

平成 29 年 11 月 9 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 法令報告に記載すべき個人線量評価結果について

原子力機構としては、被ばくを伴う事故においては、事象の評価に必要とされる被ばく線量、測定結果、算定根拠等について報告を行うことが必要と考える。

そうした考えに沿った今回の事故に係る報告内容については、別紙法令報告（第 3 報）補正（案）参照。

なお、被ばくを伴う事故においては、個人情報の保護に留意しつつ報告を行うことも必要であるとの判断の下、法令報告（第 3 報）では、先に国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構が公表した内容に沿った内容を報告した。

2. 医療情報及び個人情報の定義と今回の事故における個人線量評価結果の取り扱い

原子力機構は、今回の事故に係る作業員の個別具体的な被ばく線量等の情報を保有しているが、当該情報は診断書として放医研病院から本人が取得した医療関係の情報<sup>※1</sup>であり、被ばく管理の責任を有する原子力事業者として、被ばく線量の評価のため、本人の同意を得て取得した個人情報<sup>※2</sup>である。従って、原子力機構内における当該情報の取扱いについては、独立行政法人等個人情報保護法に基づき、データの取扱い者を限定するなどの情報管理を徹底しているが、当該情報の全部または一部を法令報告等により、機構外の機関等に報告等する必要がある場合には、報告の方法等についても作業員の権利利益を不当に侵害しないものとなるよう細心の注意を払うとともに、報告を受けた機関においても行政機関個人情報保護法に基づく措置を講じるよう強く要請する必要がある。

※1 個人情報保護委員会及び厚生労働省が定めた医療・介護関係事業者における個人情報の適切な取扱いのためのガイダンスでは、「医療機関等及び介護関係事業者において想定される要配慮個人情報に該当する情報は、診療録等の診療記録に記載された病歴、診療や調剤の過程で、患者の身体状況、病状、治療等について、医療従事者が知り得た診療情報や調剤情報、健康診断の結果及び保健指導の内容、障害（身体障害、知的障害、精神障害等）の事実等」を挙げている。また、要配慮個人情報の取得や第三者提供には、原則として本人同意が必要としている。

※2 独立行政法人等個人情報保護法及び行政機関個人情報保護法（平成 29 年改正施行）等において、個人情報は以下のように定義されている。

独法個人情報保護法

第二条（定義）

2 この法律において「個人情報」とは、生存する個人に関する情報であつて、次の各号のいずれかに該当するものをいう。

一 当該情報に含まれる氏名、生年月日その他の記述等（文書、図画若しくは電磁的記録（電磁的方式（電子的方式、磁気的方式その他人の知覚によっては認識することができない方式をいう。

次項第二号において同じ。)で作られる記録をいう。第十八条第二項において同じ。)に記載され、若しくは記録され、又は音声、動作その他の方法を用いて表された一切の事項(個人識別符号を除く。)をいう。以下同じ。)により特定の個人を識別することができるもの(他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができることとなるものを含む。)

二 個人識別符号が含まれるもの

4 この法律において「要配慮個人情報」とは、本人の人種、信条、社会的身分、病歴、犯罪の経歴、犯罪により害を被った事実その他本人に対する不当な差別、偏見その他の不利益が生じないようにその取扱いに特に配慮を要するものとして政令で定める記述等が含まれる個人情報をいう。

#### 独立行政法人等の保有する個人情報の保護に関する法律施行令

##### 第二条 (要配慮個人情報)

法第二条第四項の政令で定める記述等は、次に掲げる事項のいずれかを内容とする記述等(本人の病歴又は犯罪の経歴に該当するものを除く。)とする。

一 身体障害、知的障害、精神障害(発達障害を含む。)その他の総務省令で定める心身の機能の障害があること。

二 本人に対して医師その他医療に関連する職務に従事する者(次号において「医師等」という。)により行われた疾病の予防及び早期発見のための健康診断その他の検査(同号において「健康診断等」という。)の結果

三 健康診断等の結果に基づき、又は疾病、負傷その他の心身の変化を理由として、本人に対して医師等により心身の状態の改善のための指導又は診療若しくは調剤が行われたこと。

四 本人を被疑者又は被告人として、逮捕、捜索、差押え、勾留、公訴の提起その他の刑事事件に関する手続が行われたこと。

五 本人を少年法(昭和二十三年法律第百六十八号)第三条第一項に規定する少年又はその疑いのある者として、調査、観護の措置、審判、保護処分その他の少年の保護事件に関する手続が行われたこと。

### 3. 被ばく評価における原子力機構と放医研病院の関係について

放医研病院は内部被ばくに関する診断と治療のために尿や便の採取を実施し、尿の分析を実施した。その際、放医研病院は分析設備容量の関係から原子力機構 核燃料サイクル工学研究所に便の分析を依頼し、便の分析データは原子力機構に残さず放医研病院に全て提供することとした。従って、原子力機構は被ばく評価にあたり、作業員が診断書として放医研病院から取得した医療関係の情報を、本人から機構に提供してもらい、その情報を使って被ばく評価を実施した。

以 上

### 6.3 作業員の被ばく評価

- (1) 外部被ばくによる実効線量の評価（詳細は添付6.3.1参照）
- (2) 体表面汚染による皮膚被ばく線量の評価（詳細は添付6.3.1参照）
- (3) 内部被ばくによる実効線量の評価

今回、原子力機構は作業員の内部被ばくに対する診察、処置を受けさせるため、事故が発生した翌日の平成29年6月7日から量研 放医研へ作業員を入院させた。そのため、量研 放医研による診察、処置の一部として、内部被ばく線量の測定・評価が実施された。なお、このうちバイオアッセイ試料(便)の分析については量研 放医研からの依頼により原子力機構が実施し、平成29年7月5日、量研 放医研にその結果を報告した。

量研 放医研の行った内部被ばく線量の測定・評価の結果は量研 放医研の管理する医療情報であるため、原子力機構は、内部被ばく評価にあたり、適切な手続の下に必要な情報を入手し、量研 放医研が実施した内部被ばく線量の評価の内容を確認した。その上で、原子力機構が保有している被ばく経路の評価結果や燃料研究棟108号室の放射線管理情報等の調査結果も考慮して、原子力機構として内部被ばく評価を行い、その内容を基に原子炉等規制法等の法令に基づく放射線業務従事者の被ばく線量の記録を行った。原子力機構で行った内部被ばく線量評価の詳細を添付6.3.2に示す。この内部被ばく線量評価の結果は、量研 放医研が実施した線量評価の結果と同等である。なお、この評価ではプルトニウム同位体の内部被ばく線量評価の原則に基づき便中排泄量を使用したことから、尿への排泄を促進する効果のあるキレート剤による治療の影響は加味していない（添付6.3.3参照）。

作業員5名の内部被ばくによる実効線量（預託実効線量）を表6.3.2に示す。内部被ばく線量は最大で■■■■ mSvであった。このように作業員のうち1名が法令の放射線業務従事者に対する線量限度（5年間につき100 mSv及び1年間につき50 mSv）を超過しており、また保安規定に定める警戒線量（20mSv/年及び13mSv/3ヶ月）を超過した者も認められたことから、それぞれ保安規定に従い当該者の放射線作業を制限する措置を講じた。

#### (4) 事故発生当日に実施した肺モニタ測定での過大評価について

事故発生当日に核燃料サイクル工学研究所で行った肺モニタ測定の結果は、Pu-239とAm-241について、最大でそれぞれ $2.2 \times 10^4$  Bq、 $2.2 \times 10^2$  Bqであった<sup>1</sup>が、翌日量研 放医研で実施された肺モニタ測定については、「プルトニウムについては明確なエネルギーピークを確認できなかった。アメリシウムについては、計測データからエネルギーピークを確認した方がいるが、そのレベルは減少している。」と発表された。また量研 放医研からは事故発生翌日の受け入れ時、4名の体表面に汚染が検出されたことも発表されている。これらのことから、事故発生当日の肺モニタ測定は被検者の胸部表面にPu-239等が付着していたことによる過大評価であったと考えられる。このため肺モニタで測定された値と体表面汚染のレベルの関係について調査・検討を行った結果、検出器近傍の胸部表面にα線サーベイメータの計測値にして100 cpm程度の汚染がある場合には、上記の値が計測される可能性があることを確認した（詳細は添付6.3.4及び添付6.3.5参照）。

除染完了を確認して管理区域を退出したとする作業員にこのような汚染が付着していた原因について、関係者からの聞き取り、専門家からの情報収集、体内動態モデルの調査・確認等により幅広く検討

<sup>1</sup> 全量が肺中放射能であると仮定した場合、預託実効線量は12 Svに相当する。

した結果、皮膚に付着していた汚染が管理区域退出時の汚染検査では検出できなかった可能性が高いと考えられる（詳細は添付 6.3.6 及び添付 6.3.7 参照）。

表 6.3.1 作業員の外部被ばくによる実効線量

実効線量	人数
記録レベル(0.1mSv)未満	5名

表 6.3.2 作業員の内部被ばくによる実効線量（預託実効線量）

作業員	実効線量
A	■■■■ mSv
B	■■■■ mSv
C	■■■■ mSv
D	■■■■ mSv
E	■■■■ mSv

注 記録レベル：1mSv

個人情報保護の観点から■■■■の箇所は非開示としています。

## 作業員の内部被ばくによる実効線量の算定

原子力機構として行った、作業員の内部被ばく実効線量の算定過程を以下に示す。

## 1. 測定結果

プルトニウム等による内部被ばく線量の評価材料として、初期の便バイオアッセイ結果及び肺モニタ結果（放医研実施分）を確認した。確認した値を表 6.3.2.1、表 6.3.2.2 に示す。なお、尿バイオアッセイ結果によりウランの排泄がないことを確認した。

表 6.3.2.1 初期の便バイオアッセイ結果

作業者	試料採取期間	$^{238}\text{Pu}$	$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$
A	平成 29 年 6 月 7 日-6 月 11 日	■ Bq	■ Bq	■ Bq	■ Bq
B	平成 29 年 6 月 7 日-6 月 12 日	■ Bq	■ Bq	■ Bq	■ Bq
C	平成 29 年 6 月 8 日-6 月 11 日	■ Bq	■ Bq	■ Bq	■ Bq
D	平成 29 年 6 月 7 日-6 月 11 日	■ Bq	■ Bq	■ Bq	■ Bq
E	平成 29 年 6 月 7 日-6 月 11 日	■ Bq	■ Bq	■ Bq	■ Bq

注記)「 $\lt$ 」は検出限界値未満であることを示す。

表 6.3.2.2 肺モニタ結果（放医研実施分）

作業者	測定日時	$^{239}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$
A	平成 29 年 6 月 7 日、6 月 9 日以降	■ Bq	■ Bq
B	平成 29 年 6 月 7 日、6 月 9 日以降	■ Bq	■ Bq
C	平成 29 年 6 月 7 日	■ Bq	■ Bq
D	平成 29 年 6 月 7 日、6 月 9 日以降	■ Bq	■ Bq
E	平成 29 年 6 月 9 日	■ Bq	■ Bq

注記)「 $\lt$ 」は検出限界値未満であることを示す。

## 2. 空気力学的放射能中央径及び吸収のタイプの評価

放射性物質の摂取に至った原因は、事故発生から管理区域退域までの間の吸入摂取によるものと推定し、経口摂取は考慮しないものとした（詳細は別添本文 7.2 及び添付 7.2.1 参照）。燃料研究棟 108 号室の放射線管理情報等の調査結果（詳細は別添本文 6.5 及び添付 6.5.1 参照）及び事故当時の作業状況の聞き取り調査結果（別添本文 4.2 及び添付 4.2.1 参照）により、吸入摂取した放射性物質の空気力学的放射能中央径及び吸収タイプを評価した。不確かな要素については保守的に評価した。表 6.3.2.3 に評価結果を示す。量研 放医研によるバイオアッセイ等の結果に基づく空気力学的放射能中央径及び吸収タイプの設定は、放射線管理情報等の調査結果と比べても保守的であり、適切であることを確認した。また、量研 放医研が実施した肺モニタと初期便中の放射能比から文献<sup>1</sup>に基づき空気力学的放射能中央径を求める方法についても確認し、適切であることを確認した。

<sup>1</sup> H. Doerfel, et. al, General Guidelines for the Estimation of Committed Effective Dose from Incorporation Monitoring Data, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, FZKA7243 (2006)

表 6.3.2.3 空気力学的放射能中央径、吸収タイプ (<sup>238</sup>Pu、<sup>239+240</sup>Pu、<sup>241</sup>Pu、<sup>241</sup>Am)

作業者	空気力学的放射能中央径	吸収タイプ
A	1 μm	M
B	1 μm	M
C	1 μm	M
D	1 μm	M
E	5 μm	M

注記) 吸収タイプ M の化合物 Pu : 不溶性酸化物以外 Am : 全ての化合物

### 3. 吸入摂取後の便中排泄割合と実効線量係数の決定

内部被ばくによる実効線量は、以下の式により算出した。

$$\text{内部被ばくによる実効線量 [Sv]} = \text{摂取量 [Bq]} \times \text{実効線量係数 [Sv/Bq]} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{摂取量 [Bq]} = \text{初期の便バイオアッセイ結果 [Bq]} / \text{吸入摂取後の便中排泄割合 [Bq/Bq]} \dots\dots (2)$$

吸入摂取後の便中排泄割合（当該期間の放射性物質の排泄量/放射性物質の摂取量）及び実効線量係数を、「2.」で評価した空気力学的放射能中央径と吸収タイプに基づき、IMBA\*<sup>2</sup>内蔵のデータから決定した。吸入摂取後の便中排泄割合を表 6.3.2.4 に、実効線量係数を表 6.3.2.5 にそれぞれ示す。

表 6.3.2.4 吸入摂取後の便中排泄割合

吸入摂取後の 経過時間 (日)	1日あたりの便中排泄割合			
	空気力学的放射能中央径 1 μm 吸収タイプ M		空気力学的放射能中央径 5 μm 吸収タイプ M	
	Pu	Am	Pu	Am
1	$5.8 \times 10^{-2}$	$5.8 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10^{-1}$
2	$8.4 \times 10^{-2}$	$8.4 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10^{-1}$
3	$4.4 \times 10^{-2}$	$4.4 \times 10^{-2}$	$8.0 \times 10^{-2}$	$8.0 \times 10^{-2}$
4	$1.9 \times 10^{-2}$	$1.9 \times 10^{-2}$	$3.4 \times 10^{-2}$	$3.3 \times 10^{-2}$
5	$8.0 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-2}$	$1.3 \times 10^{-2}$

表 6.3.2.5 実効線量係数

作業者	<sup>238</sup> Pu	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>241</sup> Pu	<sup>241</sup> Am
A	$4.35 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$4.73 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$8.48 \times 10^{-7}$ Sv/Bq	$3.93 \times 10^{-5}$ Sv/Bq
B	$4.35 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$4.73 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$8.48 \times 10^{-7}$ Sv/Bq	$3.93 \times 10^{-5}$ Sv/Bq
C	$4.35 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$4.73 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$8.48 \times 10^{-7}$ Sv/Bq	$3.93 \times 10^{-5}$ Sv/Bq
D	$4.35 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$4.73 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$8.48 \times 10^{-7}$ Sv/Bq	$3.93 \times 10^{-5}$ Sv/Bq
E	$3.01 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$3.26 \times 10^{-5}$ Sv/Bq	$5.83 \times 10^{-7}$ Sv/Bq	$2.71 \times 10^{-5}$ Sv/Bq

<sup>2</sup> IMBA: (Integrated Modules for Bioassay Analyses) ICRP の内部被ばくモデルに基づき英国 NRPB が 1998 年に作成した内部被ばく計算プログラム。

4. 摂取量の算出

式(2)により摂取量を算出した。表 6.3.2.6 にその結果を示す。なお、吸入摂取日時は、保守的に事故発生日時とした。

表 6.3.2.6 摂取量

作業者	$^{238}\text{Pu}$	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$
A	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq
B	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq
C	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq
D	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq
E	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq	■■■■ Bq

5. 実効線量の算定

式(1)により内部被ばく線量を算定した。表 6.3.2.7 にその結果を示す。

表 6.3.2.7 内部被ばくによる実効線量

作業者	$^{238}\text{Pu}$	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$	合計
A	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv
B	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv
C	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv
D	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv
E	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv	■■■■ mSv

個人情報保護の観点から■■■■の箇所は非開示としています。



## 内部被ばく線量評価におけるキレート剤の効果の取扱いについて

内部被ばくによる実効線量は、摂取量に実効線量係数を乗じて算出する。

摂取量は、バイオアッセイ試料（便や尿）の測定結果（体外に排泄された放射能）や全身カウンタの測定値（体内に残留している放射能）から評価する。

実効線量係数は、放射性物質の摂取後の体内での挙動を表す代謝モデルに基づき計算された、摂取量から預託実効線量へ換算するための係数である。国際放射線防護委員会（ICRP）から、推奨される標準的な代謝モデル（以下「ICRP モデル」という）とそれに基づく実効線量係数の値が与えられており、その代表的な値が法令に採用されている<sup>1</sup>。実効線量係数は、核種別に与えられているが、吸入摂取の場合、吸い込んだ粒子のサイズ、化学形により代謝が異なるため、同じ核種であっても、これらにより値が異なる。

内部被ばくの場合には、体内に摂取した放射性物質は、代謝により徐々に体外に排出されるものの、一部は長期間体内にとどまり被ばくを与え続けるため、摂取時だけでなく将来にわたって受ける被ばくを考慮することから 50 年間の積算線量である預託実効線量を算出し、これを摂取時点の年線量限度等と比較することになっている。なお、治療の目的で投与されるキレート剤は体内に摂取された放射性物質の排泄を促す効果があるが、ICRP モデルにはこの効果は取り入れられていない。

Pu 等の内部被ばくによる線量評価においては、ICRP モデルに基づいて便中の排泄量から摂取量を求めることが一般的である。バイオアッセイによって分析された便中の Pu 等は経口もしくは呼吸気道に沈着後胃腸管へ移行した成分が主である。

Ca-DTPA 等のキレート剤は、血液中で Pu 等と結合して尿中への排泄を促進させることにより、被ばく線量を低減する効果が期待できる。一方で、便中の Pu 等の排泄量は、血液中の Pu 等の尿中への排泄を促進する効果があるキレート剤の影響をほとんど受けない。したがって、Pu 等の便中排泄量から ICRP 標準モデルに則って行う内部被ばく線量評価では、キレート剤の影響はほとんど受けないと考えられる。さらに、現時点ではキレート剤による Pu 等の体内動態の変化を定量的に評価する手法については研究段階である。

以上より、今回の線量評価に関して、量研 放医研ではキレート剤の効果を考慮しない ICRP モデルに基づく評価を行っており、原子力機構も同様の判断を行った。

---

<sup>1</sup> 核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示（平成 27 年原子力規制委員会告示第 8 号）

第十条第 4 項 第二項第二号に規定する内部被ばくによる実効線量並びに核燃料物質使用規則第三条第八号ハ、核原料物質使用規則第二条第七号ハ及び受託貯蔵規則第二条第十号ハの線量は、別表第一の第一欄に掲げる放射性物質の種類に応じて、吸入摂取の場合は第二欄に、経口摂取の場合は第三欄に掲げる実効線量係数に摂取量を乗じたもの（二種類以上の放射性物質を吸入摂取し、又は経口摂取した場合には、それぞれの種類ごとに算出したものの和とする。）とする。

## 肺モニタ測定値と体表面汚染との関係の評価

## 1. 確認・調査事項

量研 放医研に受け入れ後実施された体表面汚染の測定にて数箇所から最大 140 cpm の汚染が検出されていることから、核燃料サイクル工学研究所の肺モニタ（以下「肺モニタ」という。）の測定結果には皮膚に付着していた  $^{239}\text{Pu}$  等による影響があったと考えられるため、肺モニタで測定された値と体表面汚染との関係の評価する。

## 2. 肺モニタの仕様及び測定・評価方法

## (1) 仕様

- 肺モニタ本体：CANBERRA 製 BE5020（図 6.3.4-1）

検出器 Ge 半導体検出器 × 2 本

検出器サイズ 5000 mm<sup>2</sup> × 20 mm (L)

測定エネルギー範囲 10 keV ~ 400 keV

※肺モニタ本体は鉄遮蔽室内に収容

- 解析ソフト：CANBERRA 製ホールボディカウンタ・肺モニタ用ソフト Apex-InVivo™ Version 1.2（本ソフトのバックグラウンドプロセスとして同社製ガンマ分析ソフト Genie™ 2000 Version 1.3.1 が動作する。）

- 鉄遮蔽室（図 6.3.4-2）

内寸 2.0 m(W) × 2.5 m(D) × 2.0 m(H)

総重量 52.3 t

遮蔽材 鉄 200 mm、鉛 3 mm、銅 0.5 mm、塩化ビニル 3 mm



図 6.3.4-1 肺モニタ



図 6.3.4-2 鉄遮蔽室

## (2) 測定方法

被検者は検査衣のみを着用した状態でベッドに仰臥位となる。その後、肺モニタの検出器位置を調整し、30 分間測定する。

(3) 評価方法

肺モニタは  $^{241}\text{Am}$  及び  $^{239}\text{Pu}$  を評価対象としている。これらの核種が放出する主な光子のエネルギーを表 6.3.4-1 に示す。

表 6.3.4-1  $^{241}\text{Am}$  及び  $^{239}\text{Pu}$  が放出する主な光子のエネルギーと放出割合

ライン	$^{241}\text{Am}$		$^{239}\text{Pu}$	
	エネルギー	放出割合	エネルギー	放出割合
$L_{\alpha 1}$	13.95 keV	0.119	13.62 keV	0.015
$L_{\beta 2}$	16.84 keV	0.026	16.43 keV	0.003
$L_{\beta 1}$	17.75 keV	0.116	17.22 keV*	0.017
$L_{\gamma 1}$	20.78 keV	0.028	20.17 keV	0.004
$\gamma$	26.35 keV	0.024	—	—
	59.54 keV*	0.360		

\* 肺モニタにて核種の同定及び定量に使用するエネルギーとして設定しているものを示す。

肺モニタは  $^{239}\text{Pu}$  の核種同定及び定量に 17.22 keV の特性 X 線による光電ピークを使用しており、その全計数が肺中に均一分布した  $^{239}\text{Pu}$  によるものとし、被検者の肺、胸郭及び胸部軟組織（以下「胸部組織」という。）による遮蔽を考慮して放射能を算出するよう校正されている。胸部組織による遮蔽の度合いは被検者により異なるため、被検者の身長・体重から胸部組織の厚みを経験式<sup>1</sup>に基づいて算出し、補正を行う。

肺モニタは被検者の体表面に汚染がない状態で測定するのが理想であるが、胸部表面に汚染がある場合、胸部組織による遮蔽がないことから検出器の計数効率が肺中の汚染に比べ非常に高く、肺中の汚染よりかなり少ない放射能の表面汚染で同じ解析結果が算出されることになる。

$^{241}\text{Am}$  は核種同定等に使用する 59.54 keV の  $\gamma$  線のほか、17.75 keV の特性 X 線を放出するが、 $^{239}\text{Pu}$  に起因する 17.22 keV のピークとは分離可能であり、 $^{241}\text{Am}$  の存在によって  $^{239}\text{Pu}$  を過大評価することはない。一例として、作業員 E のスペクトル及び解析結果を図 6.3.4-3 及び図 6.3.4-4 に示す。

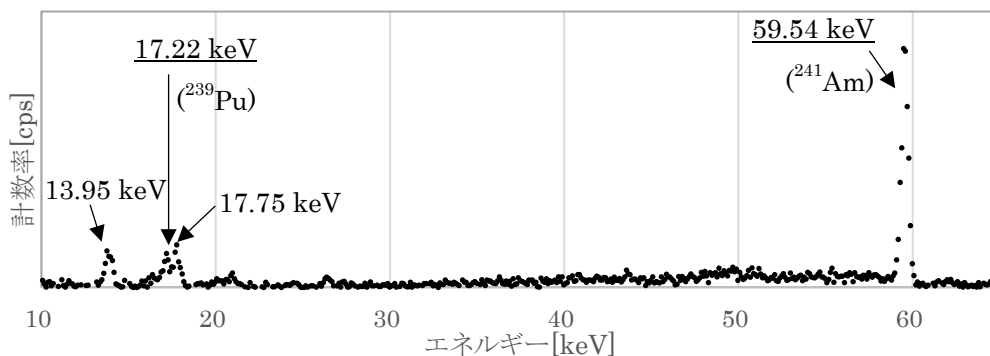


図 6.3.4-3 作業員 E の低エネルギー領域のスペクトル  
 ( ピークと解析されたエネルギーを図中に記す。  
 このうち下線は核種同定及び定量に使用するエネルギーである。 )

<sup>1</sup> F. A. Fry. *Health Physics*, Vol. 39, (1980). 89-92.

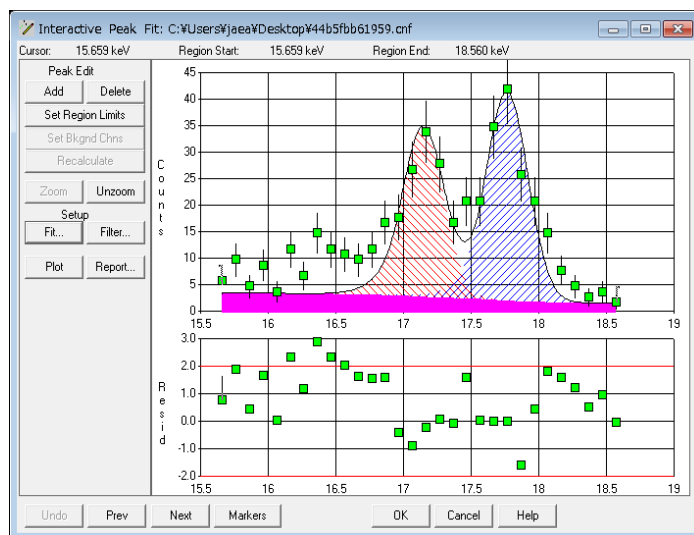


図 6.3.4-4 作業員 E のスペクトル解析結果

〔 解析ソフト Genie™ 2000 によるピークフィットの結果 (17.22 keV 付近の拡大)  
17.22 keV (左) と 17.75 keV (右) は別のピークとして解析できている。 〕

### 3. 確認・調査方法

本調査では、まず、校正用の人体形状ファントム（線源なし）の胸部表面に  $^{241}\text{Am}$  線源（図 6.3.4-5）を設置して肺モニタにて測定し（図 6.3.4-6）、 $^{241}\text{Am}$  線源の 59.54 keV の  $\gamma$  線放出率<sup>2</sup>と測定にて得たスペクトルの 59.54 keV のピークの計数との比によって、体表面の線源からの 59.54 keV の  $\gamma$  線に対する計数効率を求めた。この計数効率を用い、作業員 E の体表面汚染による 59.54 keV の計数から体表面汚染の  $^{241}\text{Am}$  の放射能を算出した。ここで、体表面汚染による計数は、摂取量<sup>3</sup>から求めた測定時の肺中残留量に相当する計数を測定時の計数から差し引いた値とした。

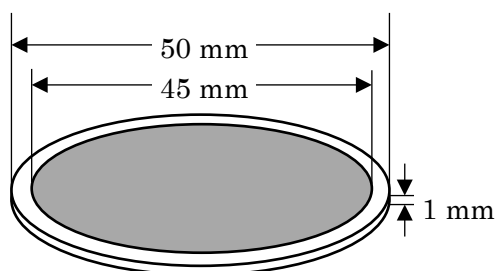


図 6.3.4-5 使用した  $^{241}\text{Am}$  線源の形状  
(網掛け部分が放射性)



図 6.3.4-6  $^{241}\text{Am}$  線源の測定風景

次に、 $^{241}\text{Am}$  線源の 17.75 keV の特性 X 線放出率と測定にて得たスペクトル<sup>4</sup>（図 6.3.4-7）の 17.75 keV のピークの計数との比によって、体表面の線源からの 17.75 keV の特性 X 線に対する計数効率を求めた。この計数効率は、体表面の線源からの 17.22 keV の特性 X 線に対する計数効率と同様である

<sup>2</sup> 放出率の計算には、 $^{241}\text{Am}$  及び  $^{239}\text{Pu}$  から放出される特性 X 線放出割合として M. C. Lépy et al. *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A* 353 (1994) 10-15. の値を、 $^{241}\text{Am}$  の  $\gamma$  線放出割合として IAEA. X-ray and gamma-ray standards for detector calibration, *IAEA-TECDOC-619*(1991). の値 (表 6.3.4-1) を使用した。

<sup>3</sup> 量研 放医研から入手した内部被ばく線量の評価結果に基づき推定される  $^{241}\text{Am}$  及び  $^{239}\text{Pu}$  の摂取量

<sup>4</sup> 核種の同定・定量は、左右の検出器のスペクトルを合成したデータを用いて行う。

とみなし、作業員 E の体表面汚染による 17.22 keV の計数から体表面汚染の  $^{239}\text{Pu}$  の放射能を算出した。

なお、 $^{241}\text{Am}$  線源の測定結果の解析は作業員 E の体格を反映させて実施したため、本調査にて求める肺モニタ解析結果と体表面汚染の関係は作業員 E にのみ適用できる。

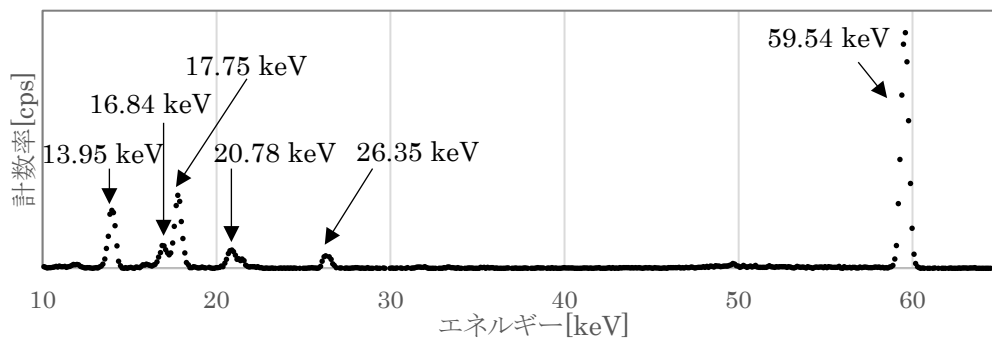


図 6.3.4-7 ファントム表面の  $^{241}\text{Am}$  線源のスペクトル  
(ピークと解析されたエネルギーを図中に記す。)

#### 4. 確認・調査結果及び考察

作業員 E の測定において計数した体表面汚染が全て検出器近傍に存在した場合、 $^{239}\text{Pu}$  の体表面汚染が約 45 Bq であれば、肺モニタ解析結果は  $2.2 \times 10^4$  Bq となる。同様に、 $^{241}\text{Am}$  の体表面汚染が約 5 Bq であれば、肺モニタ解析結果は  $2.2 \times 10^2$  Bq となる。

また、作業員 E 測定時の左右の検出器での計数率の比 (右 : 左) は 45 : 55 とほぼ等しいことから、汚染は片方の検出器に偏って検出されるような位置・形状ではなかったことが推測される。このことから、肺モニタの左右の検出器近傍に、 $\alpha$  線サーベイメータの検出器の有効面積以下の面積の体表面汚染が 50 Bq の等分、すなわち左右各 25 Bq 存在すると仮定した場合、 $\alpha$  線サーベイメータの計測値は約 100 cpm となる<sup>5</sup>。この結果から、検出器近傍の胸部表面に  $\alpha$  線サーベイメータの計測値にして 100 cpm 程度の汚染がある場合には、肺モニタにて  $^{239}\text{Pu}$  と  $^{241}\text{Am}$  がそれぞれ  $2.2 \times 10^4$  Bq、 $2.2 \times 10^2$  Bq と解析されることが確認された。この結果のイメージを図 6.3.4-8 に示す。

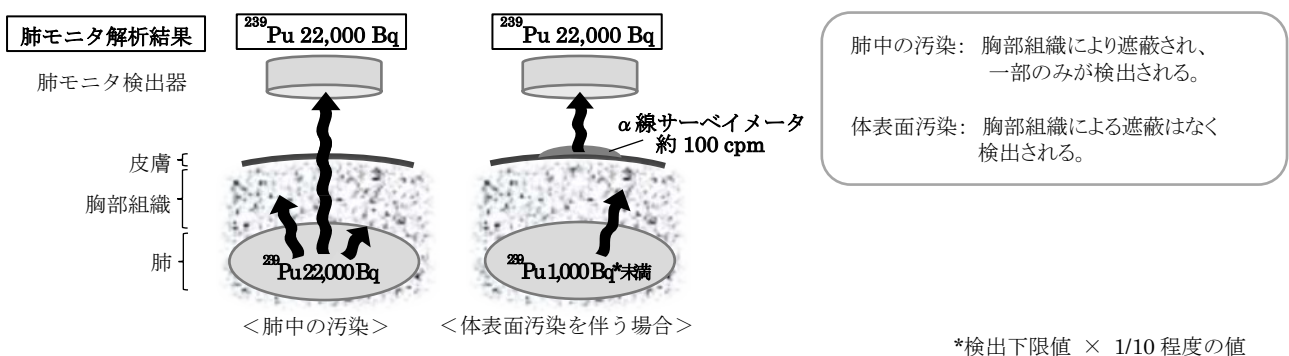


図 6.3.4-8 肺モニタ測定における肺中汚染と体表面汚染のイメージ

以上

<sup>5</sup>  $\alpha$  線サーベイメータの換算係数は、添付 6.3.1 の 2.2 (3) に示した大洗研究開発センターにて通常の放射線管理で使用している 0.225 Bq/cpm であるとして計算した。また、有効窓面積は 71.5  $\text{cm}^2$  であるとした。

## 事故発生直後の肺モニタによる測定の間緯について

## 1. はじめに

事故発生当日（平成 29 年 6 月 6 日）、大洗研究開発センターの産業医は、鼻スミヤの測定結果、核燃料サイクル工学研究所（核サ研）で実施した肺モニタ測定の結果、事故時の汚染状況等に基づき、作業員 5 名に対してキレート剤の投与を行った。

この核サ研で実施した肺モニタ測定では、皮膚に付着していた汚染の影響によって結果が過大評価となった可能性が高いと考えられる（添付 6.3.4 参照）。これは、キレート剤投与をできるだけ早期に開始するため、燃料研究棟退出時に除染・汚染検査が完了したという情報に基づき、肺モニタ測定時には改めて汚染検査を実施しなかったことによる。この間緯の詳細を以下に示す。

## 2. 核サ研における肺モニタ測定時に改めて汚染検査をしなかった間緯

燃料研究棟において、作業員 5 名に対し鼻スミヤを採取し測定した結果、3 名から有意な値が検出され、最大は 24 Bq（ $\alpha$  線）であった（表 4.2.1 参照）。このため、作業員を核サ研の放射線保健室へ搬送し、肺モニタ測定及びその結果等に基づきキレート剤投与を行うこととした。

今回鼻スミヤで検出された値は、過去に核サ研で発生したプルトニウム内部被ばく事例で線量が最大であった者の鼻スミヤの結果を上回る値であり<sup>1</sup>、これまでの知見に基づいて保守的な評価<sup>2</sup>を行った場合には、線量限度（50 mSv/年）の 10 倍を超える可能性があることが予想されたことから、キレート剤の最初の投与を急ぐ必要があった<sup>3</sup>。しかし、作業員が放射線保健室に到着したのは 19 時 41 分であり、事象発生から約 8 時間が経過していた。

また、核サ研では受入れ準備の段階では体表面の汚染検査及び除染を行う予定であったが、作業員が到着する前に大洗研究開発センターから、除染と汚染検査は燃料研究棟退出前に終了したとの情報が入り、また到着時には随行した関係者からもその旨を確認することができた<sup>4</sup>。

以上の状況から、キレート剤投与を最優先すべきとの考えの下、核サ研において改めて汚染検査及び除染を行うことはせず、キレート剤投与の判断に必要な肺モニタの測定を直ちに行うこととし、鼻スミヤの測定結果又は 108 号室退室直後の汚染検査結果の高い順に肺モニタの測定を開始した。しかしながら、緊急時には不測の事態を想定して対応すべきであり、今回肺モニタ測定前に汚染検査を行わなかったことは反省点として、今後の緊急時における対応を検討する必要がある。

<sup>1</sup> 平成 5 年に再処理施設で発生した事例で、最大の実効線量（90 mSv）となった作業員の鼻スミヤの結果は 0.8 Bq であった。

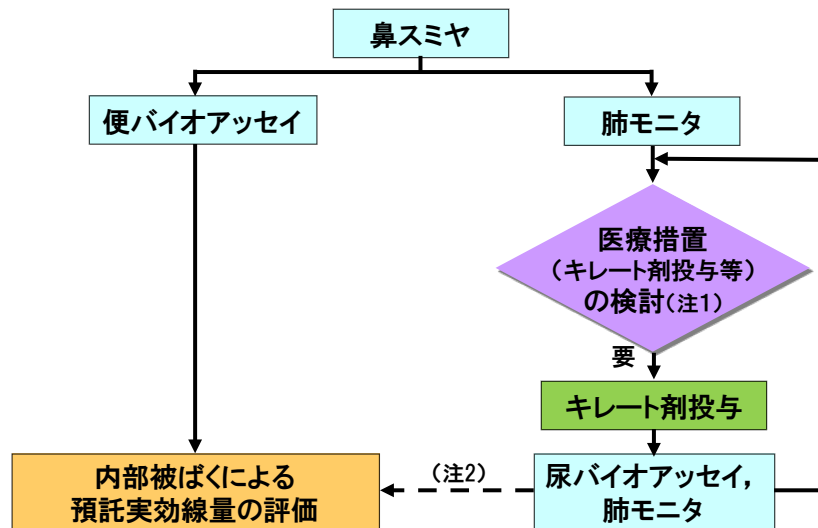
<sup>2</sup> Kurihara.O et.al, Practical action levels for chelation therapy in plutonium inhalation using nose swab. Radiat Prot Dosim; 127-1 (2007) pp. 411-414

<sup>3</sup> 一般に、最初のキレート剤の投与の開始は、摂取後可能な限り速やかに開始することが望ましいとされている。Gerber.G et.al, Guidebook for the Treatment of Accidental Internal Radionuclide Contamination of Workers. Radiat Prot Dosim; 41-1 (1992)

<sup>4</sup> 核サ研の特殊モニタリング手順書においては、除染が確実に行われていることを放射線管理担当課からの聞き取り情報により確認する事になっている。

### 3. 肺モニタ測定的位置づけ及び測定値の取扱いについて

今回の事故対応で実施した内部被ばくモニタリングと医療措置の関係を図 6.3.5-1 に示す。プルトニウム等による内部被ばく事故発生直後に実施する肺モニタによる測定は、主に迅速に実施すべき医学的な処置（キレート剤の投与による排せつの促進等）の判断に資することを目的としたものであり、迅速性が優先となるため、鼻スミヤの結果等から線量が高いことが予測される場合には、予防原則に沿った対応として過大評価を排除せず対応する場合がある。医療対応においては、被ばくを過小評価する方が後の対応において問題となることが多い。



注1: 鼻スミヤ及び肺モニタの測定結果及び事故時の汚染状況等に基づき総合的に検討する。

注2: プルトニウム等による内部被ばくの線量は、便中排泄量をベースに尿中排泄量や肺中残留量等の測定結果等も踏まえ、総合的に評価する。

図 6.3.5-1 今回の事故における内部被ばくモニタリングと医療措置の関係

今回、上記の考え方にに基づき、肺モニタの測定時には改めての汚染検査はせず、その測定値に含まれる皮膚汚染による過大評価の程度を確認することはしなかった。

過大評価の可能性がある場合、その情報を付さずに測定結果のみを公表することは風評被害を含む社会的な影響をもたらす恐れがある。今回単に測定値（ベクレル数）のみを公表してしまったことについては重大な反省点ととらえ、緊急時の対応を検討する必要がある。

### 4. 核燃料サイクル工学研究所と量研 放医研の受け入れ時の対応の違いについて

核サ研においては、燃料研究棟の管理区域から退出する際に実施した除染及び汚染検査で管理区域からの退出基準をクリアしていたことを前提として、キレート剤の投与に係る対応を優先させ、再度の汚染検査は必要ないと判断し、量研 放医研で実施されたような詳細な汚染検査を実施しなかった。また、キレート剤の投与が終了したのは深夜であり、作業員が相当疲労していたことから、キレート剤投与後に改めて汚染検査を実施することなく休息させた。さらに、当時の機構内の関係者の間では除染又は汚染検査が不十分である可能性が考慮できなかったことから、翌日量研 放医研に搬送するまで汚染検査は実施しなかった。

一方、量研 放医研においては、被ばく医療機関の原則的な手順にしたがって、入院前の受け入れ時に、作業員 1 名に対し複数のサーベイ要員を配置し、十分な時間をかけて汚染検査を実施した。また、除染しにくい皮膚の汚染については数日間にわたって除染を行うなどの対応を行った。

#### 5. 今後の緊急時の対応

上記を踏まえて、今後は以下の対応をとる。

身体の大範囲が汚染するような事故が発生した場合は、除染完了後も一定の時間毎に皮膚汚染の状況をチェックするなどの対応を行うことを要領等に定める。また、肺モニタを含む体外計測においては、測定の前直前に体表面汚染検査、特に対象部位（肺モニタの場合には胸部）表面の汚染検査を実施し、可能な限り除染を行うことを原則とする。

プルトニウム等による内部被ばく線量に係る情報の発信においては、バイオアッセイ等による被ばく線量の評価前に安易に推定線量値が出ることがないように、肺モニタ等の測定結果の取扱い及び外部への情報の発信の方法・手順について要領等を整備する。



## 体表面汚染の原因について

## 1. はじめに

作業員は、身体除染を行いサーベイメータを用いた測定による確認を経て、管理区域から退域した（平成 29 年 6 月 6 日 18 時 55 分）。しかし、翌 6 月 7 日、量研 放医研において、作業員受入時の体表面の測定により、作業員 4 名について、頭部、頸部、体幹部、上肢等、上半身を中心に複数の部位で汚染が検出された。

この体表面汚染の可能性となる事象を抽出し、これらについて専門家からの情報収集、関係者からの聞き取り、体内動態に基づく評価等による分析を行い、汚染の原因を推定した。

## 2. 体表面汚染の可能性となる経路

体表面汚染が生じたタイミングと原因として、次のケースが考えられる。これらについて分析を進めた。

## (1) 管理区域退域時に汚染が残っていた。

原因：皮膚に残留していた汚染が測定で検出できなかった。頭部に付着していた汚染が乾燥により剥離し、体表面に付着した。

## (2) 管理区域退域時に体表面は除染されていたが、退域後に再汚染が発生した。

原因：鼻腔内に沈着した汚染が体外へ排出された。体内に摂取された放射性核種が汗等により体表面に移行した。

## 3. 専門家等からの情報収集

Pu の身体汚染や体内動態の研究に多くの経験を有する海外の専門家 4 名（米国 3 名、フランス 1 名）から、事象発生から量研 放医研における体表面検査に至る経過を説明した上で、汚染経路の可能性について見解を求めた。得られた意見のポイントとしては、管理区域退域前の除染により、汚染は完全に除去できずに残っており、かつ、退域時の測定条件により汚染が検出できなかった可能性が挙げられた。また、鼻腔や汗を介した Pu の体内からの排出は、可能性としては考えられるが、ヒトにおいてそれを裏付ける事例や研究報告は把握していないとの回答であった。さらに、マウス実験から、Pu が体毛へ移行することが確認されていることなど、原因分析で参考となる情報も提供された。

一方、文献では、動物実験で Pu が毛包、皮脂腺、汗に移行することが報告されている。毛包や皮脂腺など体表面近傍に移行した Pu は、体表面に付着した汚染にみなされる可能性が考えられる。

## 4. 抽出された経路の評価

2. で抽出した体表面汚染の可能性となる経路について、現場における除染や汚染検査の状況、専門家や文献調査から得た情報、関係者からの聞き取り、呼吸気道モデルや体内動態による検討等に基づき分析を行い、個々の経路について可能性を検討した。

## (1) 管理区域退域時に汚染が残っていたケース

### ① 皮膚に汚染が残留していた可能性

量研 放医研が公表した作業員受入時の体表面測定の結果によると、除染により水の流れた方向に沿って汚染が分布している傾向が見られ、シャワーによる除染が汚染を拡大させた可能性が指摘されている<sup>1</sup>。これより、最初に頭部を中心に付着した汚染が、水で流されて頸部、体幹部、上肢等に付着し、残留していた可能性がある。

一般的に身体に付着した汚染は、時間の経過とともに毛穴、皮膚のしわなどに入り込んで除染しにくくなるとされている<sup>2</sup>。このような状況では、飛程の短い $\alpha$ 線の検出は困難になる。今回の事象では、約3時間以上、汚染が皮膚に付着した状況にあったため、Pu等が検出しにくい状態になり皮膚に残留していた可能性が考えられる。

また、作業員からの聞き取り調査によれば、シャワー室での除染後、水分による $\alpha$ 線の吸収の影響を防ぐため、タオル等で水分を拭き取ってから測定が行われた。一方で、作業員は、体表面は完全に乾いた状態であったとは言えないとも述べている。そのため、体表面の毛穴等に残留していた水分も、皮膚に付着した汚染からの $\alpha$ 線を吸収し、サーベイメータによる測定の検出感度を悪くしていた可能性がある。

### ② 汚染の髪や頭皮からの剥離、体表面への付着

今回の汚染事象では、特殊作業帽子、特殊作業衣に覆われていない頭髪等の頭部に汚染が付着し、3時間以上汚染した状態にあった。そのため、液体洗剤を用いた洗浄や一部の毛髪の切除により除染を行ったものの、(1)の皮膚の場合と同様に、除去しにくい状態になっていた可能性がある。頭部に残留した汚染は、毛髪や残留した水分により $\alpha$ 線の検出が困難になり、検知しにくいと考えられる。この残留した汚染が、管理区域退域後、頭部が次第に乾燥することにより剥離し、身体に移行した可能性がある。

この経路では、汚染は体表面以外にも広範囲広がるため、作業員が移動に用いた車両等にも汚染が検出されると考えられる。しかし、車両をサーベイした結果、汚染は検出されなかった。したがって、この経路による汚染は考えられるが、体表面汚染の主たるものであった可能性は低いと考えられる。

## (2) 管理区域退域後に体表面汚染が発生したケース

### ① 鼻腔内に沈着した汚染の体外への排出

呼吸により吸入された放射性エアロゾルは、呼吸気道の各部位に沈着する。図 6.3.6-1 にヒトの呼吸気道を示す。鼻呼吸により吸入されたエアロゾルの一部は、鼻の先端部の前鼻道にあたる ET1 領域（胸郭外領域 1）に沈着する。事象発生現場の 108 号室で採取されたスミヤ試料の分析から、放射性エアロゾルの粒径分布（空気力学的放射能中央径）は、 $1\ \mu\text{m}$ ～ $10\ \mu\text{m}$  と評価されている。この粒径範囲のエアロゾルの場合、吸入した 30～40% が ET1 に沈着する（図 6.3.6-2）。このエアロゾルは、体内に吸収されるほか、鼻をかむ、拭う等により体外へ取り除かれる。体外への排出は、鼻水、くしゃみ等により更に加速される。これらの事象により、汚染が鼻腔から体外へ排出され、体表面に付着する可能性が考えられる。

<sup>1</sup> 富永隆子, ほか. 第 5 回日本放射線事故・災害医学会学術集会ポスター発表, P-6 (2017)

<sup>2</sup> 田代晋吾. 日本原子力学会誌, Vol. 13, pp.2-7 (1971); 高崎浩司, ほか. 保健物理, Vol. 38, pp.140-147 (2003).

しかし、作業員は除染時に鼻腔洗浄を行っていることから、ET1 領域に沈着したエアロゾルは、かなりの割合が除かれたと推定される。また、汚染が鼻腔から排出されたとしても、上半身に広範に付着するとは考えにくい。したがって、これが体表面汚染の経路であった可能性は低いと考えられる。

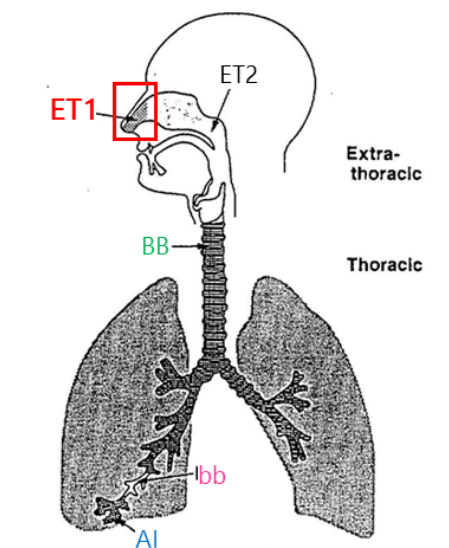


図 6.3.6-1 ヒトの呼吸気道モデル<sup>3</sup>。赤枠が前鼻道にあたる ET1 領域（胸郭外領域 1）。  
ET2：胸郭外領域 2、BB：気管支領域、bb：細気管支領域、AI：肺胞-間質領域。

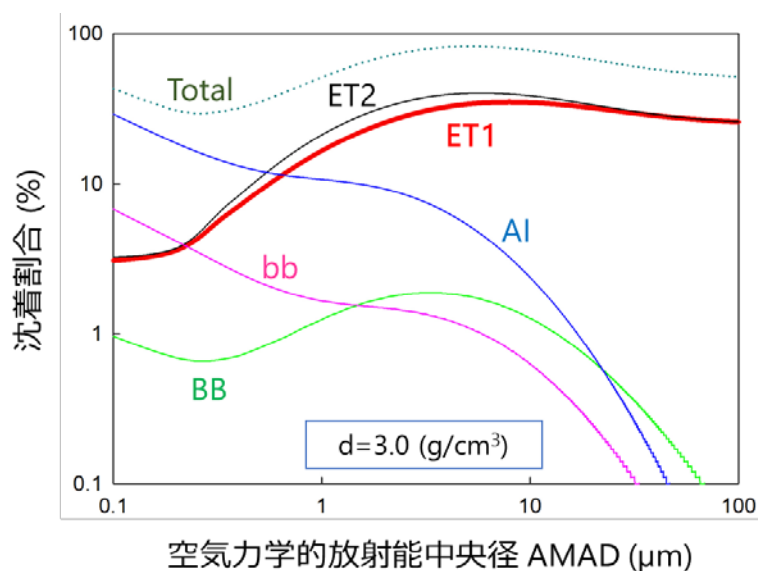


図 6.3.6-2 エアロゾルのサイズに対する領域ごとの沈着割合。d：エアロゾルの密度。

<sup>3</sup> ICRP. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3) (1994).

## ② 汗による Pu 等の体表面への移行

Pb、H 等のいくつかの元素は、人体への摂取後、汗により体外へ排泄されることが確認されている。Pu については、動物実験から、毛包、体毛、皮脂腺、汗に移行することが観察されている。この経路による Pu の移行は、ヒトにおいては確認されていないが、毛包や皮脂腺、汗を経由し体表面近傍に移行した場合、体表面汚染のように測定される可能性がある。

これらの経路により Pu が体表面に移行したとすると、汚染は全身に分布し、特に発汗しやすい部位（腋窩部等）に相対的に高い汚染が見られるはずである。しかし、量研 放医研における汚染分布の測定結果に、その傾向は見られない。したがって、これらが体表面汚染の経路であった可能性は低いと考えられる。

## 5. 検討結果のまとめ

作業員の体表面汚染の原因について、考えられる経路を抽出した。それらについて、現場における除染や体表面汚染検査の状況、専門家や文献調査からの情報収集、関係者の聞き取り、呼吸気道モデルや体内動態による検討等に基づき分析を行い、個々の経路の可能性を検討した。その結果、管理区域退域時に皮膚に付着していた汚染が汚染検査で検出できなかった可能性が高いと考えられる。

## 体表面汚染検査における水分の影響について

## 1. はじめに

燃料研究棟の管理区域退出時の汚染検査で検出できなかった原因と考えられる、水分の残存、量研 放医研との除染の差異について、以下に考察する。

## 2. 除染後の状況について

除染後の状況について、整理すると以下の通りである。

## (1) 除染後の水分の拭き取りと汚染検査の実施について

- ・除染後の水分の拭き取りは、作業員自らが行き、除染補助者が背中を拭き取った。水分の拭き取りは布タオル及び紙タオルにより実施した。
- ・拭き取り後、少し時間（5分程度と記憶）をおいて、身体サーベイ者（放管員）が、ダイレクトサーベイにより汚染検査を実施した。

## (2) 汚染検査時の皮膚の湿り気の状況について

- ・見た目で、濡れているようではなかったが、皮膚は湿っていた。

## 3. 考察

上記の状況を踏まえると、汚染検査で検出できなかった原因は、残存した水分の遮蔽効果によるものと考えられる。すなわち、退出時の汚染検査では、 $^{239}\text{Pu}$  や  $^{241}\text{Am}$  から放出されるエネルギーが 5 MeV~6 MeV の  $\alpha$  線を  $\alpha$  線測定用のサーベイメータで検出することによって行うが、このエネルギーの  $\alpha$  線は、標準空気中での飛程が約 3.5~4.5 cm 程度であり、それより密度の高い水中では 40~50  $\mu\text{m}$  程度となる。皮膚には皮溝やしわの凹凸があり、その深さは、30  $\mu\text{m}$  以下のものから 800  $\mu\text{m}$  以上のもの<sup>1</sup>などさまざまである。これらの部位に Pu 粒子が残存し、洗浄時の水分が残っていた場合、 $\alpha$  線の減弱により汚染を検出することができない場合があることが十分に考えられる。

大洗研究開発センターにおいては、作業員の肺モニタ測定のために核燃料サイクル工学研究所への移送を急ぐ必要があり、身体除染後に少し時間（5分程度）をおいてサーベイを行ったが、皮膚の乾燥は十分ではなかった可能性がある。一方、翌日の量研 放医研のサーベイでは、十分な時間が経過して皮膚が乾燥していたことから水分による  $\alpha$  線の吸収がなくなり、大洗研究開発センターで見逃された汚染が検出できたものと考えられる。

量研 放医研において作業員の除染が温水で実施されたが、1回目(6/7)でほとんど除染できたものの、残留があり、その後の除染において汚染なし(6/12)<sup>2</sup>とされている。大洗研究開発センターにおいては、シャワー設備の不備があったものの、数 kcpm レベルの広い範囲の汚染をほとんど除去しており、水分によりサーベイで検出できなかったと考えられる一部の汚染が除染できなかったものと考えられる。これらのことから、除染に温水が用いられたことなどの違いがあるが、原子力機構と量研 放医研との除染技術の差異はないものと考えられる。

<sup>1</sup> 林 照次ら;「加齢, 日光暴露および化粧品によるしわの変化」, J. Cosmet. Chem. Jpn., Vol. 27(3) (1993)

<sup>2</sup> 量研放医研 平成 29 年 6 月 12 日記者会見資料