Condition with Sweat—

Yoshinori HORIKOSHI, Norio NEMOTO, Shigeyuki KUROSAWA\*<sup>1</sup>,  
Koji TAKASAKI and Harumi MIZUNIWA

Radiation Protection Department  
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, Tokai Research and Development Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 28,2008)

In the Plutonium Fuel Technical Development Center, protective clothing suitable for sweltering radiation work was examined. Since in a wet protective clothing with sweat, alpha ray is absorbed with moisture it was worried that of MOX powder by alpha measurement might be influenced the situations of alpha detection, the diffusion of contamination, and the osmosis and penetrability to wet protective clothing were examined for the present fabric and other new fabrics by MOX powder.

As a result of examination, it was confirmed that the influence of detection on alpha ray in the wet condition of new fabrics was smaller than the current fabric.

This report Summarized the result of examination and points in the fabric selection suitable for protective clothing.

Keywords: Protective Clothing, Sweat, MOX (Mixed-oxide), Plutonium, Contamination Survey

---

\*1 Inspection Development Company Ltd.

目次

1. 概要・目的	1
2. 発汗(水分)による既存作業衣 MOX 粉末付着の影響調査	2
2.1 調査条件について	2
2.1.1 調査条件(水分の種類及び水分量)	2
2.1.2 調査条件(MOX 粉末の付着形態・強度)	2
2.2 調査内容・手順	2
2.3 調査結果	2
2.3.1 発汗時の既存作業衣における $\alpha$ 線検出状況の確認	2
2.3.2 既存作業衣における乾燥状況の確認	3
2.3.3 既存作業衣における MOX 粉末の浸透の確認	3
2.3.4 既存作業衣における MOX 粉末の拡散の確認	3
2.4 評価・考察	4
3. 発汗を伴う作業に適した作業衣の検討	5
3.1 素材の選定	5
3.2 素材の特徴	5
3.2.1 素材の特徴(表面形状、材質等)	5
3.2.2 試験素材における飽和保水量の確認	5
3.2.3 試験素材における乾燥状況の確認	5
3.3 発汗(水分)による試験素材 MOX 粉末付着の影響調査	5
3.3.1 試験素材における $\alpha$ 線検出状況の確認	6
3.3.2 試験素材における MOX 粉末の浸透の確認	6
3.3.3 試験素材における MOX 粉末の拡散の確認	6
3.4 評価	6
3.5 考察	7
3.6 今後の課題等	7
4. まとめ	8
謝辞	8
付録1 エアラインスーツ装備	21
付録2 エラインスーツ脱装手順及びMOX粉末付着要因	22
付録3 水中での $\alpha$ 線の飛程について	23
付録4 測定データ	24

Contents

1. Summary and Purpose-----	1
2. Examination of the Influence on the Survey of MOX powder in the Wet Condition with Sweat (Current Protective Clothing) -----	2
2.1 Examination of Condition -----	2
2.1.1 Examination of Condition (Water Content) -----	2
2.1.2 Examination of Condition (Contamination of MOX Powder) -----	2
2.2 Examination Item and Method -----	2
2.3 Result -----	2
2.3.1 Alpha Rays Detection of the Current Protective Clothing in Wet Condition -----	2
2.3.2 Dry Condition of the Current Protective Clothing -----	3
2.3.3 Osmosis and Penetrability in the Current Protective Clothing -----	3
2.3.4 Diffusion of Contamination(MOX) in Current Protective Clothing -----	3
2.4 Evaluation and Discussion -----	4
3. Examination of the New Fabrics for Protective Clothing Suitable for Sweltering Radiation Work -----	5
3.1 Selection of new Fabrics -----	5
3.2 Characteristic of New Fabrics -----	5
3.2.1 Characteristic of New Fabrics(Surface Condition and material) -----	5
3.2.2 Limit of Water Content in New Fabrics -----	5
3.2.3 Dry Condition of New Fabrics -----	5
3.3 Influence on the Survey of MOX powder in the Wet Condition with Sweat (New Fabrics) -----	5
3.3.1 Alpha Rays Detection of the New fabrics -----	6
3.3.2 Osmosis and Penetrability in the New fabrics -----	6
3.3.3 Diffusion of MOX powder in the New fabrics -----	6
3.4 Evaluation -----	6
3.5 Desiccation -----	7
3.6 Future issue -----	7
4. Conclusion -----	8
Acknowledgement -----	8
Appendix 1 About Air Supply Type Suit -----	21
Appendix 2 Adhesion Factor of MOX powder -----	22
Appendix 3 About Range of Alpha Ray in the Water -----	23
Appendix 4 Measurement Data -----	24

図 目 次

Fig.2. 1 調査状況	9
Fig.2. 2 飽和保水量の状況	9
Fig.2. 3 調査手順フロー	10
Fig.2. 4 保水率に対する検出率(既存作業衣)	11
Fig.2. 5 MOX 粉末の浮き上がり状況イメージ	11
Fig.2. 6 既存作業衣の乾燥経過	12
Fig.2. 7 MOX 粉末の沈着経過イメージ	12
Fig.3. 1 試験素材の飽和保水量	13
Fig.3. 2 試験素材の乾燥経過	13
Fig.3. 3 水分量に対する検出率	14
Fig.3. 4 保水率に対する検出率(素材比較)	14
Fig.3. 5 レーダーチャートによる各素材の性能比較	15

表 目 次

Table 3. 1 素材の特徴	16
------------------	----

写 真 目 次

Photo.1. 1 既存作業衣・エアラインスーツ	17
Photo.1. 2 発汗時の作業衣表面状態	17
Photo.2. 1 MOX 粉末付着状態 (既存作業衣)	18
Photo.3. 1 MOX 粉末付着状態 (試験素材水分乾燥後)	18

This is a blank page.

## 1. 概要・目的

プルトニウム燃料技術開発センターにおける発汗を伴う作業の一つとして、特殊放射線作業計画に基づいて行われているグローブボックス等の設備解体作業が挙げられる。

設備解体作業時には粉末飛散による内部被ばく防護のため、呼吸保護具として防護係数の高いエアラインスーツを作業衣に重ねて着用している(Photo.1.1, 付録1参照)。

しかし、エアラインスーツは防護係数が高い反面、スーツ内の空気の対流性が悪く、作業内容によってはスーツ内が高温・多湿となり、作業員の発汗量は1時間作業で約2ℓに達する場合もある。この場合、作業後の作業衣は汗で濡れ、表面は汗が浮き上がり滴り落ちるような状態である(Photo.1.2参照)。

プルトニウム燃料取扱い施設内では、ウラン・プルトニウム混合酸化物(以下「MOX」という。(Mixed-oxide の略))燃料を取扱っている。このことから、表面密度の放射線測定は、核種の同位体組成比、放射能比及び法令の表面密度限度値を考慮し、主に $\alpha$ 線で測定・管理している。エアラインスーツの脱装時による接触等で作業衣にMOX粉末が付着した場合(付録2参照)、汗の水分中での $\alpha$ 線の吸収による(付録3参照)サーベイメータの検出率の低下及びMOX粉末の浸透が考えられる。このため、発汗(水分)による作業衣の水分中での $\alpha$ 線の吸収の影響を調査し、調査結果を基に発汗を伴う作業に適する作業衣を検討する。

## 2. 発汗(水分)による既存作業衣MOX粉末付着の影響調査

現在使用している作業衣(以下「既存作業衣」という。)にMOX粉末を付着させ、汗で濡れた状態になることにより生じる水分中での $\alpha$ 線の検出状況を調査した。

調査は、 $\alpha$ 線用放射能測定装置(放射能測定時間、測定間隔が一定でサーベイメータと比較し精度良く調査可能)の測定器形状に合わせ既存作業衣を直径50mmに裁断し、MOX粉末を付着させ、作業後の既存作業衣の状態を考慮し、水分を滴定する。その後、水分の乾燥状態を観察し、乾燥状態に応じた時間間隔で $\alpha$ 線用放射能測定装置にて測定する(Fig.2.1参照)。

### 2.1 調査条件について

調査にあたり、作業後の既存作業衣の状態を再現するため既存作業衣の保水できる限界量(以下「飽和保水量」という。)と実際の作業衣にMOX粉末が付着した形態を考慮し、調査条件(使用する水分の種類及び水分量、MOX粉末の付着形態・強度)を設定した。

#### 2.1.1 調査条件(水分の種類及び水分量)

調査に使用する水分の種類は、汗と成分が近似の生理食塩水とし、水分量は、作業後の既存作業衣では汗が滴り落ちる状態であることから、飽和保水量を超えた水分量(飽和保水量の約1.5倍)を使用する。

飽和保水量は、既存作業衣を直径50mmに裁断し、生理食塩水を浸透させ飽和状態(摘み上げて滴らない状態)(Fig.2.2参照)にして電子天秤にて重量を測定した。結果、既存作業衣における飽和保水量は、 $21\text{mg}/\text{cm}^2$ であった。

#### 2.1.2 調査条件(MOX粉末の付着形態・強度)

管理区域作業において作業衣へのMOX粉末の付着原因は、主にエアラインスーツ脱装時における接触(脱装エリア壁面等)によるものであり、ここでは、それを考慮し、MOX粉末を点状(スポット)に付着させる。このMOX粉末の放射能強度は、測定時間(1分)の測定誤差を考慮し、 $20\text{Bq}$ 程度とした。

### 2.2 調査内容・手順

上記の調査条件を基に既存作業衣にMOX粉末を付着させ、作業後の状態を模擬し、乾燥状態を観察し、乾燥状態に応じた時間間隔でFig.2.3の手順で放射能( $\alpha$ 線)、重量(水分量)を測定し、 $\alpha$ 線の検出状況及び既存作業衣の乾燥状況を確認した。

また、MOX粉末の付着直後と水分乾燥後の測定値の比較及び調査後の試料皿の測定結果から、 $\alpha$ 線の吸収やMOX粉末の浸透の影響を確認した。さらに、MOX粉末の付着直後及び乾燥後の作業衣をオートラジオグラフィ\*にて撮影し、MOX粉末の付着状況を比較・確認した。

### 2.3 調査結果

#### 2.3.1 発汗時の既存作業衣における $\alpha$ 線検出状況の確認

発汗時の既存作業衣における $\alpha$ 線検出状況を確認するため、測定結果(付録4,付表4.1参照)から既存作業衣の飽和保水量に対する実際の保水量の割合(以下「保水率」という。)と検出率(乾燥状態で測定値を1とした割合)を算出し、比較した(Fig.2.4参照)。

その結果、既存作業衣の保水率の上昇に伴い $\alpha$ 線の検出率は低下し、保水率が1.0(飽和保水量)で約60%の検出率であり、さらに保水率が1.0を超えると約20%程度となる。

この要因については、MOX 粉末の付着箇所が水に濡れた状態になった場合、 $\alpha$ 線が水分に吸収され検出されにくくなることから、MOX 粉末が水面に浮き上がっている可能性が疑われた。

そのため上澄み水を採取し、乾燥後測定を行ったところ有意な計数値が確認され、MOX 粉末の一部が水面に浮き上がったことが分かった(Fig.2.5参照)。この浮き上がりは、濡れた作業衣にMOX 粉末が軽く付着した程度では遊離し、浮き上がりやすいためと考える。

### 2.3.2 既存作業衣における乾燥状況の確認

発汗時の既存作業衣の乾燥状況を確認するため、測定結果(付録4,表付4.2参照)から乾燥時間に対する保水量(飽和保水量から開始)を確認した(Fig.2.6参照)。その結果、本試験条件(付録4参照)において飽和保水量の既存作業衣が乾燥するまで15分程度必要であり、乾燥率(時間当たりの乾燥水分量)は、約30mg/サンプル/minであった。しかし、作業衣を作業員が着用した場合は、体温等の影響により乾燥時間に差が生じると考えられる。

### 2.3.3 既存作業衣におけるMOX 粉末の浸透の確認

発汗(水分)の影響による付着したMOX 粉末の既存作業衣の裏側への浸透を確認するため、MOX 粉末の付着直後と水分乾燥後の測定値の比較及び調査後の試料皿の測定を実施した。

その結果、MOX 粉末付着直後と水分乾燥後の測定値に差は無く(測定誤差の範囲内)、調査後の試料皿にもMOX 粉末の浸透は、今回の試験条件では確認されなかった。

### 2.3.4 既存作業衣におけるMOX 粉末の拡散の確認

発汗(水分)の影響によるMOX 粉末の拡がりを確認するため、MOX 粉末付着直後と水分乾燥後の既存作業衣をオートラジオグラフィーにて撮影し、比較・確認した(Photo.2.1参照)。

その結果、MOX 粉末の付着直後と比べ水分乾燥後は、付着箇所が周囲に拡がっていることが分かった。2.3.1項でMOX 粉末の一部が浮き上がっていたことから水分乾燥後に沈着(Fig.2.7参照)し、拡散されたと考えられる。

---

#### \* オートラジオグラフィー(Autoradiography)

試料中の放射性物質の形状分布を写真乳剤膜に直接記録する技術。ここでは、試料から放出される $\alpha$ 線をZnS(Ag)シンチレータで光に変換し、その光をポラロイドフィルムに感光させ白点として表し、試料中の放射性物質の付着状態を確認するものである。

#### 2.4 評価・考察

調査結果から発汗により濡れた作業衣に MOX 粉末が付着した場合、 $\alpha$  線が水分に吸収され検出率が低下するとともに、粉末の一部が周囲に拡がることが確認された。

水分が作業衣表面に浮き上がる(飽和保水量超過)と $\alpha$ 線の検出に影響することから作業衣の素材(布地や生地)の性質(保水量や乾燥時間など)による影響が大きいと考えられる。

### 3. 発汗を伴う作業に適した作業衣の検討

発汗で濡れた作業衣に MOX 粉末が付着した場合、作業衣の保水量や乾燥時間など素材の性質によって  $\alpha$  線の検出への影響が大きいことが考えられる。このことから、作業衣の素材を替え調査検討する。

#### 3.1 素材の選定

素材を選定する上で作業衣表面を乾燥状態に保てるよう改良することが有効であると考えられる。この場合、水分をはじく性質の素材(ビニル製等)の利用が効果的ではあるが、エアラインスーツ着用を考慮すると水分をはじく性質の素材は、汗を吸収・蒸散しないため、体温が上昇し更なる発汗を誘発することで作業員への負担が増すことになる。したがって、水分をはじく性質の素材は除外して素材を選定することとした。

このことから素材は、 $\alpha$  線の検出率の向上、MOX 粉末の拡散防止、通気性及び作業性を考慮し、保水力に優れ、通気性のよい市販スポーツウェア等に使用されている素材3種類(以下「試験素材」という。)(試験素材 A,B,C)を選定した。なお、既存作業衣と同じ材質で紡織(繊維の織り方)による違いの比較測定のため参考として1種類(試験素材 D)を追加調査(MOX 粉末の付着に係る測定調査を除く)した。

#### 3.2 素材の特徴

##### 3.2.1 素材の特徴(表面形状、材質等)

試験素材及び既存作業衣素材について、表面形状、材質(混率)、質量及び特徴を Table3.1に示す。

##### 3.2.2 試験素材における飽和保水量の確認

2.1.1項同様に試験素材の飽和保水量を測定(付録4,2項参照)し、既存作業衣と比較(Fig.3.1参照)した。試験素材(A,B,C,D)は、既存作業衣に比べ約2~3倍の飽和保水量があり、エアラインスーツ作業時の汗(約20)の保水に十分である。

##### 3.2.3 試験素材における乾燥状況の確認

2.1.2項同様に試験素材の乾燥状況を確認するため、測定結果(付録4,2項参照)から乾燥時間に対する試験素材の保水量(飽和保水量から開始)を算出し、既存作業衣と比較した(Fig.3.2参照)。

結果、試験素材 A においては、既存作業衣とほぼ同様の乾燥率(時間当たりの乾燥量)約 30mg/min であった。試験素材 B,C は、約 50mg/min と既存作業衣に比べ約1.5倍の乾燥率があり、保水率低下が速いことから検出率(乾燥状態での測定値を1とした割合)の早期回復が見込めると考える。なお、試験素材 D は、約 15mg/min で乾燥率が低かった。

#### 3.3 発汗(水分)による試験素材 MOX 粉末付着の影響調査

2.1 項で確認した調査条件、調査手順同様に作業後の作業衣の状態を試験素材にて再現し、乾

燥経過に合わせ放射能( $\alpha$ 線)を測定し、 $\alpha$ 線の検出状況を確認した。

また、MOX 粉末付着直後と水分乾燥後の測定値を比較及び調査後の試料皿を測定し、MOX 粉末の浸透の有無を確認した。さらに、MOX 粉末付着直後及び乾燥後の作業衣をオートラジオグラフィにて撮影し、MOX 粉末の付着状況を比較・確認した。

### 3.3.1 試験素材における $\alpha$ 線検出状況の確認

試験素材における $\alpha$ 線の検出状況を確認するため、測定結果(付録4,2項参照)から水分量に対する検出率(Fig.3.3参照)、各素材の保水率に対する検出率を算出し、比較した(Fig.3.4参照)。

その結果、既存作業衣同様に水分量上昇に伴い検出率の低下が見られた(2.3.1 項参照)。そして、飽和保水量を超えても約20%程度あることから MOX 粉末の浮き上がりの影響があることが分かった。また、水分量で検出率を比較した場合、飽和保水量の多い素材ほど検出率が高いことから検出率は素材の飽和保水量に依存すると考えられる。そして、各素材の保水率に対する検出率は、保水率が1.0で約60%とほぼ同様であることが分かった。

### 3.3.2 試験素材における MOX 粉末の浸透の確認

2.3.3項の既存作業衣同様に発汗(水分)の影響による MOX 粉末の試験素材への浸透を確認するため、付着直後と水分乾燥後の測定値の比較及び調査後の試料皿を測定した。

その結果、本条件において MOX 粉末付着直後と水分乾燥後の測定値に差は無く(測定誤差範囲内)、調査後の試料皿にも MOX 粉末の浸透は確認されなかった。しかし、本条件の測定では確認はできなかったが、網目が粗く伸縮がよい素材(試験素材 C(Table3.1参照))を作業衣として着用した場合、人の動きや温度等の伸縮により網目が開き MOX 粉末が入り込み易くなり、皮ふに付着するおそれは否定できない。細かい網目のほうが MOX 粉末は浸透しにくいと考えられる。

### 3.3.3 試験素材における MOX 粉末の拡散の確認

2.3.4項の既存作業衣同様に発汗(水分)の影響による MOX 粉末の拡散を確認するため、水分乾燥後の試験素材をオートラジオグラフィにて撮影し、確認した(Photo.3.1参照)。

その結果、既存作業衣同様に MOX 粉末の付着箇所が周囲に拡がっており、試験素材 A,B,C も水分量が飽和保水量になると MOX 粉末が浮き上がり拡散され、拡大のおそれがあることが分かった。

## 3.4 評価

調査結果から発汗(水分)による影響は、試験素材においても既存作業衣同様に $\alpha$ 線の検出率が低下するとともに、付着した MOX 粉末が浮き上がり、周囲に拡散することが分かった。しかし、試験素材 A,B,C は、既存作業衣に比べ保水量が多いことで、水分量に対する検出率が高く、MOX 粉末の拡散が少ない。また、乾燥時間が早いことで検出率の回復が早い。これらのことから MOX 粉末を取扱う施設での発汗を伴う作業において、試験素材 A,B,C の作業衣は有効であると考えられる。

そして、素材選定について、検出率の向上、浮き上がり・拡散防止には、①保水力があるもの(保

水量の多いもの)。検出率の回復には、②乾燥の早いものが有効であることが確認された。また、その他として付着した MOX 粉末の浸透防止には、③素材の網目が細かく、伸縮性の少ないもの。作業負担軽減には④軽量なものが、有効であると考えられる。

以上の有効点(4点)について今回調査した試験素材 A,B,C をレーダーチャートにて比較した (Fig. 3.5 参照)。その結果、重さが最も軽く保水量もあり網目も細かく、伸縮性も少ないことから試験素材 B が総合的に最も優れている結果となった。

### 3.5 考察

粉末状の  $\alpha$  線放出核種を取扱う施設でのエアラインスーツ作業時の作業衣素材を選定する上で、水分をはじく性質の素材(ビニル製等)の利用は、表面を乾燥状態に保つことができるため表面密度検査上は有効であるが、作業員の負担の観点で評価した場合、更なる発汗作用を誘発し、熱中等等の健康リスクが上がることから好ましくない。そのため素材は、3.4 項の 4 点(保水量、速乾性、繊維が細かい、軽量)から選定し、検出率向上、作業員の負担軽減、検出率の回復、MOX 粉末の浸透防止を図ることが重要である。そして、作業衣の構造について、表面を乾燥状態に保てるよう素材の二重化により、内側で汗を吸収させ外側への汗転移を抑制する工夫や表面に撥水加工を施す等、更なる検出率向上となる改良を加えて利用することが望ましい。また、作業員の負担が少ない作業においては、水分をはじく性質の素材や試験素材をそのまま作業衣として利用しても影響は少ないと考える。なお、既存作業衣と試験素材 D において、材質の違いだけでなく、紡織(繊維の織り方)で保水量や乾燥時間などが異なることがわかった。

### 3.6 今後の課題等

課題として、作業衣を作業員が着用した場合の乾燥時間(体温等の影響)、それに伴う検出率回復状況、実作業時の素材伸縮による付着した MOX 粉末の浸透性が挙げられる。

また、試験素材を作業衣とするにあたり、 $\alpha$  線測定妨害核種である Rn, Tn 子孫核種の付着原因となる帯電性や洗濯における耐久性、着心地、コスト等検討しなくてはならない。

#### 4. まとめ

プルトニウム燃料技術開発センターの管理区域内作業衣について、発汗を伴う作業時に MOX 粉末が付着した場合、作業衣の水分中における $\alpha$ 線の吸収でサーベイメータによる測定への影響が懸念された。このため、現在使用している作業衣の素材及び他の素材での $\alpha$ 線の検出状況、MOX 粉末の拡散性、作業衣への浸透性について試験片を用いて確認、調査した。

調査結果から発汗による $\alpha$ 線測定への影響は、作業衣への汗(水分)量が多くなると $\alpha$ 線の検出率が低下するとともに、付着した MOX 粉末が水面上へ浮き上がり、周囲に拡散することが分かった。しかし、作業衣の保水量の多い素材と少ない素材を比較すると、保水量の多い素材の方が水分量に対する検出率がより高く、MOX 粉末の拡散がより少ない。また、素材(ポリエステルとポリウレタンの混合素材)によっては、水分の乾燥時間がより早いものがあった(検出率の回復時間がより短くなる)。

これらから、発汗に適した作業衣の素材選定当たっては、① $\alpha$ 線の検出率の向上と MOX 粉末の拡散防止には、保水量がより多いもの。②検出率の回復には、乾燥時間のより早いもの。また、③MOX 粉末の浸透防止には、素材の網目が細かく、伸縮性の少ないもの。④作業員の負担軽減には、軽量なものが適していると考ええる。なお、作業衣の構造(撥水加工や重畳素材等)に工夫を加えることもサーベイメータによる $\alpha$ 線測定の検出率の低下の影響を防ぐことになると考える。

また、作業衣の選定に当たっては上述した他に、 $\alpha$ 線測定の妨害核種である自然放射性核種(Rn, Tn子孫核種)の付着原因となる帯電性や洗濯における耐久性、洗濯機との適応性、着心地、保温性、コスト等を含め総合的に検討しなくてはならない。

本調査は、プルトニウム燃料技術開発センターにおける、粉末状態の $\alpha$ 線放出核種について実施したが、他施設での作業衣を検討する際にも、作業環境、作業内容、作業時の発汗量、取り扱い放射性核種、放射線種、放射性核種の形態、作業時の放射性核種付着要因・状態を把握し、放射線測定への影響や作業員への身体的負荷等を考慮し、検討することが必要である。

#### 謝 辞

本報告をまとめるにあたり御指導、御協力頂いた放射線管理部、プルトニウム燃料技術開発センターの関係者の方々に感謝申し上げます。

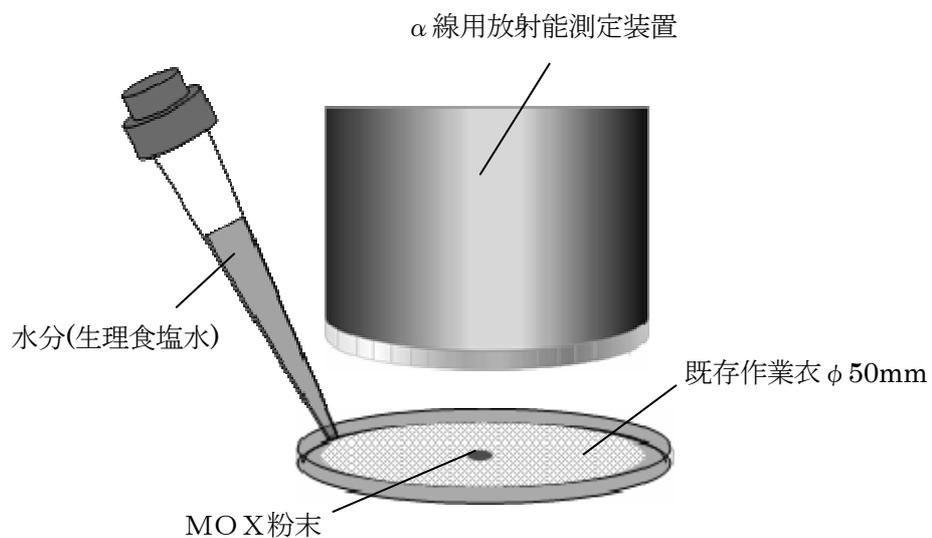


Fig. 2.1 調査状況

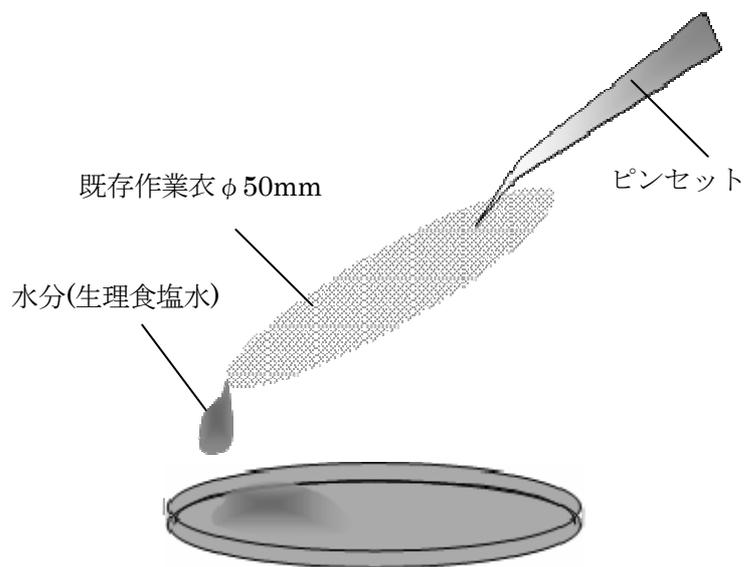


Fig. 2.2 飽和保水量の状況

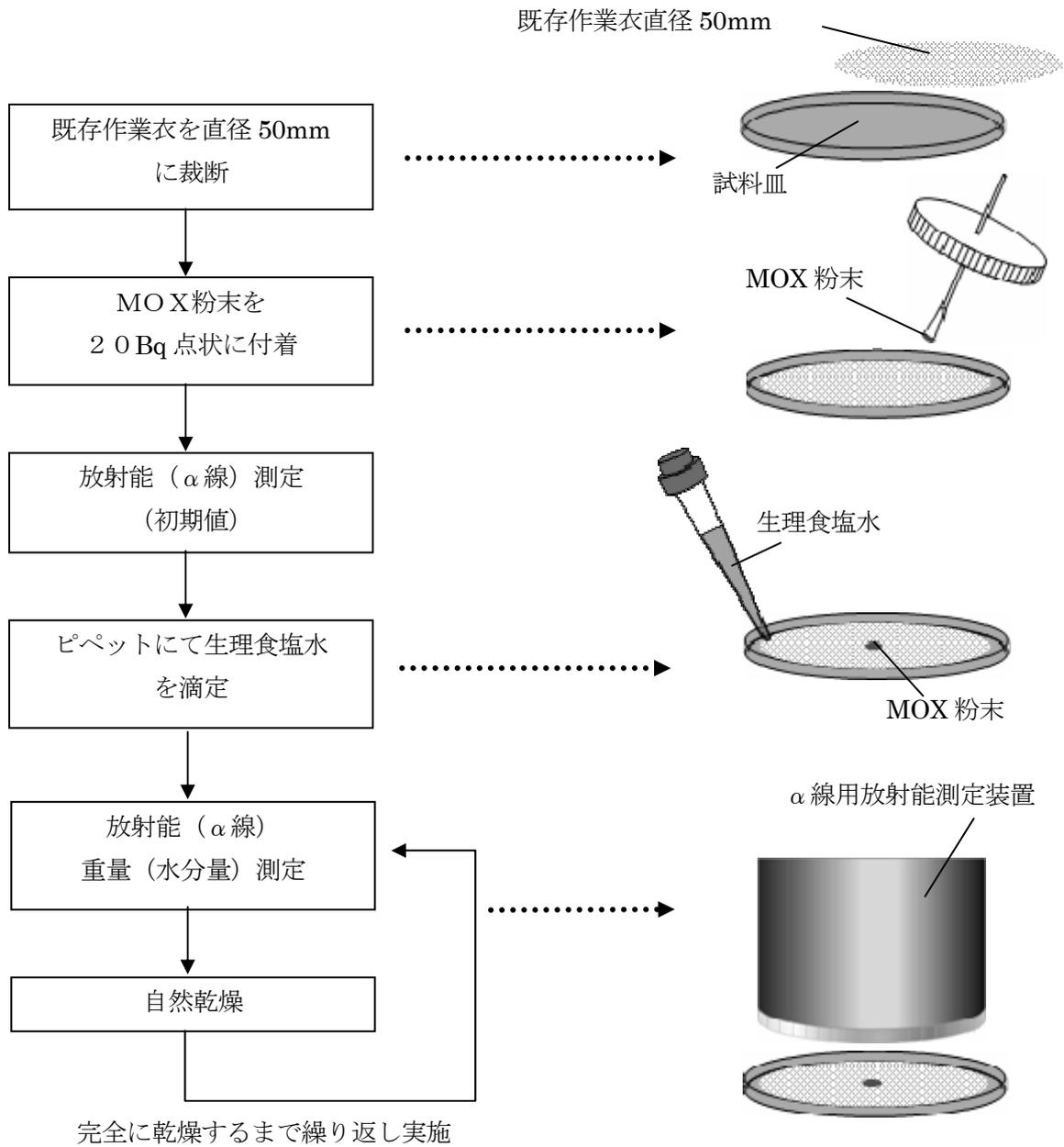


Fig. 2.3 調査手順フロー

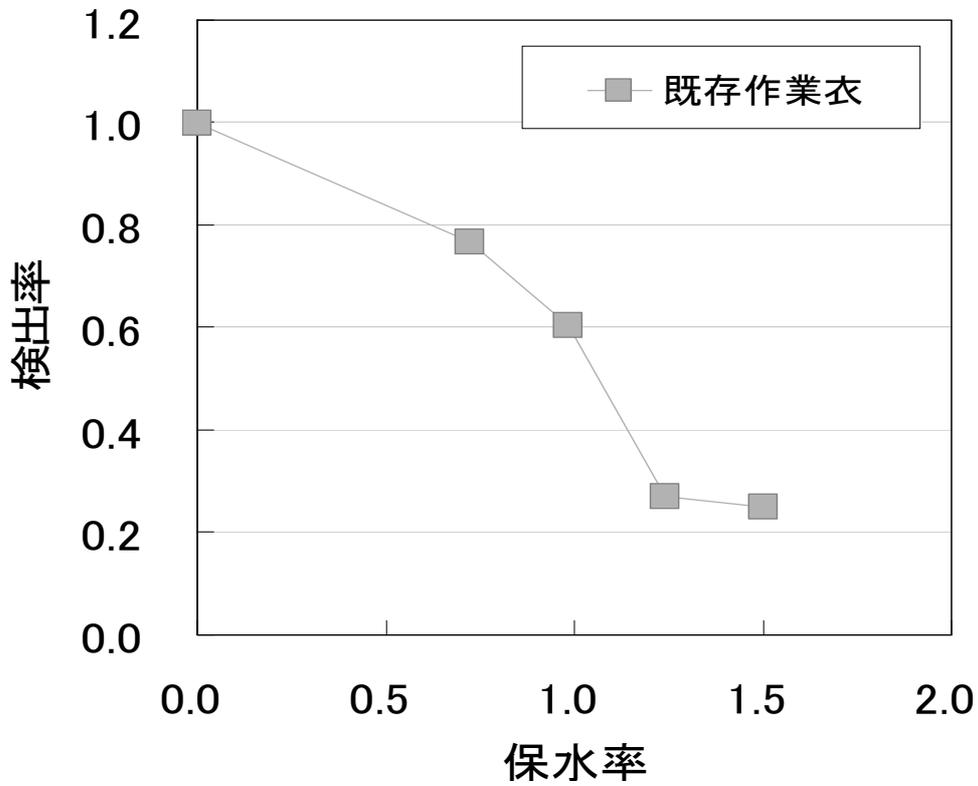


Fig. 2.4 保水率に対する検出率（既存作業衣）

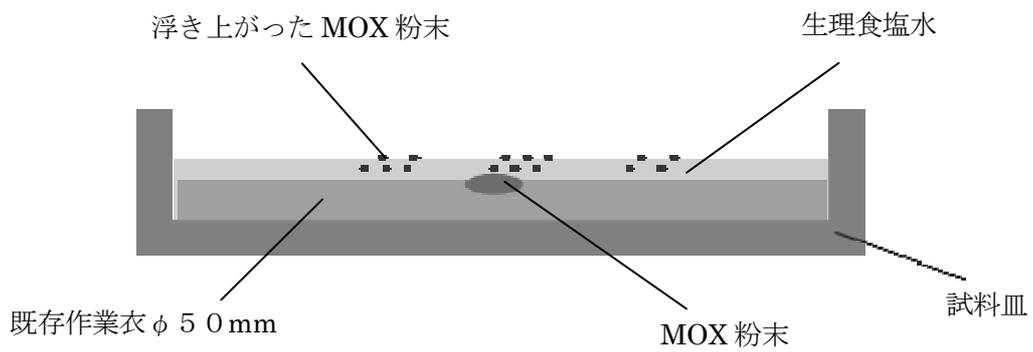


Fig. 2.5 MOX粉末の浮き上がり状況イメージ

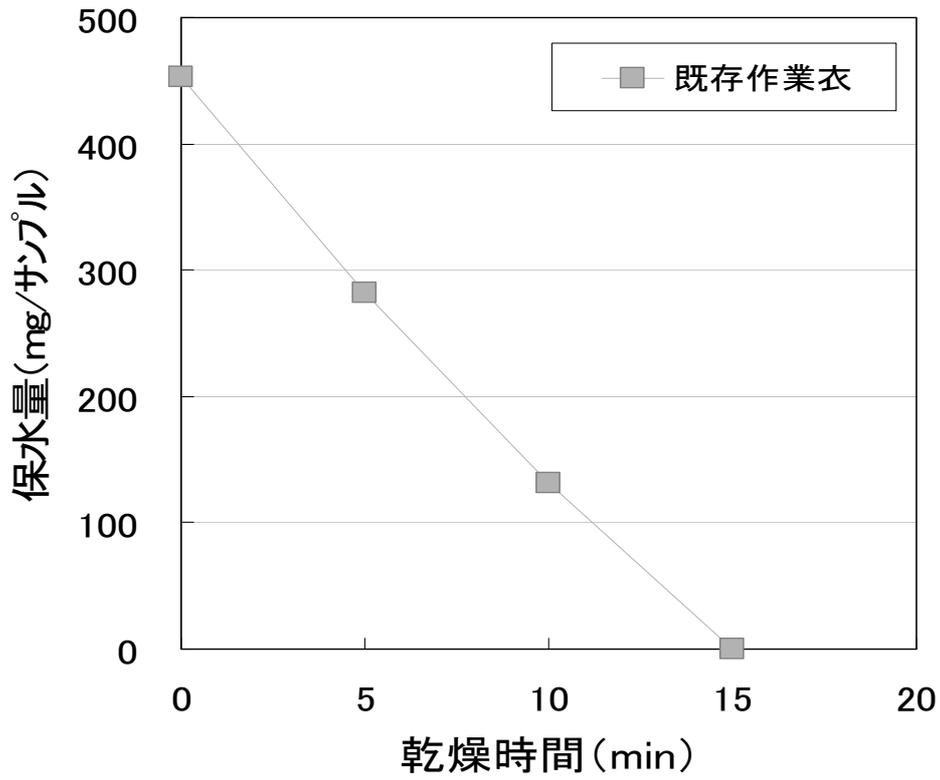


Fig. 2.6 既存作業衣の乾燥経過

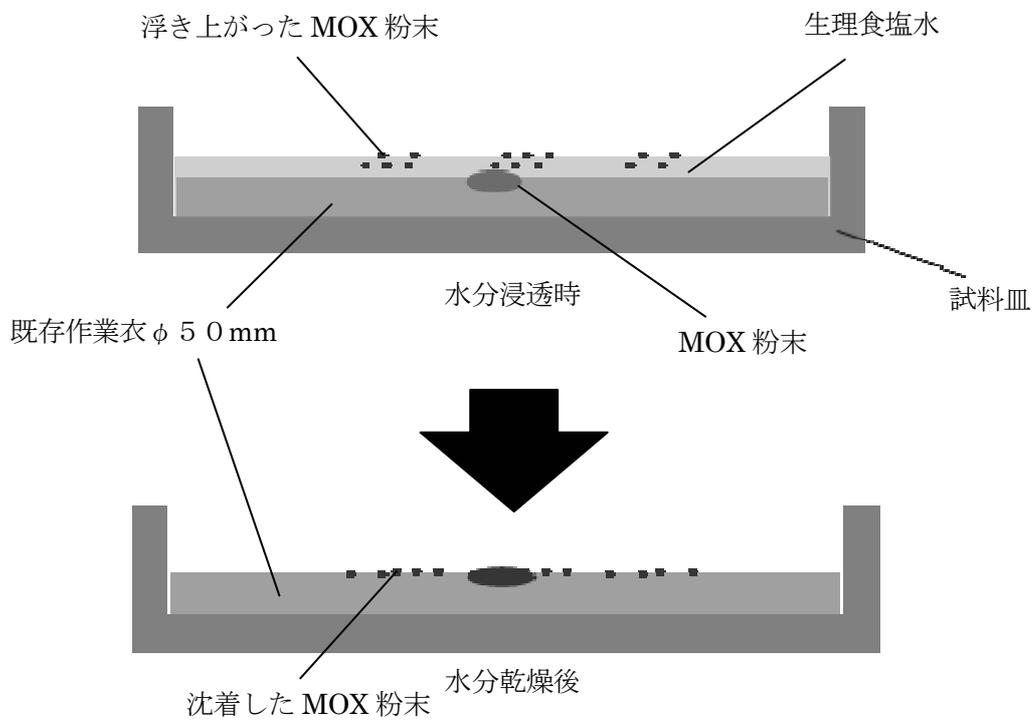


Fig. 2.7 MOX粉末の沈着経過イメージ

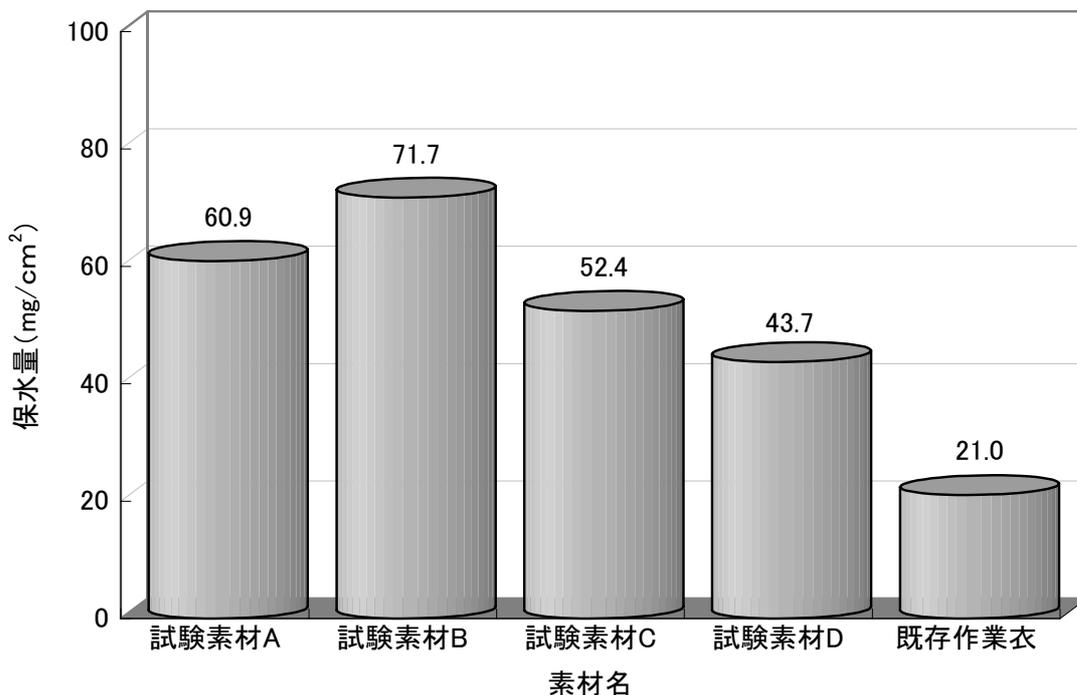


Fig. 3.1 試験素材の飽和保水量

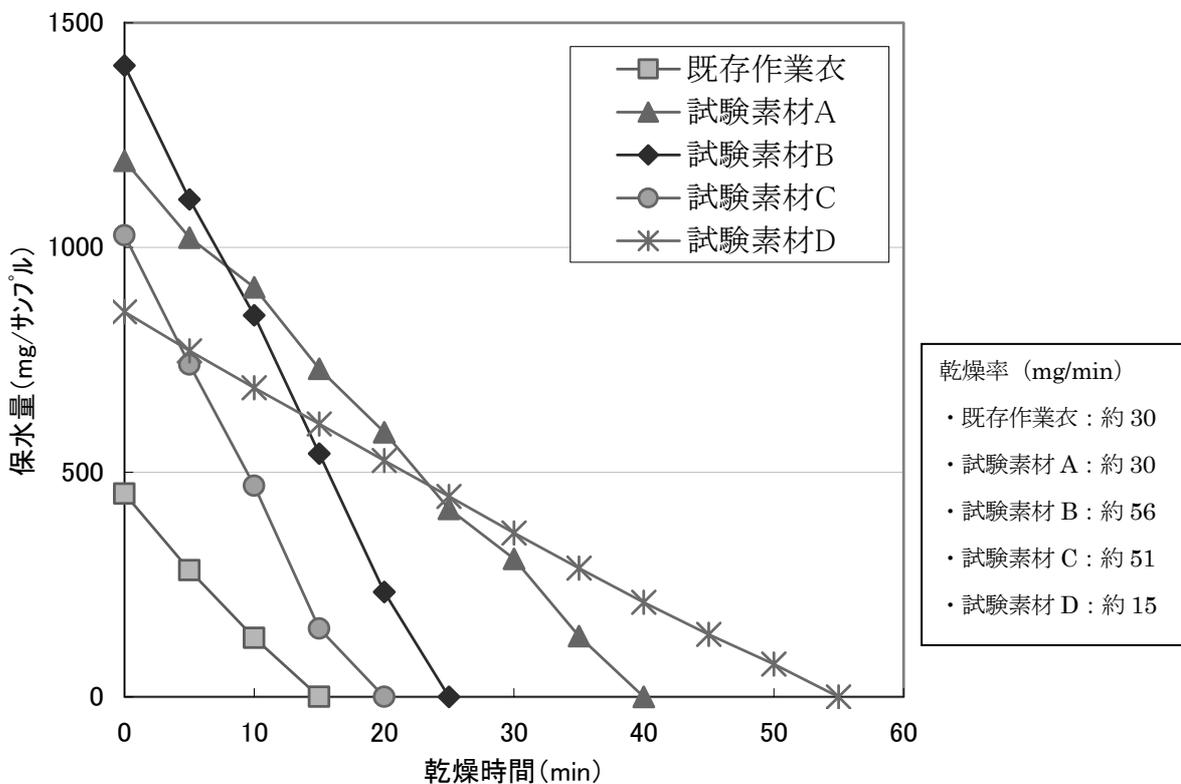
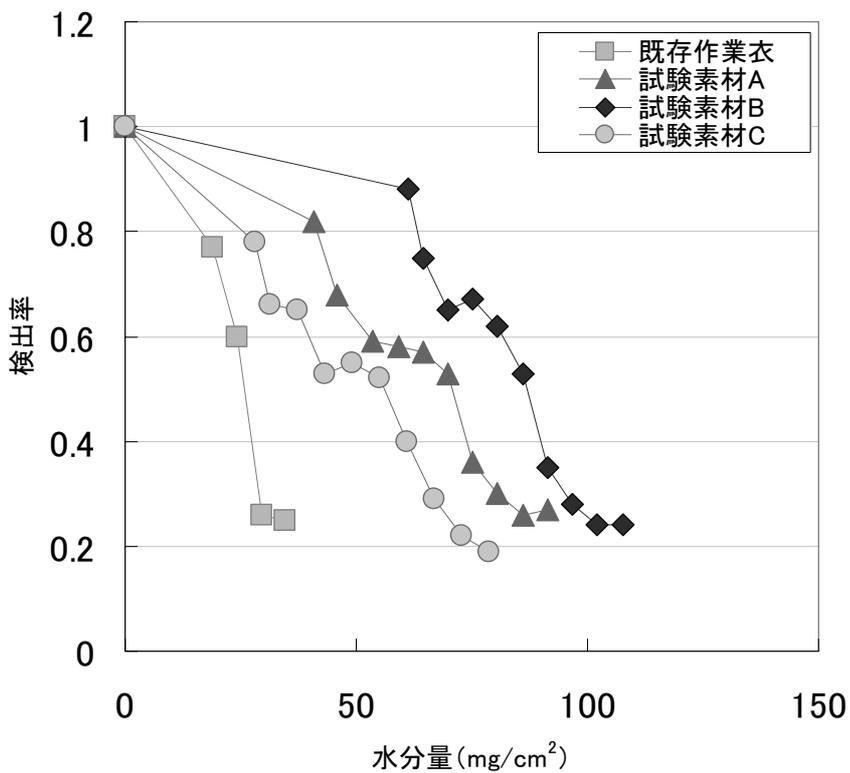
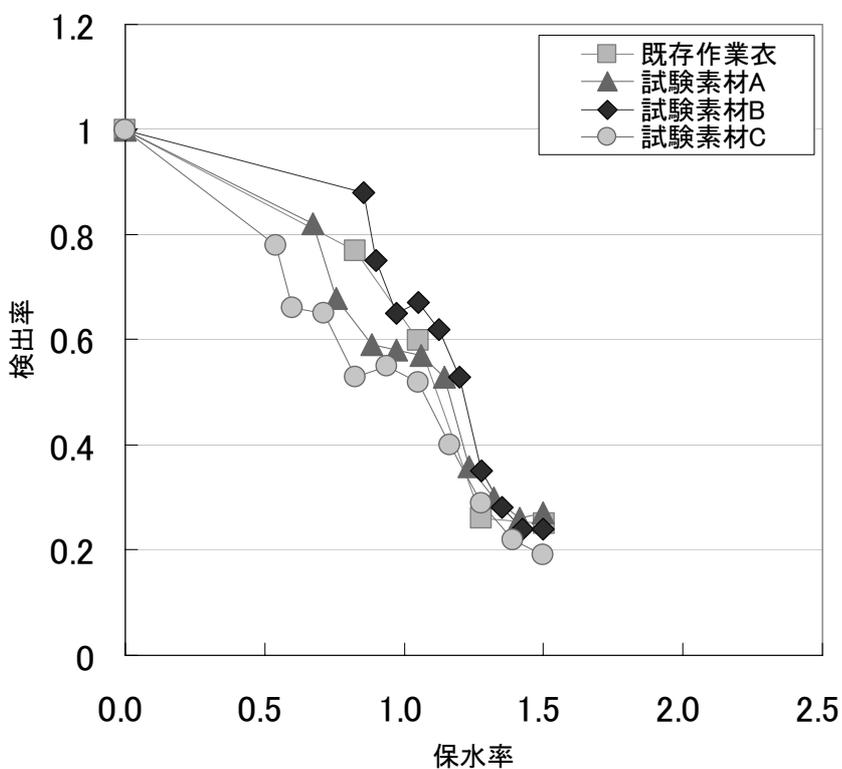


Fig. 3.2 試験素材の乾燥経過 (測定条件は付録4参照)



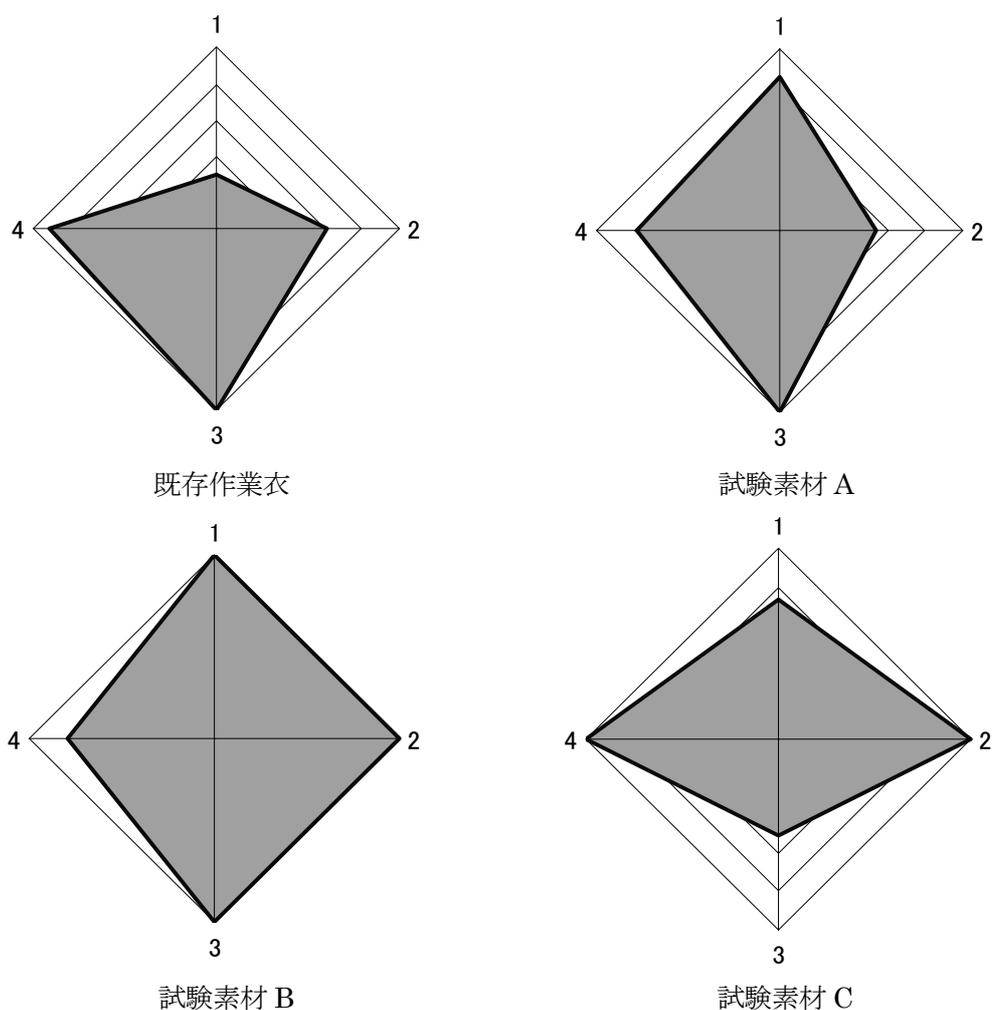
※試験素材Dは、飽和保水量から試験素材Cと同傾向であると推測される。

Fig. 3.3 水分量に対する検出率



※試験素材Dは、飽和保水量から試験素材Cと同傾向であると推測される。

Fig. 3.4 保水率に対する検出率 (素材比較)

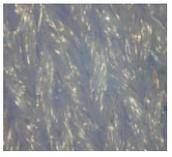


- |  |
|--|
| <p>1 : 検出率向上、浮き上がり・拡散防止 (保水量の多さ)</p> <p>2 : 検出率回復 (乾燥の早さ)</p> <p>3 : 浸透防止 (網目が細かく伸縮性が少ない)</p> <p>4 : 作業負担軽減 (軽量)</p> |
|--|

(参考：試験素材 D は、既存作業衣に比べ保水量は優れているが、乾燥時間が遅い。  
 なお、試験素材 D は、既存作業衣の追加参考測定のため  $\alpha$  線検出測定は未実施。)

Fig. 3.5 レーダーチャートによる各素材の性能比較

Table3.1 素材の特徴

素材名 項目	試験素材 A	試験素材 B	試験素材 C	試験素材 D* (参考)	既存作業衣
表面 形状 (×50)					
材質 (混率)	ポリエステル (80%) ポリウレタン (20%)	ポリエステル (84%) ポリウレタン (16%)	ポリエステル (100%)	ポリエステル (65%) 綿 (35%)	ポリエステル (65%) 綿 (35%)
質量 (mg/cm <sup>2</sup> )	22.2	21.9	17.3	22.1	20.6
特徴 (仕様)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インナーウェアに使用</li> <li>・UVブロッキングと吸汗速乾性がある</li> <li>・表面ふかふか</li> <li>・通気がよくベタつき辛い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水着に使用</li> <li>・発散性がよい</li> <li>・表面は滑らかで汚れ辛い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インナースーツに使用</li> <li>・伸縮よく筋肉をサポートして筋肉疲労を軽減</li> <li>・表面凸凹</li> <li>・通気がよい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面は綿に近い肌触り</li> <li>・形態安定性に優れている。</li> <li>・吸汗性に優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・伸縮率2%と低い</li> <li>・表面ざらざら</li> <li>・通気が少ない</li> </ul>

\*試験素材 D は、既存作業衣と同じ材質であるが、紡織(繊維の織り方)による違いの比較測定のため参考として測定した。(試験素材 D はポリエステルの周囲を綿が覆う構造。既存作業衣はポリエステルと綿が混合繊維となっている。)材質が同じでも紡織によって、保水量や乾燥量に違いがあることがわかった。



Photo. 1.1 既存作業衣・エアラインスーツ

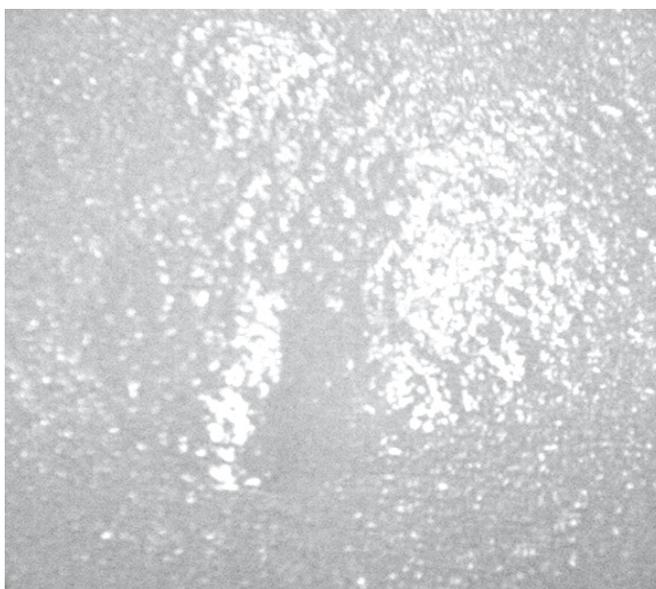


Photo. 1.2 発汗時の作業衣表面状態

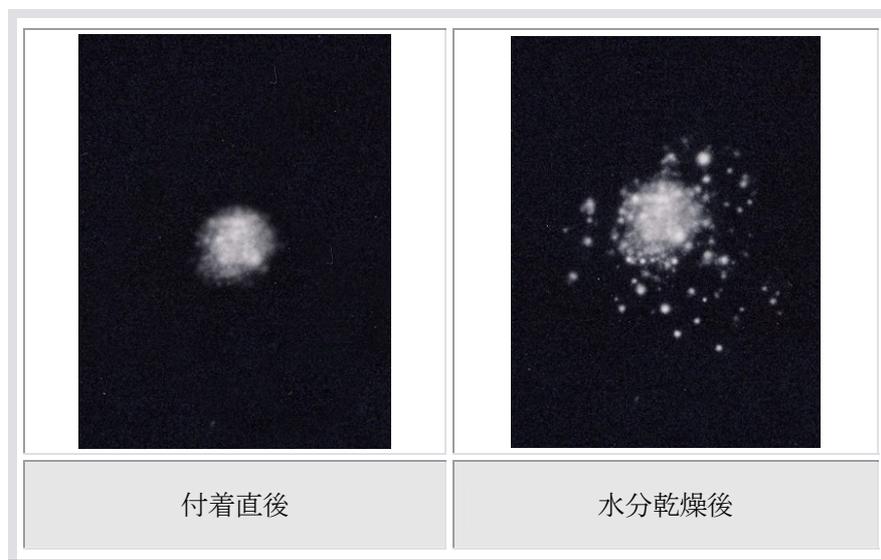


Photo. 2.1 MOX粉末付着状態 (既存作業衣)

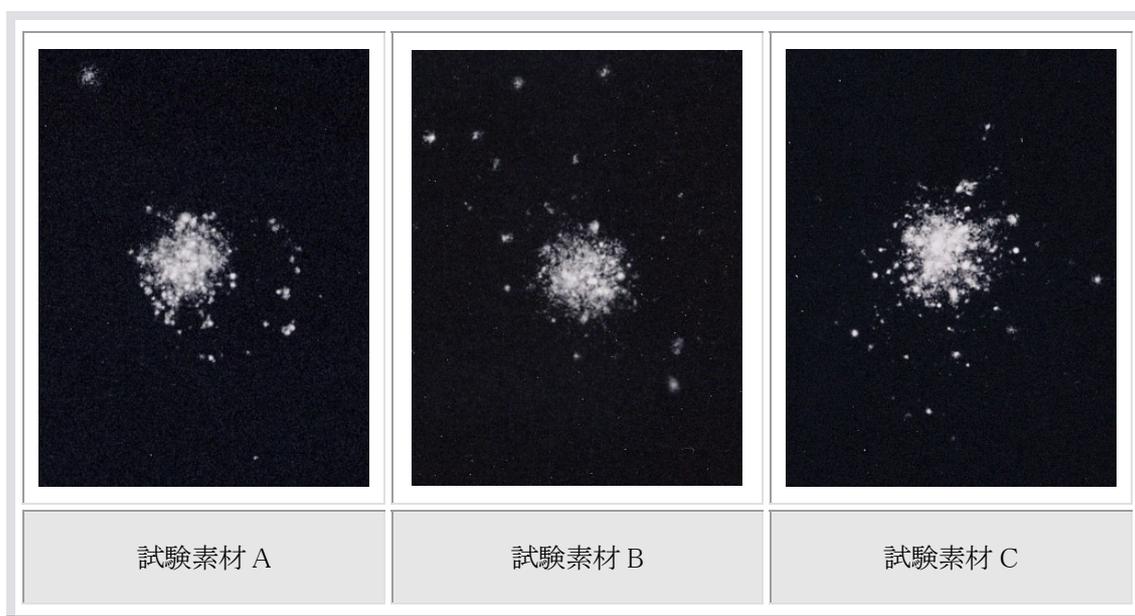


Photo. 3.1 MOX粉末付着状態 (試験素材水分乾燥後)

付 録

付録1 エアラインスーツ装備

付録2 エアラインスーツ脱装手順及びMOX 粉末付着要因

付録3 水中での $\alpha$ 線の飛程について

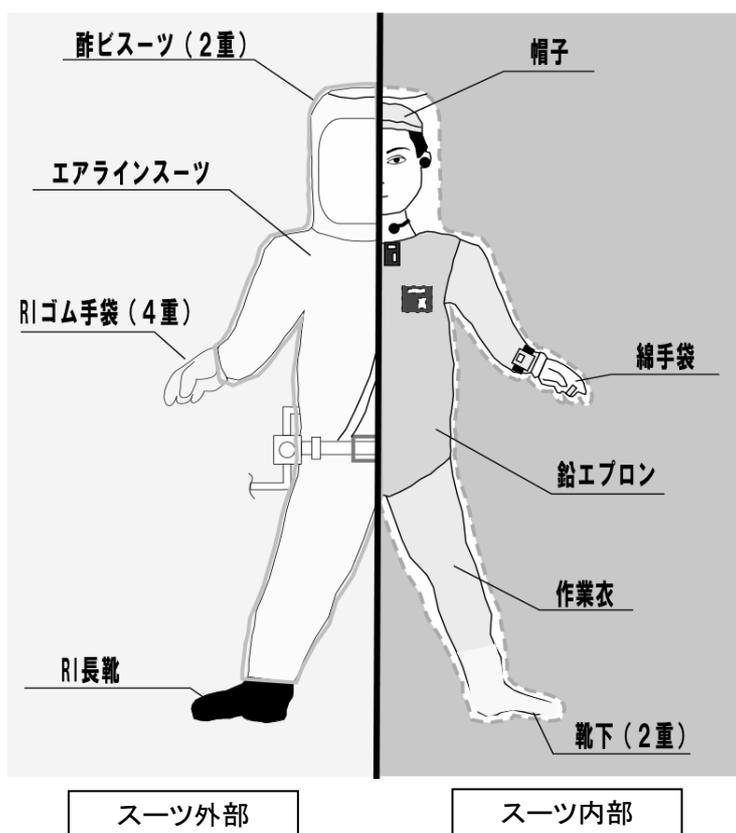
付録4 測定データ

This is a blank page.

### 付録1 エアラインスーツ装備

エアラインスーツ装備は、通常作業の場合は(図付1.1参照)、管理区域内作業衣、帽子、靴下(2重)、綿手袋(高線量率作業の場合は、鉛エプロンを着用)を着用し、重ねてエアラインスーツ、RI長靴、RIゴム手袋(4重)着用し、さらに酢ビ製のスーツ(2重)を着用する。

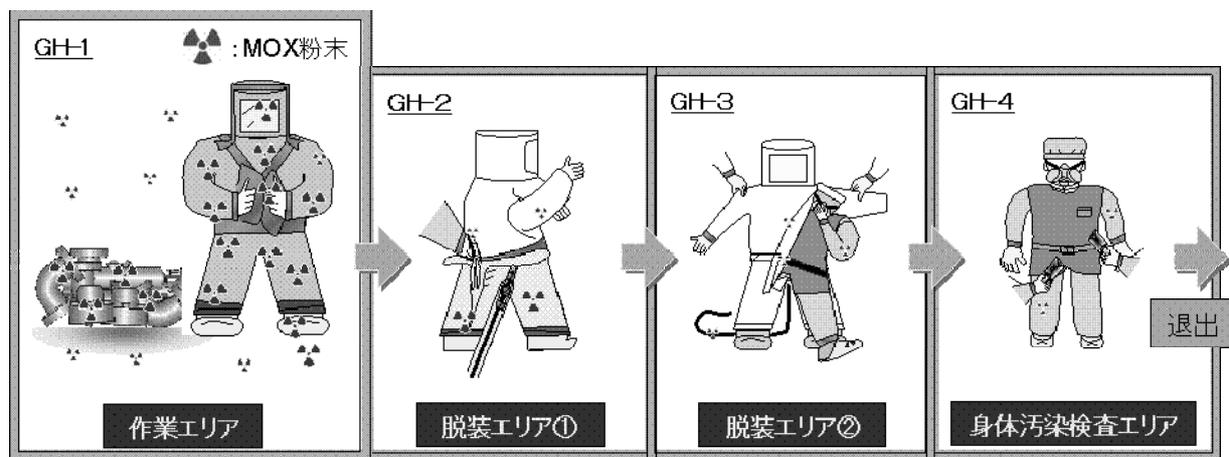
火気使用器具(プラズマ溶断器等)取扱い作業の場合は、火花によるRI用ゴム手袋、酢ビスーツ、エアラインスーツ溶融防止のため、さらに保護手袋(革手袋)を着用し、通常作業装備に重ねて防火服を着用する。



図付1.1 エアラインスーツ装備

付録2 エアラインスーツ脱装手順及びMOX粉末付着要因

管理区域内作業衣へのMOX粉末付着(汚染)の要因として、作業エリアのグリーンハウス内のエアラインスーツ脱装エリア②(GH-3)でのエアラインスーツ脱装時(図付2.1参照)のエラインスーツに残存したMOX粉末付着箇所や作業エリア内の壁面等のMOX粉末付着箇所との接触によるものが主である。



①スーツカバー2重目を除染し、脱装する。

②スーツカバー1重目を除染し、脱装する。

③エアラインスーツを除染し、脱装する。

④サーベイメータによる身体表面密度(汚染)検査。

図付2.1 エアラインスーツ脱装手順

### 付録3 水中でのα線の飛程について

#### 1. 水中でのα線の飛程について

プルトニウム燃料技術開発センターで使用されているMOX燃料のプルトニウム同位体のうち、重量パーセント及び比放射能を考慮すると全α線強度に寄与が大きいのはPu-238の5.499MeV, 5.457MeV, Am-241の5.486MeVからのものである。これらのα線のエネルギーは、ほぼ5.5MeVである。

(A)式より5.5MeV時のα線の飛程を算出すると

$$R = 0.318E^{\frac{3}{2}} \dots(A)$$

R: 空気中の飛程(cm)

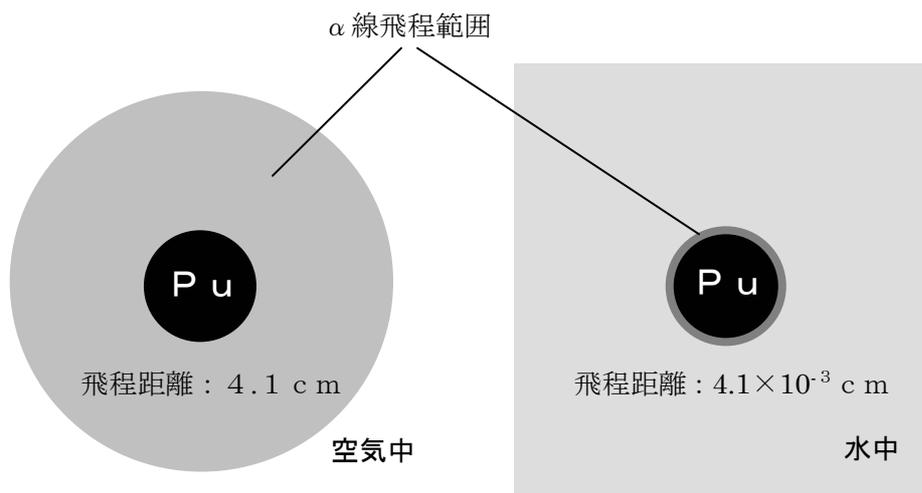
E: α線のエネルギー(MeV)

空気中での平均飛程は4.1cmとなる。(湿度は考慮しない)(図付3.1参照)

次に、水中での相対阻止能\*は約1/1000であるため水中での5.5MeVのα線の平均飛程は $4.1/1000 = 4.1 \times 10^{-3} \text{cm}$ となり(図付3.1参照)、水中におけるα線は飛程が短くなり検出できなくなる。

---

\* 相対阻止能 = (空気中でのα粒子の飛程) / (その物質中でのα粒子の飛程)



図付3.1 空気中・水中におけるα線の飛程

## 付録4 測定データ

発汗(水分)による作業衣のMOX粉末付着の $\alpha$ 検出についての影響調査における測定条件・測定データを以下に示す。

### 1. 既存作業衣における測定結果

既存作業衣における測定条件を以下に、測定結果を表付4.1、表付4.2に示す。

#### 【測定条件】

測定場所: プルトニウム燃料第三開発室 放射線計測室(CU-102) フード内

素材サイズ:  $\phi$  50mm

使用水: 生理食塩水(pH: 約 6.4、比重(20°C): 1.006 )

線源(付着物): MOX粉末

室温: 24°C

湿度: 53%

測定器:  $\alpha$ 線用放射能測定装置(アロカ社製)

(ZnS(Ag)シンチレーション検出器: 自然計数率 0 cpm、計数効率 34.5 %)

水分量(重量)測定: 電子天秤

表付4.1 既存作業衣における $\alpha$ 線検出測定データ

経過時間 (min)	水分量: 重量 (mg)	保水率 (%) ※1	放射能( $\alpha$ 線) 計数値(±誤差) ※2	検出率 (%) ※3	備考
—	0	0	406(±20)	100	初期値(付着直後)
0	679	150	101(±10)	25	
10	577	128	109(±10)	26	
20	475	105	244(±16)	60	
30	374	83	311(±18)	77	
60	0	0	419(±20)	103	水分乾燥後

※1 飽和保水量に対する割合

※2 測定時間1分による実測値(cpm)

※3 初期値に対する割合

表付4.2 既存作業衣における乾燥経過測定データ

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※	備 考
0	452	100	飽和保水量
5	282	68	
10	131	32	
15	0	0	乾燥状態

※ 飽和保水量に対する割合

2. 試験素材における測定結果

試験素材4種類における測定条件を以下に、測定結果を表付4.3～表付4.9に示す。

2.1 試験素材 A、B、C

【測定条件】

測定場所: プルトニウム燃料第三開発室 放射線計測室(CU-102) フード内

素材サイズ: φ 50mm

使用水: 生理食塩水(pH: 約 6.4、比重(20℃): 1.006 )

線源(付着物): MOX粉末

室温: 23℃

湿度: 59%

測定器: α線用放射能測定装置(アロカ社製)

(ZnS(Ag)シンチレーション検出器: 自然計数率 0.2 cpm、計数効率 34.5 %)

水分量(重量)測定: 電子天秤

表付4.3 試験素材における $\alpha$ 線検出測定データ(試験素材 A)

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※1	放射能( $\alpha$ 線) 計数值( $\pm$ 誤差) ※2	検出率 (%) ※3	備 考
—	0	0	754( $\pm$ 27)	100	初期値(付着直後)
0	1790	150	202( $\pm$ 14)	27	
10	1685	141	198( $\pm$ 14)	26	
20	1579	132	224( $\pm$ 15)	30	
30	1473	123	268( $\pm$ 16)	36	
40	1368	114	402( $\pm$ 20)	53	
50	1263	106	429( $\pm$ 21)	57	
60	1158	97	441( $\pm$ 21)	58	
70	1052	88	442( $\pm$ 21)	59	
80	900	79	500( $\pm$ 22)	68	
90	800	70	600( $\pm$ 24)	82	
170	0	0	731( $\pm$ 27)	97	水分乾燥後

※1 飽和保水量に対する割合

※2 測定時間1分による実測値(cpm)

※3 初期値に対する割合

表付4.4 試験素材における乾燥経過測定データ(試験素材 A)

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※	備 考
0	1193	100	飽和保水量
5	1022	86	
10	911	76	
15	730	61	
20	589	49	
25	418	35	
30	307	26	
35	135	11	
40	0	0	乾燥状態

※ 飽和保水量に対する割合

表付4.5 試験素材における $\alpha$ 線検出測定データ(試験素材 B)

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※1	放射能( $\alpha$ 線) 計数值( $\pm$ 誤差) ※2	検出率 (%) ※3	備 考
—	0	0	431( $\pm$ 21)	100	初期値(付着直後)
0	2108	150	104( $\pm$ 10)	24	
10	2002	142	103( $\pm$ 10)	24	
20	1896	135	121( $\pm$ 11)	28	
30	1791	127	153( $\pm$ 12)	35	
40	1685	120	230( $\pm$ 15)	53	
50	1579	112	267( $\pm$ 16)	62	
60	1474	105	287( $\pm$ 17)	67	
70	1368	97	278( $\pm$ 17)	65	
80	1262	90	324( $\pm$ 18)	75	
90	1200	85	380( $\pm$ 19)	88	
200	0	0	443( $\pm$ 21)	103	水分乾燥後

※1 飽和保水量に対する割合

※2 測定時間1分による実測値(cpm)

※3 初期値に対する割合

表付4.6 試験素材における乾燥経過測定データ(試験素材 B)

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※	備 考
0	1405	100	飽和保水量
5	1107	79	
10	849	60	
15	541	39	
20	233	17	
25	0	0	乾燥状態

※ 飽和保水量に対する割合

表付4.7 試験素材における $\alpha$ 線検出測定データ(試験素材 C)

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※1	放射能( $\alpha$ 線) 計数值( $\pm$ 誤差) ※2	検出率 (%) ※3	備 考
—	0	0	705( $\pm$ 27)	100	初期値(付着直後)
0	1541	150	133( $\pm$ 12)	19	
10	1425	139	157( $\pm$ 13)	22	
20	1309	127	204( $\pm$ 14)	29	
30	1193	116	281( $\pm$ 17)	40	
40	1078	105	365( $\pm$ 19)	52	
50	962	94	391( $\pm$ 20)	55	
60	846	82	376( $\pm$ 19)	53	
70	730	71	458( $\pm$ 21)	65	
80	614	60	462( $\pm$ 21)	66	
90	553	54	550( $\pm$ 23)	78	
140	0	0	704( $\pm$ 27)	100	水分乾燥後

※1 飽和保水量に対する割合

※2 測定時間1分による実測値(cpm)

※3 初期値に対する割合

表付4.8 試験素材における乾燥経過測定データ(試験素材 C)

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※	備 考
0	1027	100	飽和保水量
5	739	72	
10	470	46	
15	152	15	
20	0	0	乾燥状態

※ 飽和保水量に対する割合

2.1 試験素材 D

【測定条件】

測定場所:プルトニウム燃料第三開発室 放射線計測室(CU-102) フード内

素材サイズ: φ 50mm

使用水:生理食塩水(pH:約 6.4、比重(20℃):1.006 )

室温:24℃

湿度:53%

水分量(重量)測定:電子天秤

表付4.9 試験素材における乾燥経過測定データ(試験素材 D)

経過時間 (min)	水分量:重量 (mg)	保水率 (%) ※	備考
0	857	100	飽和保水量
5	770	90	
10	688	80	
15	607	71	
20	526	61	
25	446	52	
30	365	43	
35	286	33	
40	210	25	
45	139	16	
50	73	9	
55	22	3	
90	0	0	乾燥状態

※ 飽和保水量に対する割合

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位		記号
	名称	記号	
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>	m <sup>-1</sup>
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
質量体積 (比体積)	立法メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m	A/m
(物質質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>	mol/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>	cd/m <sup>2</sup>
屈折率	(数の) 1	1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(a)</sup>	rad		m・m <sup>-1</sup> =1 <sup>(b)</sup>
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>		m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> =1 <sup>(b)</sup>
周波数	ヘルツ	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m・kg・s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg・s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m <sup>2</sup> ・kg・s <sup>-2</sup>
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> ・kg・s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> ・kg・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>3</sup> ・A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	V・s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>			K
光照射 (放射性核種の)放射能	ルーメン	lm	cd・sr <sup>(c)</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・cd=cd
吸収線量, 質量エネルギー当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	グレイ	Gy	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-4</sup> ・cd=m <sup>-2</sup> ・cd
	シーベルト	Sv	J/kg	s <sup>-1</sup>
			J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときにいくつかの用例は表4に示されている。  
 (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。  
 (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。  
 (d) この単位は、例としてミリセルシウス度mのようにSI接頭語を併せて用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	度パスカル秒	Pa・s	m <sup>-1</sup> ・kg・s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N・m	m <sup>2</sup> ・kg・s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg・s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg・s <sup>-3</sup>
質量熱容量 (比熱容量), 質量エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> ・kg・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
質量エネルギー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/(kg・K)	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m・kg・s <sup>-3</sup> ・K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg・s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> ・s・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> ・s・A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>-3</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・mol <sup>-1</sup>
モルエントロピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup> ・mol <sup>-1</sup>
モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup> ・mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> ・s・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> ・sr)	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> =kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup>

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1 °=( /180) rad
分	'	1'=(1/60) °=( /10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=( /648000) rad
リットル	l, L	1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(1/2) ln10(Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.60217733(49) × 10 <sup>-19</sup> J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10) × 10 <sup>-27</sup> kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30) × 10 <sup>11</sup> m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里		1 海里=1852m
ノット		1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1 a=1 dam <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム		1 Å=0.1nm=10 <sup>-10</sup> m
バール	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm <sup>2</sup> =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> /s=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
ガウス	G	1 G ≙ 10 <sup>4</sup> T
エルステッド	Oe	1 Oe ≙ (1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ≙ 10 <sup>-8</sup> Wb
スチルブ	sb	1 sb=1cd/cm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
ホト	ph	1 ph=10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm/s <sup>2</sup> =10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7 × 10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58 × 10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
X線単位	X unit	1 X unit=1.002 × 10 <sup>-4</sup> nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 <sup>-26</sup> W・m <sup>-2</sup> ・Hz <sup>-1</sup>
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1 metric carat=200 mg=2 × 10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.184 J
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 <sup>-6</sup> m

