

# 大洗研究開発センター燃料研究棟 における汚染について

平成29年9月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

## 【目次】

・概要	・・・ 1
・燃料研究棟の概要、作業内容	・・・ 3
・作業場所における放射線及び汚染の状況、作業員の汚染・被ばく	・・・ 4
・法令報告に係る通報の状況	・・・ 5
・環境への影響	・・・ 6
・燃料研究棟汚染事故対応工程表	・・・ 7
・事象発生後の措置	・・・ 8
・作業員の被ばく評価	・・・ 9
・貯蔵容器内容物及び破裂時の状況調査結果	・・・11
・半面マスクの汚染状況調査	・・・15
・樹脂製の袋が破裂に至った原因	・・・17
・放射性物質の摂取に至った要因の推定結果	・・・21
・問題事象5項目と保安規定等との関連からの改善点の抽出	・・・22
・今後の主な対策(概要)	・・・23
・核燃料物質の貯蔵及び取扱い作業等に関する総点検・水平展開	・・・24
・まとめ	・・・26

## 概要

平成29年6月6日(火)11:15頃、燃料研究棟の108号室(管理区域)で、作業員5名がプルトニウムとウランの入った貯蔵容器をフード(H-1)内で点検していたところ、樹脂製の袋が破裂して汚染が発生した。

## 背景

- ・燃料研究棟は、高速炉用新型燃料等の研究を行う目的で昭和49年度に建設され、平成25年度に施設の廃止の方針を決定した。
- ・平成29年2月から、核燃料物質の管理状態を改善するための作業の一環として、既存貯蔵容器(80個)の空き容量等の確認作業を開始した。
- ・31個目の確認作業中に発生した。

## 時系列

- 6/6(火) 11:15頃 事故発生
- 6/7(水) 法令報告と判断
- 6/19(月) 原子炉等規制法第62条の3に基づき原子力規制委員会に報告書を提出
- 6/21(水)、23(金)、28(水)、30(金) 原子力規制庁による原子炉等規制法第68条第1項に基づく立入検査
- 6/23(金) 茨城県の要請に対する報告書を提出
- 7/ 4(火) 現場復旧作業を開始
  - ・フード(H-1)へのアクセスルートを確保
- 7/ 5(水) 原子力規制委員会において原子力規制庁が立入検査の結果を報告

核燃料物質を入れたポリ容器を樹脂製の袋(2重)に入れ貯蔵容器に収納



フード(H-1)内で収納状況を確認するため、貯蔵容器の蓋を開けた。

## 時系列

- 7/ 7(金) 燃料研究棟廊下において軽微な汚染を確認(作業を一時中断)
- 7/10(月) 量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所(以下、「量研 放医研」という。)が内部被ばく線量評価結果を公表

預託実効線量	人数
100mSv以上 200mSv未満	1名
10mSv以上 50mSv未満	2名
10mSv未満	2名

- 7/20(木) 貯蔵容器の移動(108号室のフード(H-1)⇒101号室のグローブボックス)
- 7/21(金) 原子炉等規制法第62条の3に基づき原子力規制委員会に報告書(第2報)を提出
- 7/24(月) 茨城県原子力安全対策委員会において、これまでの対応状況について報告

## 時系列

- 7/28(金) 108号室フード(H-1)の除染・ペイント固定が終了
- 8/1(火) 108号室床面の汚染検査・除染を開始  
貯蔵容器収納物、飛散物の観察を開始
- 8/2(水) 原子力規制庁が法令報告(第2報)について原子力規制委員会に報告。国際原子力・放射線事象評価尺度(INES)レベル2の「異常事象」と暫定評価。
- 8/8(火) 茨城県東海地区環境放射線監視委員会
- 8/14(月) 労基署に「実効線量区分労働者数報告」(四半期の定例報告)を提出
- 8/22(火) 108号室床面の汚染検査・除染が終了
- 8/23(水) 108号室壁面、天井面、グローブボックス他構造物等の汚染検査・除染を開始
- 9/8(金) 燃料研究棟101号室にて汚染発生(作業中断)

\* INESの評価尺度(レベル)と参考事例

7	深刻な事故	チェルノブイリ原子力発電所事故 福島第一原子力発電所事故
6	大事故	ウラル核惨事
5	広範囲な影響を伴う事故	スリーマイル島原発事故
4	局所的な影響を伴う事故	JCO臨界事故
3	重大な異常事象	アスファルト固化処理施設火災爆発事故
2	異常事象	関電美浜2号機 蒸気発生器伝熱管損傷
1	逸脱	「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故
0	尺度以下	関電美浜3号機 2次系配管破損死亡事故

## 時系列

- 9/8～9/15 101号室で発生した汚染の対応、処置、計画書類の緊急点検
- 9/19(火) 108号室壁面、天井面、グローブボックス他構造物等の汚染検査・除染を再開
- 9/29(金) 原子炉等規制法第62条の3に基づき原子力規制委員会に報告書(第3報)を提出

## 作業員の状況

作業員の量研 放医研への入退院の状況は以下のとおり。

入院期間	人数	入院期間	人数
6/7～6/13	5名	8/21～8/25	1名
6/18～6/26	5名	9/4～9/8	1名
7/3～7/7	3名	9/11～9/12*	4名
7/24～7/28	3名	9/25～9/29	1名
8/7～8/11	2名		

\*: 定期検診

※作業員の入院は、キレート剤の効果が認められることによるもの。

※なお、作業員5名とも、体調に特段の変化はない。

※産業医、保健師、作業員ケアチームが作業員や家族に対して、面談等のケアを実施している。

## 燃料研究棟の概要

- 高速炉用新型燃料等の研究開発を行う目的で昭和49年に竣工。
- プルトニウムを使用した試験は昭和52年に開始。
- 本施設では、ウラン・プルトニウム混合炭化物や窒化物燃料、長寿命マイナーアクチニド核変換用燃料、高速炉用金属燃料といった新型燃料の製造及び物性研究、燃料健全性実証を目的とした照射試験用燃料ピンの製作の他、熔融塩電解による乾式分離技術に係る研究を実施。
- 平成27年度に研究開発を終了。なお、平成25年度に廃止の方針が出され、実験済核燃料物質の安定化処理を実施中であり、廃止措置計画の検討を進めていた。

### 施設概要

建家 2階建、鉄筋コンクリート耐火構造  
 延べ床面積 約1,518m<sup>2</sup>(管理区域は約570m<sup>2</sup>)

### 主要な設備機器

#### 本体施設

グローブボックス 36台、アルゴン循環精製装置 4台、フード 4台



燃料研究棟

## 事象発生状況

- 平成29年2月に原子力規制庁から、以下の状況について改善を求められた。
  - 使用許可申請書上の使用施設で、貯蔵施設ではないにもかかわらず、過去の研究開発で使用した核燃料物質が長期にわたって使用中と称し保管されている
- これを受け、これらの保管されている核燃料物質等について、安定化処理した上で、貯蔵施設で貯蔵している貯蔵容器(80個)の中に追加で収納する作業を予定。
- 貯蔵容器の中には、核燃料物質等を容器に入れ、さらに樹脂製の袋で二重に封入したものを入れている。今回の作業では、108号室のフードにおいて、貯蔵容器を開封し、その中に空きスペースがあるかどうかを点検する作業を実施。
- 平成29年2月から作業を開始し、これまでに80個の貯蔵容器の内30個の貯蔵容器(化学形態、物理的性状が明らかなものを収納)について作業を実施し、31個目の貯蔵容器(複数の化合物が混在した試験済燃料を収納)の開封作業において今回の事象が発生。

## 作業場所における放射線及び汚染の状況

- モニタリングポスト及び燃料研究棟の排気ダストモニタの指示値は、本事故の発生の前後で変化はなかった。
- 発生場所における空気中の放射性物質の濃度については、事故発生時の室内Puダストモニタ No.2(108号室)の指示値は通常の変動範囲内であった。
- 平成29年6月6日13時55分、Puダストモニタ No.2の指示値が約 $5 \times 10^{-8} \text{Bq/cm}^3$ (1週間平均濃度)まで上昇したが、それ以降は上昇しなかった。この値は、法令に定めるPu-239の空気中濃度限度( $7 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$ )を一桁下回るものである。その後、Puダストモニタの集塵用フィルタを交換した結果、指示値が通常の変動範囲内まで低下したことを確認した。これ以降、指示値は通常の変動範囲内である。
- 108号室の表面密度については、平成29年6月7日に床面を測定した結果、最大 $55 \text{Bq/cm}^2$ ( $\alpha$ 線)、 $3.1 \text{Bq/cm}^2$ ( $\beta$ ( $\gamma$ )線)の汚染を18時55分に確認した。108号室の線量当量率は、最大で $2 \mu \text{Sv/h}$ であった。
- 108号室へ出入りする管理区域内の廊下及び108号室から建家外への非常口の外側については、汚染がないことを確認した。
- フード(H-1)前床に貯蔵容器から飛散したと思われる粒子を確認した。

## 作業員の汚染・被ばく

- 退室時のグリーンハウス内における身体汚染検査の結果、5名の特殊作業衣等に汚染(最大 $322 \text{Bq/cm}^2$ 以上( $\alpha$ 線))を確認し、うち4名に皮膚の汚染を、うち3名から鼻腔内の汚染(最大 $24 \text{Bq}$ ( $\alpha$ 線))を確認した。
- 皮膚の汚染を伴う作業員はシャワー室で除染を行い、検出限界( $0.013 \text{Bq/cm}^2$ ( $\alpha$ 線))以下であることを確認して管理区域から退域した。1人目の除染開始後、1~2分経過してシャワーの流量が減少した。ホースにより燃料研究棟機械室から工業用水を引き、除染を再開した。
- 作業員5名のうち3名がポケット線量計を装着しており、その読み取り値は $2 \mu \text{Sv}$ 、 $3 \mu \text{Sv}$ 、 $60 \mu \text{Sv}$ であった。
- 作業員5名を核燃料サイクル工学研究所へ搬送し、肺モニタ測定を行った結果、Pu-239とAm-241について、最大でそれぞれ $22,000 \text{Bq}$ 、 $220 \text{Bq}$ と評価されたため、キレート剤(Ca-DTPA)を投与した。
- 平成29年6月7日に作業員5名を量研 放医研に搬送し、肺モニタ測定等を含む医療処置を受けさせた。

- 平成 29年6月7日13時00分、本事象を核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第62条の3に基づく法令報告事象と判断した。

## 【判断根拠】

- 作業員5名の核燃料サイクル工学研究所において実施した肺モニタの測定結果から、Pu-239及びAm-241について、最大で22,000Bq及び220Bqと評価されたことから、管理区域に立ち入る放射線業務従事者について計画外の被ばくがあったときの報告基準である5mSvを超え、又は超えるおそれがあること。
  - 作業員5名の汚染状況から、108号室の床等の表面密度が保安規定に定める立入制限区域指定基準 ( $\alpha$ 核種: 4Bq/cm<sup>2</sup>) を超えるおそれがあること。
- 以上のことを、13時27分、原子力規制庁に報告した。



法令報告(第1報)を6月19日に、法令報告(第2報)を7月21日、  
法令報告(第3報)を9月29日に原子力規制委員会に提出

- 事故発生時、燃料研究棟の給排気系設備は運転を継続し、管理区域内の負圧を正常に維持しており、モニタリングポスト及び燃料研究棟の排気ダストモニタの指示値は通常の変動範囲内であった。よって、本事故発生時の環境への影響はなかった。
- 事故発生以降も継続して燃料研究棟の給排気系設備を運転しており、管理区域内の負圧を正常に維持し続けている。また、燃料研究棟のPuダストモニタ、排気ダストモニタ及び敷地境界のモニタリングポストの指示値は通常の変動範囲内であった。以上のことから、施設外部への影響はない。



## 事象発生場所の復旧

### (1) グローブボックス内への貯蔵容器の移動

- 飛散した粒子を回収し、事故が発生した貯蔵容器と回収した飛散物を108号室から101号室のグローブボックスへ移動。

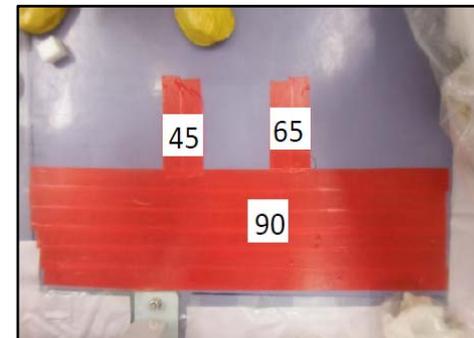
### (2) 汚染管理の強化

- 事故直後に緊急設置したグリーンハウスから汚染管理の強化を図ったグリーンハウスへ更新。

粘着テープによる固着汚染部(図中■内)の固定(数字は表面密度[cpm])

### (3) フード(H-1)の汚染検査・除染

- 内表面については、スリッパブルペイント(剥離性塗膜材)による除染(汚染箇所にもスリッパブルペイントを塗布し、固化後、剥離する。)及び濡れウエスによる拭き取り後、表面密度の低下を確認し、再度スリッパブルペイントを塗布し、残った汚染を固定。
- 外表面については、表面密度を検出限界未満まで除染できたことを確認。

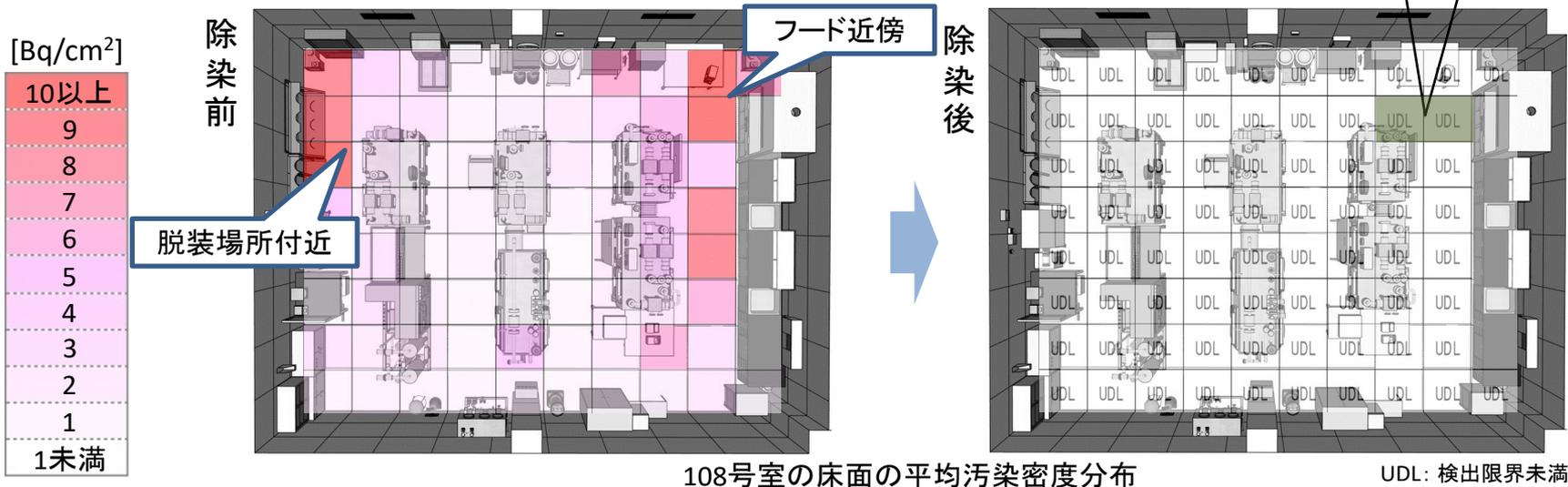


### (4) 108号室の床の汚染検査・除染

- フード(H-1)近傍と脱装場所付近が高濃度に汚染されていることを確認。
- 濡れウエス等により除染。残った固着汚染部は、粘着テープで固定し(右写真)、ビニルシートで養生。

### (5) 108号室の壁、天井、グローブボックス等の汚染検査・除染

- 汚染検査・除染作業を実施中(108号室の立入制限区域は、10月中旬までに解除する見通し)。



## 外部被ばくに関する評価結果

### (1)外部被ばくによる実効線量の評価

- 光刺激蛍光(OSL)線量計による測定
  - 作業員A,B,C,D: 検出下限値(0.1mSv)未満
  - 作業員E: 線量計表面に付着した汚染の影響で評価不能
- 電子式ポケット線量計(EPD)による測定(5名中3名が着用)
  - 作業員B:  $2\mu\text{Sv}$ 、作業員D:  $3\mu\text{Sv}$ 、作業員E:  $60\mu\text{Sv}$
- 以上の結果から、作業員5名全員について、記録レベル(0.1mSv)未満と評価した。

### (2)体表面汚染による皮膚被ばく線量の評価

- 作業員全員の特殊作業衣及び4名に皮膚汚染が確認されたため、これらの汚染による皮膚の被ばく線量を保守的な仮定により評価
- 事故発生から管理区域退域まで
  - 汚染密度 $1,000\text{Bq}/\text{cm}^2$ (最も汚染密度の高いOSL線量計ケース表面の値)が皮膚に直接付着し、事故発生から全員の除染が完了し管理区域を退域するまでの最大時間(7.67時間)、皮膚被ばくが継続と仮定
  - 評価結果: 最大 $83\mu\text{Sv}$
- 管理区域退域から量研 放医研での除染完了まで
  - 量研 放医研での受入時の皮膚汚染(最大140cpm, 換算値 $0.44\text{Bq}/\text{cm}^2$ )が管理区域退域後、汚染情報の公表時刻まで継続(約22時間)と仮定
  - 評価結果: 最大 $0.11\mu\text{Sv}$
- 以上の結果から、作業員5名全員について、記録レベル(0.1mSv)未満と評価した。

## 内部被ばくに関する評価結果

- 原子力機構は、内部被ばくに対する診察、処置を受けさせるため、量研 放医研へ作業員を入院させた。
- そのため、原子力機構は、内部被ばく線量の測定・評価について、量研 放医研が診察、処置の一部として実施する内部被ばく線量の測定・評価に協力することとし、バイオアッセイ試料(便)の分析を行った。
- その後、量研 放医研から必要な情報を入手し、法令に基づく被ばく線量の記録を行った。結果(概要)は下表の通り。

預託実効線量*	人数
100 mSv以上 200 mSv未満	1 名
10 mSv以上 50 mSv未満	2 名
10 mSv未満	2 名

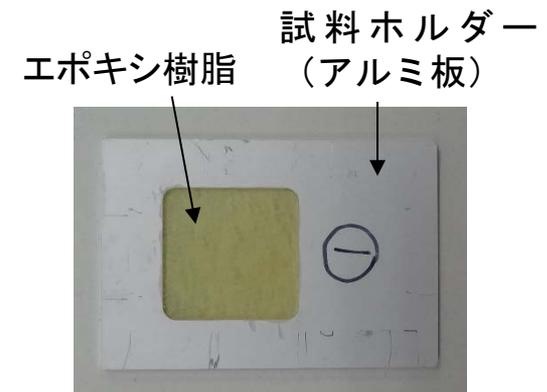
\* 50年間の預託実効線量

- 5名の作業員のうち1名が法令に定める線量限度(5年間につき100 mSv及び1年間につき50 mSv)を超過したことを確認したことから、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。

## 帳票・記録類による貯蔵容器内容物の調査結果

計量管理帳簿、燃料研究棟の月報、技術レポート、点検記録等の資料の調査及び燃料研究棟に係る職員(退職者含む)への聞き取り調査により明らかになったことは以下のとおりである。

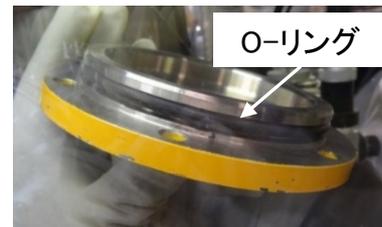
- 当該貯蔵容器内の核燃料物質は、天然ウラン(U)とプルトニウム(Pu)である。Puは同位体組成の異なる5種類が混在しており、その平均同位体組成を推定した。
- 当該貯蔵容器内の核燃料物質は、X線回折測定済試料を集めたものである。
- 燃料研究棟のX線回折測定用試料の特徴として、核燃料物質の粉末をエポキシ樹脂系の接着剤(主剤と硬化剤の2液混合型)と混合し、アルミニウム製の試料ホルダーに固定する方法を用いていた。樹脂固化物部分の寸法は、約20×20mmの四角形で、厚さ1.5mm程度の平らな形状である。
- この核燃料物質(樹脂固化物)はポリ容器に収納され、樹脂製の袋で二重に梱包した状態で、平成3年10月に貯蔵容器に入れられた。
- 平成8年7月に貯蔵容器の蓋を開封した際に、袋の膨張とポリ容器底部破損が確認され、梱包更新(詰替え)が行われた。それ以後、平成29年6月までに内部の確認がされた記録類は見つかっていない。



X線回折測定用試料の例

## 貯蔵容器内容物の観察結果

- 貯蔵容器内面 ①
  - 異物等の混入は無いが、蓋のO-リングが裂けるように破損
- 樹脂製の袋 ②
  - 一重目(内側)は二重目(外側)より上下に長く、二重目頂部を突き破るように上へはみ出していた
  - 一重目は側面溶着部に沿って縦に開口
- ポリ容器 ③
  - 変色と脆化はあるが、破損は無し
  - 蓋と本体は紙テープで固定してあったが境目でテープが破断
- ポリ容器の内容物 ④
  - X線回折測定済試料(樹脂固化物)が、ポリ容器の高さの2/3程度まで収納
  - ほぼ完全な形状のものと割れたかけらが混在
  - 底部付近に細かいかけら ⑤ と粉末が存在  
→300 $\mu$ mのメッシュ(目開き)のふるいで分別した粉末は、樹脂固化物に比べてごく少量
  - いくつかサンプル採取した樹脂固化物1個あたりの線量当量率は、約5~220  $\mu$ Sv/h
- フード前の床から回収した飛散物 ⑥
  - 大小の樹脂固化物が存在



① 貯蔵容器蓋の内面の状態



② 二重目袋頂部の開口の状態

② 破裂後の一重目と二重目の袋の状態



③ ポリ容器外観

④ ポリ容器内部の収納状態



⑤ 細かいかけら

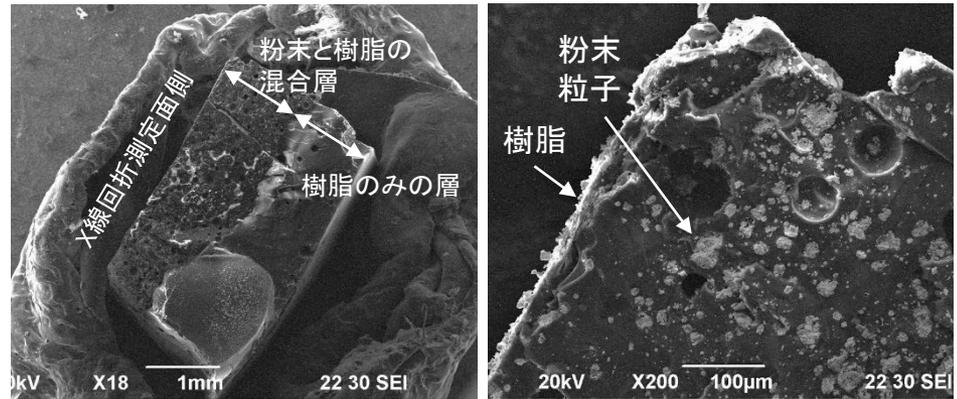


⑥ フード前の床のシートから回収した飛散物

## 貯蔵容器内試料の分析結果

### ➤ 樹脂固化物 ㊄

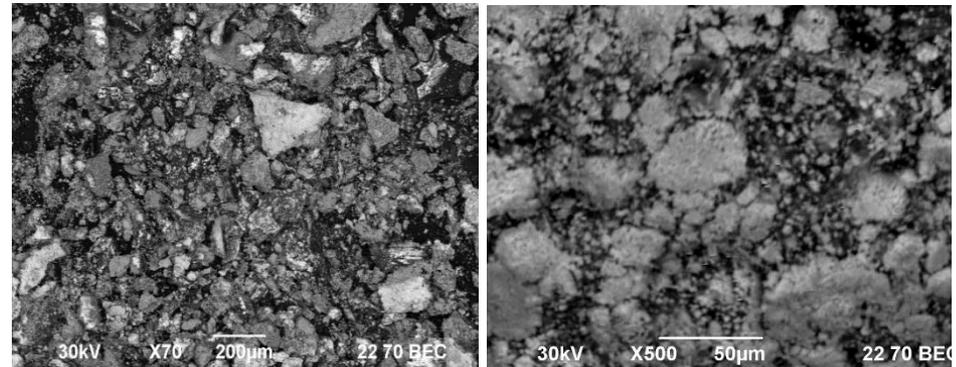
- 線量当量率の低、中、高(約10~220 $\mu$ Sv/hの範囲)の3種類の樹脂固化物断面を電子顕微鏡とX線元素分析で観察・分析
- 断面は樹脂と粉末を混合した層と、樹脂のみの層の二層
- 分散している粉末粒子の大きさは数 $\mu$ m~50  $\mu$ m超まで分布(右の画像では平均約20  $\mu$ m)
- 低線量当量率試料はほぼUのみ



㊄ 樹脂固化物の断面全体像(左)と拡大像(右)の例  
(線量当量率の高い試料、約220 $\mu$ Sv/h)

### ➤ ふるい分けた粉末成分 ㊄

- 粉末粒子の大きさは、1  $\mu$ m程度から300  $\mu$ mに近いものである。  
(体積的には数十 $\mu$ m以上の成分が大部分)
- 多くの分析点ではU/(U+Pu)比は0.8 $\pm$ 0.1の範囲
- X線回折により、酸化物のほか炭化物が含まれていることを確認
- ふるい分けた粉末にも樹脂と炭化物が含まれていることから、粉末成分は樹脂固化物を酸化加熱処理したものではなく、樹脂固化物から崩れ落ちた細かい成分と推測



㊄ 粉末成分の観察像(左:低倍像、右:高倍像)

### ➤ 飛散物

- 樹脂固化物と同様に粉末粒子が分散しており、樹脂固化物のかけらであることを確認

### ➤ その他

- UとPu以外の金属元素では、研究の過程で添加した微量のNi(ニッケル)、希土類のSm(サマリウム)等を検出

## 破裂時の状況調査結果

### (1)聞き取り調査内容

- 貯蔵容器の6本のボルトを順に緩めていく過程で蓋が浮き上がってきていた。ボルトを4本外した後、残り2本を緩める際に「シュ」と内圧の抜ける音を聞いており、その際に容器と蓋の隙間のスミヤを採取して汚染がないことを確認した。
- 片手で蓋の取手を持ちながら、残り2本のボルトを指で交互に緩めていき、2本のボルトのネジ山が容器から外れた時点で破裂音とともに蓋が浮き上がった。作業員が聞いた破裂音は「パン」と1回である。
- 破裂後に養生シート上の飛散物を見た際に「何かで固めてあるものと思った」。

### (2)作業員が撮影した貯蔵容器の写真

- 貯蔵容器上端から樹脂製の袋がはみ出ており、破裂の開口部は袋の側面に沿って縦に裂けるように破損している。破裂に伴う開口部は作業員側を向いており、作業員が左腹部に風圧を感じたとの証言と整合している。
- 袋の内側に見える大きな円形状のものは、ポリ容器の蓋であり、作業員の証言では上下が逆さまになった状態で、写真に見えているのは蓋の内面側である。



樹脂製の袋の破裂後に作業員が撮影した写真を拡大  
(袋の側面の一部が縦に裂けるように破損)

## 推定原因調査のための半面マスクの測定・分析

(半面マスクの構造や測定の詳細は次ページ参照)

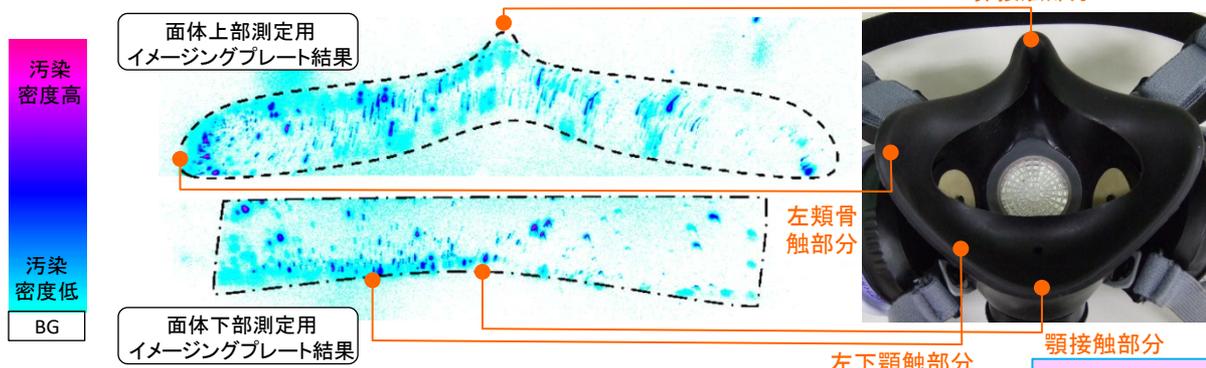
### ●作業員E作業時装着マスク測定結果

ペンシル型測定器測定結果  
及びスミヤ測定結果

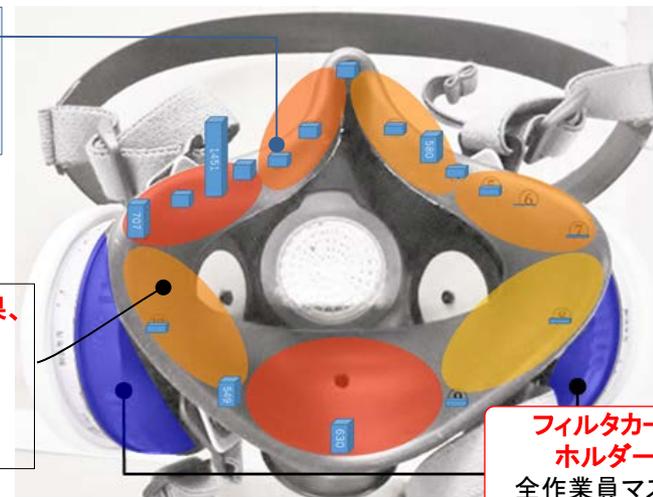
給排気弁測定結果



イメージングプレート測定結果



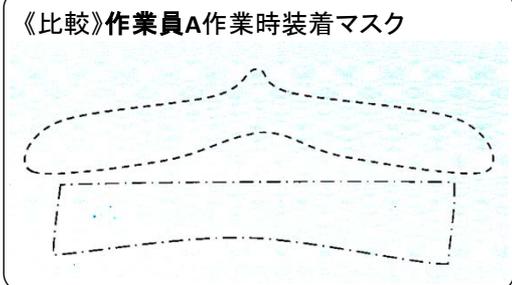
棒グラフ: ペンシル型測定器によるα線測定結果(cpm)



カラーチャート: マスク面体のスミヤ測定結果、  
給排気弁のスミヤ測定結果



フィルタカートリッジホルダー(内部)  
全作業員マスクでBGLレベルであり、フィルタの健全性が確認できた。



作業員Eが作業中に着用していた半面マスクの面体接顔部は、左頬骨及び左下顎接触部分で密度の高い汚染が確認された。また、面体全体が広く汚染しており、接顔部に入り込んだ汚染が半面マスク内に侵入したことが確認された。



聞き取りの結果と合わせて要因分析した結果、破裂時に直接浴びたPu等の粒子及び顔面に付着した汚染がマスク面体と顔面の隙間に入り込み、内部被ばくを引き起こしたと推定される。

## 推定原因調査のための半面マスクの測定・分析

### ●半面マスクの構造



マスク前面



マスク前面(フィルターカートリッジ取り外し状態)

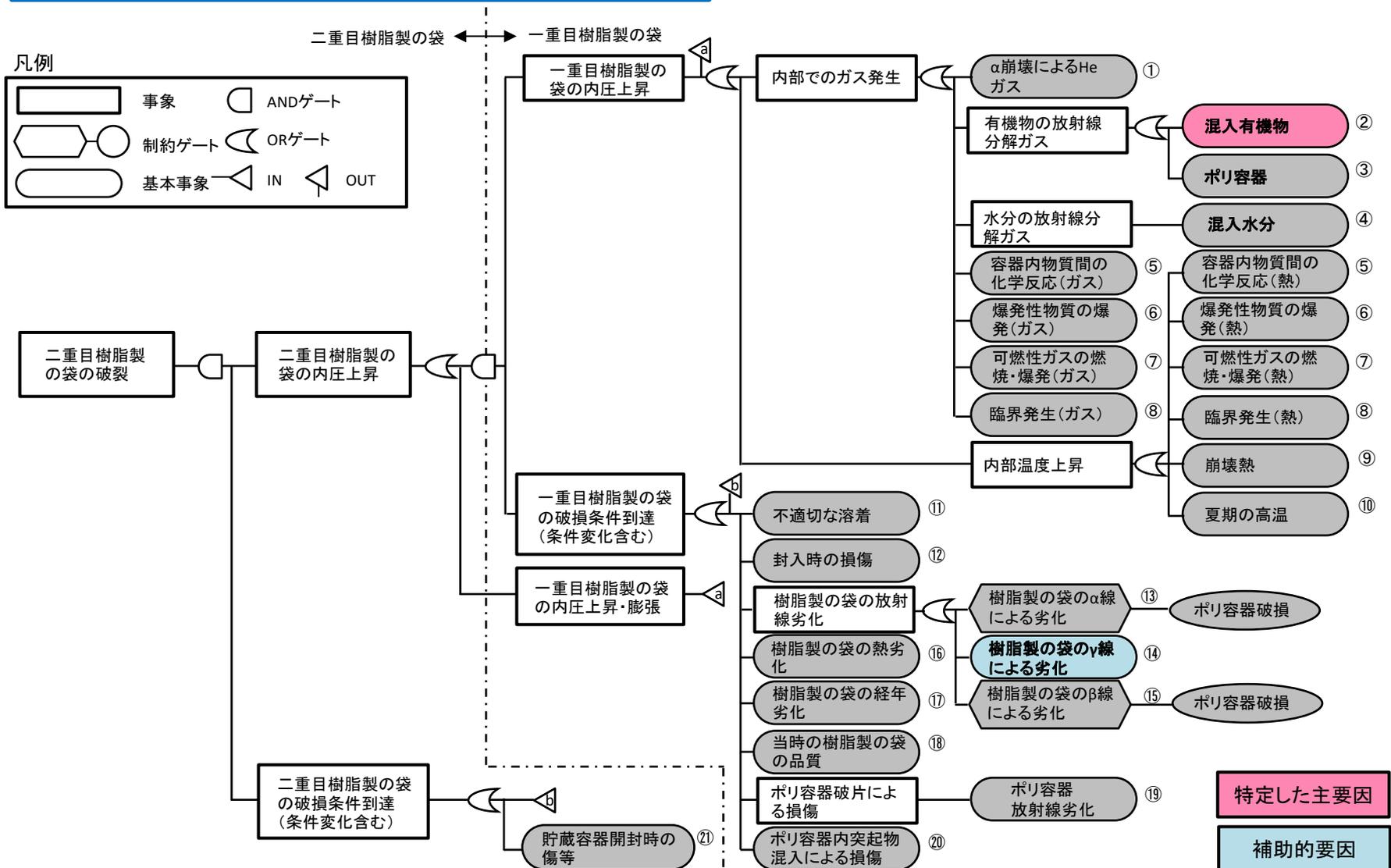


マスク着用者側

### ●測定概要

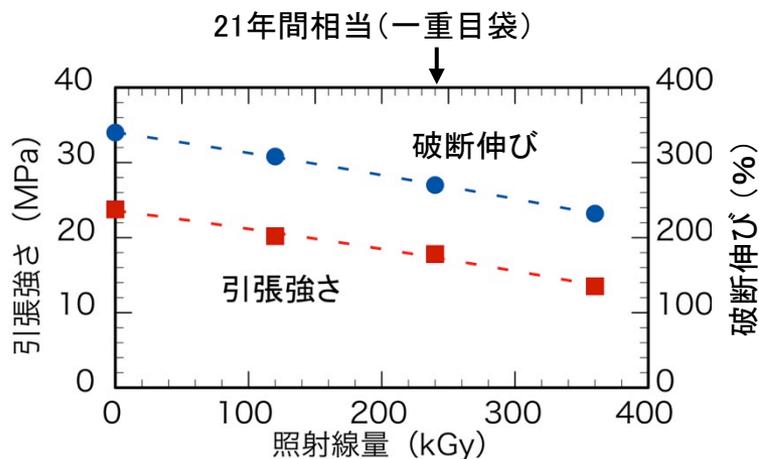
実施項目	ペンシル型測定器による面体接顔部の汚染のα線測定	イメージングプレートによる面体(顔側)のα線汚染分布測定	フィルタカートリッジホルダー(内部)から採取したスミヤのα線測定	面体(顔側)から採取したスミヤと給排気弁のα線測定
目的	面体接顔部の汚染の相対強度分布測定による、汚染侵入の痕跡調査	面体(顔側)の汚染の詳細分布測定による、汚染侵入の痕跡調査	フィルタの健全性の確認	面体(顔側)の汚染の相対強度分布測定による、汚染侵入の痕跡調査
方法	ペンシル型検出器による面体接顔部18カ所の汚染のα線直接測定	イメージングプレートを用いたα線測定による面体(顔側)上の汚染の付着位置の測定	左右のフィルタカートリッジホルダー(内部)の汚染のスミヤ採取と採取したスミヤのα線測定	面体(顔側)7カ所の汚染のスミヤ採取と採取したスミヤのα線測定及び取り外した給排気弁のα線測定
作業状況等	<p>測定箇所</p> <p>ペンシル型測定器</p> <p>測定箇所(全18カ所)及び測定の様子</p>	<p>頭部マネキン</p> <p>面体上部測定用イメージングプレート</p> <p>装着方向</p> <p>半面マスク</p> <p>面体下部測定用イメージングプレート</p> <p>測定の概略図</p>	<p>スミヤ採取の様子</p>	<p>面体のスミヤ採取範囲</p> <p>面体のスミヤ採取範囲(全7カ所)</p>
結果	作業員B,D,Eの作業中及び作業員Eの交換後のマスクを測定し、いずれも汚染を検出(例 作業員Eの作業中のマスク:8ページ参照)	作業員A以外の作業員の作業中及び交換後のマスクで、汚染分布を検出(例 作業員Eの作業中のマスク:8ページ参照)	<b>全作業員マスクでBGLレベルであり、フィルタの健全性が確認できた。</b>	スミヤ: 作業員B,D,Eの作業中及び作業員Eの交換後のマスクを測定し、いずれも汚染を検出 給排気弁: 全てのマスクの給排気弁を測定し、作業員C,D,Eの作業中のマスクで汚染を検出(例 作業員Aの作業中のマスク:8ページ参照)

## 貯蔵容器内容物の観察・分析結果を反映



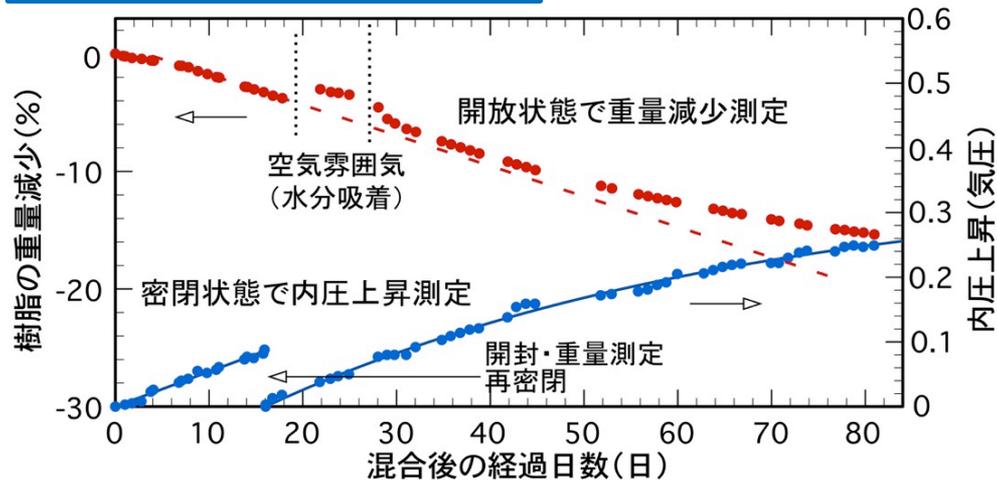
①～⑧:「内部でのガス発生」に係る要因、⑤～⑩:「内部温度上昇」に係る要因(⑤～⑧:「内部でのガス発生」及び「内部温度上昇」に係る要因)、⑪～⑳:「一重目樹脂製の袋の破損条件到達(条件変化を含む)」に係る要因

## γ線照射による袋の強度劣化



・樹脂製の袋の引張強さと破断伸びは、照射線量にほぼ比例して劣化

## エポキシ樹脂のα線分解



・半減期の短いキュリウム(Cm)含有粉末とエポキシ樹脂を混合・固化して試験を実施した結果、α線分解により重量が減少し、ガスが発生。樹脂の分解が進むにしたがい、ガス発生は鈍化する。貯蔵期間中のガス発生量評価に反映。

## 袋二重梱包状態での破裂試験

- ・金属製容器に収納された二重梱包の樹脂製の袋を加圧した後、蓋を開放する試験を行い、破裂・破損の様子を観察(図1参照)
- ・γ線照射で劣化させた樹脂製の袋は、内圧が2.5気圧程度以上の場合に事故容器と類似した袋の破損状態を再現した。(図2参照:内圧4気圧の例、外側袋は頂部が開口、内側は溶着部が開口)

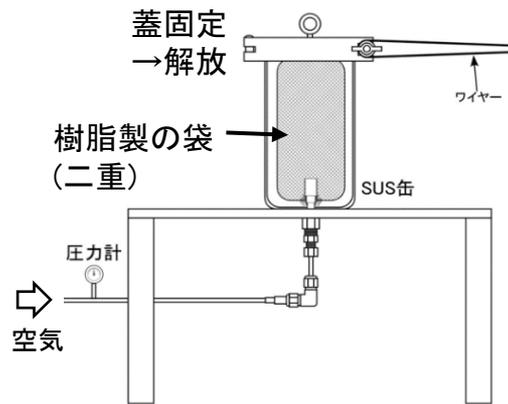


図1 試験の概略図



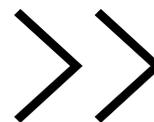
図2 試験後の樹脂製の袋の写真例 (上図:二重目, 下図:一重目)

## エポキシ樹脂・ポリ容器・吸着水分の $\alpha$ 線分解

樹脂製の袋の内圧上昇の3つの推定要因(混入有機物、ポリ容器、吸着水分の $\alpha$ 線分解)のうち、貯蔵容器内容物の観察・分析結果と検証試験結果により、**混入有機物(エポキシ樹脂)の $\alpha$ 線分解によるガス発生が主要因と特定した。**

エポキシ樹脂の $\alpha$ 線分解によるガス発生量の計算値  
(梱包更新後の21年間)

Pu同位体組成	樹脂内の粉末平均粒子径*1 ( $\mu\text{m}$ )	ガス発生量 (L)*2
混在状態の推定平均組成 (Am除去なし)	10	79.5
	20	48.2
	35	26.2
同 (Am除去あり)	35	22.4



ポリ容器の $\alpha$ 線分解による  
ガス発生量の計算値

0.18 L

吸着水分の $\alpha$ 線分解による  
ガス発生量の計算値

0.09 L

\*1 電子顕微鏡による観察で平均粒子径22  $\mu\text{m}$ と36  $\mu\text{m}$ の2例を確認。  
粒子径がガス発生量に大きく影響する( $\alpha$ 線エネルギーの減衰)。

\*2 標準状態(0°C、1気圧)での体積

## 袋とOリングのガス透過を考慮

### 【主な計算条件とガス発生量】

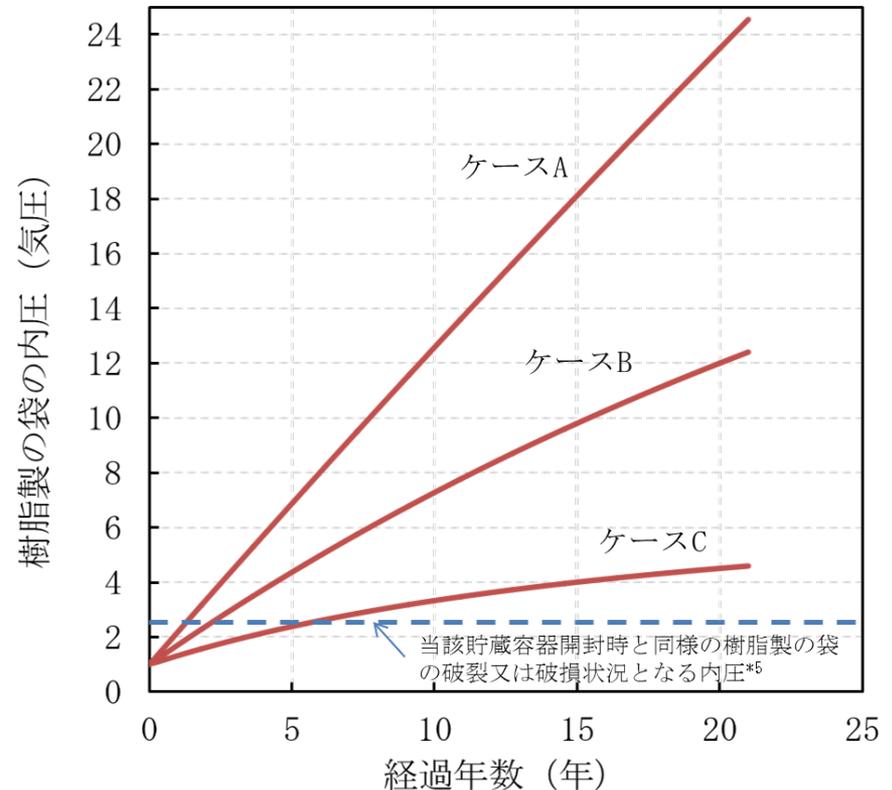
ケース		A	B	C
Pu同位体組成		平均同位体組成		
α線によるガス発生 のG値*1		0.22 (検証試験から)		
粉末の平均粒子径		10 μm	20 μm	35 μm
樹脂製の袋	ガス透過 係数*2	2.7 × 10 <sup>-10</sup> (水素) <sup>a</sup>		
		3.0 × 10 <sup>-12</sup> (メタン) <sup>a</sup>		
O-リング	ガス透過 係数*2	1.4 × 10 <sup>-9</sup> (水素) <sup>b</sup>		3.9 × 10 <sup>-9</sup> (水素) <sup>c</sup>
		3.3 × 10 <sup>-10</sup> (メタン) <sup>b</sup>		
漏洩面積*3		1 mm幅	5 mm幅	5 mm幅
Am除去*4		無	無	有
21年間のガス発生量(25°C)		87.0 L	52.8 L	24.6 L

【出典】 a 住友化学株式会社技術資料, [http://www.sumitomo-chem.co.jp/acryl/03tech/b3\\_gas.html](http://www.sumitomo-chem.co.jp/acryl/03tech/b3_gas.html)  
 T.D. Stark, et al., Geosynthetics International, 2005, 12, No. 1  
 b 桜シール株式会社技術資料, <http://www.sakura-seal.co.jp/category/1981184.html>  
 c 株式会社パッキングランド技術資料,  
<https://www.packing.co.jp/GOMU/kitaitoukasei1.htm>

### 【計算結果】

- 各種計算条件により評価値には大きな幅があるが、発生したガスにより内圧は、樹脂製の袋の破損圧力を超える(袋が破損する領域となる)

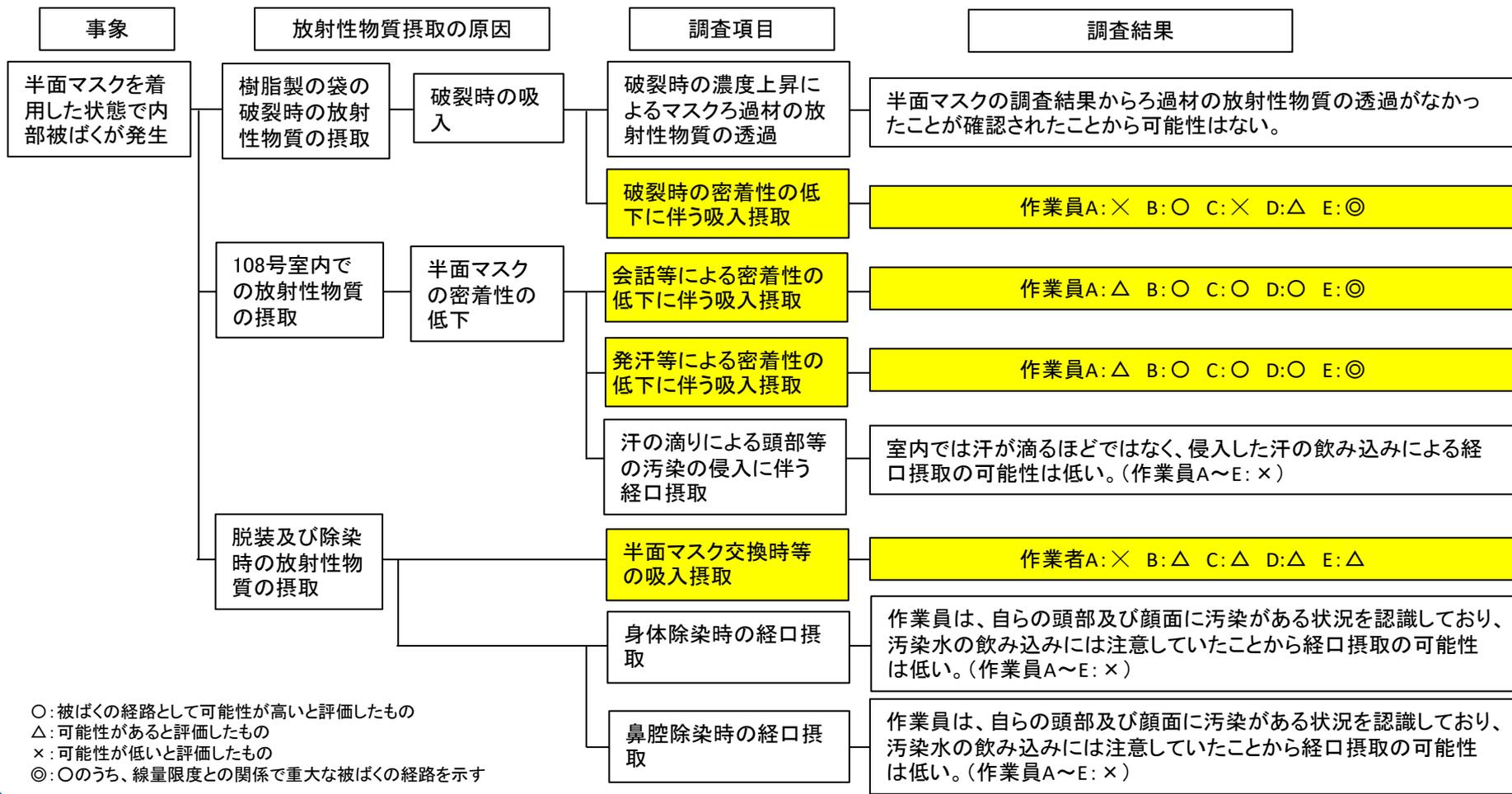
### 【袋の内圧推移計算結果】



- \*1 単位吸収エネルギー(100eV)あたりの生成ガス分子数
- \*2 単位はcc・cm/cm<sup>2</sup>・s・10mmHg。O-リングのガス透過係数は文献によりある程度の差異(幅)があり、今回のO-リングのガス透過係数は約3倍の違いがある。
- \*3 O-リングと密封対象ガスの接触面積のことで、この面積が大きければガスの透過割合も大きくなる
- \*4 容器封入前に、Puの精製(不純物のAmを除去)を実施したかの有無
- \*5 破裂試験において、当該貯蔵容器開封時と同様の樹脂製の袋の破裂又は破損状況となる内圧は、2.5気圧程度以上であった。類似状況等に起因する誤差があると考えられ、およそ2.5気圧以上で破裂すると考えている。この破裂圧力は21年間のγ線照射による袋の劣化を模擬した状態に相当する。

## 被ばく経路の推定に係る要因分析の結果

想定された被ばくのタイミング毎に要因を洗い出し、聞き取りや汚染状況の調査結果等に基づき可能性を判定した。



○:被ばくの経路として可能性が高いと評価したもの  
 △:可能性があると評価したもの  
 ×:可能性が低いと評価したもの  
 ◎:○のうち、線量限度との関係で重大な被ばくの経路を示す

・破裂時及び会話／発汗等による半面マスクの密着性の低下により、顔面等に付着したPu等の放射性物質がマスク面体の接顔部からマスク内へ入りこみ、放射性物質を吸入摂取した可能性が高い。  
 ・脱装時の半面マスクの交換等において、頭部及び顔面に付着したPu等の放射性物質を吸入摂取した可能性がある。

原因分析で明らかにした5項目の問題事象を引き起こした、過去の燃料貯蔵(平成3年)及び貯蔵容器点検(平成8年)や今回の改善作業の計画及び実施に係る保安活動並びに事故発生後の対応について、保安規定の保安要求に照らして改善すべき点を抽出した。

## 【問題事象5項目と保安規定等との関連】

## 【関連条文】

### (1)エポキシ樹脂を除去せず封入し、その情報が引き継がれなかった

- 当時の保安規定に明確な要求はなかったが手引を定めておくべきであった。現在は「手引の作成」に基づき下部要領を定めているが、情報の引き継ぎに関する事項が定められていないことから、当該手引を改善する必要がある。
- 下部要領の貯蔵時の条件「放射線分解によるガス圧の上昇に注意する」が考慮されず、当時の及び現在の保安規定「核燃料物質の貯蔵」に関する事項に抵触する。

### (2)核燃料物質の保管に関し、技術情報が活かされていなかった

- 当時の保安規定に予防処置の明確な要求はなかったが、技術情報を収集し、手引に反映しておくべきであった。現在「予防処置」及び下部要領で規定しているが、結果として技術情報が反映されなかったことから、今後手順を改善する必要がある。

### (3)作業計画時、樹脂製の袋の破裂、汚染の可能性を想定していなかった

- 計画時の情報に基づき作業計画を立てたが、その情報が正確ではなく、結果として「作業場所、作業内容及び放射線防護具の検討」の手順を改善する必要がある。
- サイクル研の情報反映ができなかった等「予防処置」の手順を改善すべきであった。

### (4)貯蔵容器の蓋を開ける際にガス発生に気づかず作業を継続した

- ホールドポイントが定められていなかったため作業員の判断で貯蔵容器の汚染検査をするにとどまり、結果として作業を中断できず作業計画を見直せなかったことから、「放射線作業計画」に当たり、「作業の内容の検討」の手順を今後改善する必要がある。

### (5)作業員が事故で飛散した核燃料物質を吸入摂取した

- 計画段階で改善していく必要があるが、事故直後に顔面近傍の汚染が除去されず核燃料物質がマスク内側に侵入したことから「汚染の除去」に改善の余地がある。
- 下部要領に予め防護機材の点検・整備及び保守を行うことが定められているが、GH資材は対象になっていなかった。結果的に作業員を退出させるためにGHを設営しことから、「非常事態における活動」に関する事項について改善の余地がある。

### 第7編第2条 (手引の作成)

- 部長は…次の事項に関して定めた手引を作成する。
- (1) 使用又は運転の管理に関する事項
  - (2) 保守に関する事項
  - (3) 核燃料物質の管理に関する事項
  - (4) 異常時の措置に関する事項

### 第7編第19条 (核燃料物質の貯蔵)

- 燃料試験課長は、核燃料物質を貯蔵するときは、別表第9に掲げる貯蔵施設で行い、(後略)。

### 第1編第18条 (予防処置)

- 2 安全・核セキュリティ統括部長、所長及び部長は…起こり得る不適合が発生することを防止するために必要な処置を行う。

### 第2編第16条 (放射線作業計画)

- 2 課長は、放射線作業を行うときは、当該作業に係る次の各号に掲げる事項を検討し、保安の措置を講ずる。
- (1) 作業場所及び作業期間
  - (2) 作業の内容
  - (3) 必要とする個人線量計及び防護具の着用
  - (4) 線量を低くするための措置
  - (5) 作業に伴う線量

### 第2編第19条の2(放射線業務従事者等の測定に異常を認めた場合の措置)

- 4 課長は、皮膚汚染の場合にあつては、その汚染の除去を行わせ、(後略)

### 第1編第28条 (非常事態における活動)

- 現地対策本部は、人命の救助、非常事態の原因除去、拡大防止等に関する防護活動を行う。

# 今後の主な対策(概要)

問題事象5項目に対して12の原因を挙げた。その内、重要なものについての今後の対策は以下のとおり。また、事故発生後に顕在化した問題についても対策を検討した。

## 【問題事象5項目に対する原因のうち、重要なもの】

- 平成3年封入時に、  
X線回折測定済試料(有機物)を酸化加熱処理  
せず貯蔵容器に貯蔵した。  
「放射線安全取扱手引」に記載の、「放射線分解によるガス圧の上昇に十分  
注意」という記載を考慮せず。
- 平成8年梱包更新時に、  
金属容器への変更等を行わず、  
かつこれらの情報が継承されなかった。  
平成8年にはポリ容器の破損や樹脂製の袋の膨張を確認していた。
- 今回作業の計画段階で、  
汚染防止に関する詳細な作業計画書を作成せず。  
『安定化した状態で保管されている』という思い込みによる。
- 今回作業時(貯蔵容器開放中)に、  
異常と認識出来ず、作業を中断できなかった。  
蓋の異常な浮き上がり・内圧が抜ける音等、異常の兆候を見逃した。

## 【今後の対策】

- A) 核燃料物質の安定保管のため、  
貯蔵・管理に関する基準の改善
- B) 核燃料物質の貯蔵に関する  
必要な情報の整理・明確化と  
長期間の記録の管理手法の改善
- C) 教育の徹底  
今回の事故の原因と対策に関する教育
- D) 作業計画の作成方法見直し  
取り扱う物質が不明瞭や、  
安全が確認できない場合等の、  
リスク管理を考慮した基本的考え方を策定
- E) ホールドポイントの明確化  
異常の兆候を確認した場合の作業停止含む

## 【事故発生後に顕在化した問題】

- 今回の事故発生後の作業において、  
使用した管理区域の洗浄設備の管理に問題あり。
- 今回の事故発生後の作業において、  
身体汚染が残存していたことに問題あり。

## 【今後の対策】

- F) 除染用洗浄設備の点検、  
管理要領の見直し
- G) 身体除染の方法や測定方法に  
関する手順の明確化

## 法令報告(第2報)後の確認状況について(その1)

## 1. 総点検による当該貯蔵容器と同様の可能性のあるものの抽出

機構の核燃料物質の貯蔵容器・保管容器を対象に、プルトニウム(Pu)と有機物との混在等により、当該貯蔵容器と同様の可能性のあるものを抽出。

＜法令報告(第2報)の概要＞

- ① 対象とする貯蔵容器等の総数は、13,878個。  
(大洗センターの燃料研究棟と照射燃料試験施設のものは含まず。)
- ② ①のうち、プルトニウム(Pu)を含む貯蔵容器等であって、有機物の混在又は樹脂製の袋や容器に封入されているおそれがあり、貯蔵容器等内の点検が実施されていないもの(当該容器と同様の可能性のあるもの)は、349個。

＜大洗センターの調査結果の追加＞

- ③ 大洗センターの調査結果を加え、総数は14,770個、当該容器と同様の可能性のあるものは470個となった。

## 2. 抽出したものの(470個)の保管状況等

- ① 燃料研究棟にある同種の容器45個については、所定の貯蔵庫に識別して安全に保管されている。これらについては、別途記録等を詳細に確認しており、原因究明と再発防止対策を踏まえ、適切に対応していく。
- ② 燃料研究棟以外にある貯蔵容器等のうちセル、グローブボックスで安全に保管されている290個については、ガス発生のおそれや破裂のおそれ、破裂した場合の危険性の観点で確認、評価し、現在の保管状況で安全に保管されていることを確認した。
- ③ 燃料研究棟以外にある貯蔵容器等のうち99個については、以下に示すように内容物及び管理状況を確認した。
  - i) ガス発生のおそれのないもの(核燃料物質と有機物が直接接触していない)が19個。
  - ii) ガスの発生を定期点検等で確認しているもの(貯蔵容器等が樹脂製の袋に封入等)が41個。
  - iii) 低Pu富化度のペレットでありガス発生のおそれは低いものが39個。
- ④ 極少量(Pu量; 数十 $\mu$ g以下)のPuを含む標準溶液等(アンプルに入った市販品等)が36個。

## 法令報告(第2報)後の確認状況について(その2)

### 3. 追加調査

- ① 取扱量が少量であることから総点検の対象としていなかった核燃料物質以外のアルファ線放出核種やウランの同位体のうちU-233(機構全体で26グラム程度)を含む貯蔵容器等についても、ガス発生等の観点で確認、評価し、現在の保管状況で安全に保管されていることを確認した。

### 4. 緊急時対応に係る水平展開

- ① 各拠点において、除染設備、グリーンハウス・養生資材の現状を確認した。その結果、除染設備の点検やグリーンハウスの設置について要領書等で明確に記載されていない例があった。また、これらを用いて燃料研究棟の事故のような重度の身体汚染を想定した訓練は多くの拠点で実施されていないことを確認した。今後、要領書等の見直しや訓練の実施を計画的に進める。

### 5. 今後の対応

- ① 核燃料物質の安定化処理など核燃料物質の安全な貯蔵又は保管に係る事項及び重度の身体汚染が発生した場合の早期の退域など、内部被ばくの防止に係る事項について、原子力機構の各拠点に水平展開し、改善を図る。
- ② ガス発生や破裂による汚染を防止するための核燃料物質の貯蔵又は保管に係る管理基準(ガイドライン)を定め、原子力機構における核燃料物質の管理の改善を図っていく。
- ③ 本事故に係る根本的な原因分析により抽出された組織的要因について、大洗研究開発センターにおいて改善に向けた是正処置を進めるとともに、その結果を踏まえ、原子力機構内での水平展開を図る。

- 事象発生後、樹脂製の袋の破裂に係る原因究明、作業員の被ばく評価、現場復旧等に取り組んできた。
- 今般、樹脂製の袋の破裂に至った原因を特定したこと、放射性物質の摂取に至った原因を推定したこと、事故発生に至った原因の分析を行って再発防止対策を策定したこと及び現場復旧の見通しを得たことから、それらの結果及び状況を取りまとめ、第3報として報告した。
- 再発防止対策の実施及び水平展開については、不適合管理の中で原因分析結果に基づき是正処置を実施していく。
- 現場復旧については、108号室のフード内外表面の汚染検査、除染作業、汚染固定までを行い、108号室の汚染検査と除染作業を実施中であり、立入制限区域は、平成29年10月中旬までに解除する見通しである。
- 原子力機構は、今回の事故を深く反省し、核燃料物質を取り扱う研究開発機関として、これまでの実績に驕ることなく、リスクを考慮したより慎重な保安活動を徹底し、安全確保に努める。